



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

UTILIZACION DE PLACA DE ORIFICIO PARA
LA MEDICION DE FLUJO EN DOS FASES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

AREA: INGENIERIA MECANICA

P R E S E N T A :

JUAN GARDUÑO CALDERON



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL.

	Pág.
CAPITULO 1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
CAPITULO 2.- TEORIA	4
2.1 Antecedentes Históricos	5
2.2 Definiciones	7
2.3 Métodos Aplicables	12
CAPITULO 3.- EQUIPO EXPERIMENTAL	16
3.1 Descripción	17
3.2 Diagramas de Instalación	19
CAPITULO 4.- ANALISIS DE RESULTADOS	22
4.1 Análisis por Método de Cálculo de Flujo en Dos Fases a Través de Placa de Orificio	25
4.2 Análisis de los Métodos de Cálculo para Flujo en Dos Fases a Través de Placa de Orificio en función del tipo de Patrón de Flujo.	32
4.2.1 Patrón de Flujo Disperso-Anular	34
4.2.2 Patrón de Flujo Anular	39
4.2.3 Patrón de Flujo Ondulado	44
4.2.4 Patrón de Flujo Pulsante	49
4.3 Análisis para los Parámetros Calculados de Lockhart-Martinelli	54
4.4 Análisis de Resultados de la Aproximación por Regresión No Lineal	56
4.4.1 Método de Russell James	56
4.4.2 Método de Murdock	58
4.4.3 Método de Chisholm	61
CAPITULO 5.- CONCLUSIONES	64

	Pág.
CAPITULO 6.- NOMENCLATURA	67
CAPITULO 7.- BIBLIOGRAFIA	70
CAPITULO 8.- APENDICES	74
Apéndice 8.1 Teoría	75
8.1.1 Definiciones de Coeficientes y Factores	76
8.1.2 Método de Murdock	78
8.1.3 Método de Russell James	83
8.1.4 Método de Chisholm	86
8.1.5 Método de Benjamín y Miller	89
Apéndice 8.2 Equipo Experimental.	90
8.2.1 Especificaciones del Equipo	91
8.2.2 Instrumentación	91
8.2.2.1 Placas de Orificio para Medición	91
8.2.2.2 Medición de Presión Diferencial (Manómetros Diferenciales Tipo "U")	100
8.2.2.3 Medición de Presión Estática (Manómetros Tipo Bourdon)	105
8.2.2.4 Medición de Temperatura	105
8.2.2.5 Mirillas de Observación	108
8.2.3 Operación del Equipo Experimental	108
8.2.3.1 Procedimiento para Establecer el cero del Manómetro Diferen- cial Estáticamente(Sin Proceso)	108
8.2.3.2 Procedimiento para Establecer el cero del Manómetro con el cero - del Proceso.	110

	Pág.
8.2.3.3 Funcionamiento del Arreglo de Medición del Manómetro Diferencial	114
8.2.3.4 Calentamiento de la Tubería Antes de Hacer pasar Vapor	117
8.2.3.5 Calibración de la Placa de Orificio de Agua	118
8.2.3.6 Comparación entre las Lecturas de las Placas de Orificio de - Vapor y de Dos Fases	119
8.2.3.7 Errores encontrados en los Medidores Diferenciales y Correcciones Efectuadas	120
8.2.3.8 Procedimiento para Efectuar la Experimentación con Flujo en Dos Fases	122
8.2.4 Plano para la Instalación y Diagrama de Flujo para Operación	124
8.2.5 Memoria Fotográfica	127
Apéndice 8.3 Datos Experimentales	132
Apéndice 8.4 Análisis de Resultados.	146
8.4.1 Memoria de Cálculo	147
8.4.2 Programa de Computadora	159
8.4.3 Recomendaciones para la Experimentación Futura	169

CAPITULO 1

INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

CAPITULO 1.- INTRODUCCION Y OBJETIVOS.

El flujo en dos fases de mezclas líquido-gas y agua-vapor a través de orificios es un tema de gran interés para todas las ramas de ingeniería ya que cuando menos un 60% de los procesos industriales con transferencia de calor se ven involucrados de una u otra forma con el flujo en dos fases durante las etapas de diseño y operación (1).

Nuestro país cuenta con una de las tecnologías más avanzadas en la explotación de los campos geotérmicos del tipo "líquido dominante" la cual se refleja en una capacidad instalada actual de 180 MW en Cerro Prieto, Baja California Norte y de 25 MW en los Azufres, Michoacán.

Por otra parte, se encuentran en proceso de construcción 4 unidades geotermoeléctricas de 110 MW cada una lo que permitirá en muy breve plazo contar con una capacidad instalada de 645 MW -- generados a partir de recursos geotérmicos.

En el desarrollo y explotación de un campo geotérmico, los orificios tienen una gran aplicación ya que se utilizan en infinidad de situaciones entre las que se pueden mencionar las siguientes: obtención de la curva característica (flujo-presión) de cada pozo; mantener a niveles mínimos la arena que procede de la formación evitando erosión en la tubería del pozo y en los equipos;-- en la descarga de líneas de agua separada para mantener el nivel de agua y la presión en los separadores; disminuir los problemas de incrustación en líneas de conducción y accesorios; para producir vapor por evaporación instantánea (flasheo) a partir del agua saturada separada en cada pozo, etc.

La selección del tamaño del orificio que se requiere en cada una de las situaciones antes mencionadas se realiza mediante el procedimiento de prueba y error lo cuál provoca una gran pérdida de tiempo y esfuerzo, misma que se origina en la falta de métodos - de diseño confiables para las condiciones de operación encontradas en los campos geotérmicos de México.

Los propósitos básicos del presente trabajo son:

- 1^o Recopilar, estudiar y seleccionar las experiencias y metodologías aplicables al dimensionamiento de orificios.
- 2^o Diseñar la experimentación para flujo en dos fases a través - de placa de orificio, construir la instalación y probar su -- funcionamiento para investigar regiones que representen las - condiciones de operación similares a los recursos geotérmicos del País.
- 3^o Mediante el análisis teórico y estadístico de las experiencias obtenidas en el laboratorio, efectuar la evaluación de los - métodos existentes seleccionados.
- 4^o Observar si el tipo de patrón de flujo hace variar los resultados de los cálculos de los métodos para flujo en dos fases a través de placa de orificio.
- 5^o Recomendar si es posible, el método más apropiado así como las modificaciones que incrementen su precisión y confiabilidad ó proponer nuevas ecuaciones que apoyen, justifiquen y correlacionen los datos experimentales obtenidos.
- 6^o Construir instalaciones dentro de la Facultad de Ingeniería - de la UNAM que sirvan de apoyo a nuevas investigaciones en el campo del flujo en dos fases así como de material didáctico - para las áreas de flujo de fluidos y térmica.

CAPITULO 2

TEORIA.

CAPITULO 2.- TEORIA.

2.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.

La aplicación de los fenómenos y procesos de flujo en dos fases al desarrollo de máquinas puede ser encontrada en épocas tan - lejanas como la de Arquímedes (250 A.C.) y su cañón de vapor. Más de 1500 años hubieron de pasar para que las grandes máqui-- nas térmicas fueran desarrolladas y utilizadas para la produc-- ción en gran escala de potencia, siendo la reciprocante la que ocupó la parte central de la Revolución Industrial.

Las primeras máquinas desarrolladas en Inglaterra fueron emplea-- das como la parte medular de los barcos y locomotoras del siglo XIX, las cuáles tenían grandes riesgos de explosión ya que al - desconocerse los fenómenos de evaporación, condensación, flujo en dos fases así como la mala construcción de válvulas de segu-- ridad originaron unidades deficientes que provocaron grandes -- tragedias.

Desde entonces grandes avances se han registrado y el estudio - sistematizado de la transferencia de calor y de flujo en dos fa-- ses se ha vuelto más intenso tal como se puede apreciar en la - fig. 2.1. que muestra las publicaciones encontradas con respec-- to al flujo en dos fases hasta el año de 1966.

En la década de 1930-1940 se esclarecieron los fundamentos de - la evaporación y nucleación comenzándose a interpretar en forma clara las fallas existentes en numerosos generadores de vapor.

El período 1940-1950 se caracteriza por las grandes investigacio-- nes con fluido subenfriado así como por la aparición del prime-- ro de los muchos métodos propuestos para la predicción de la --

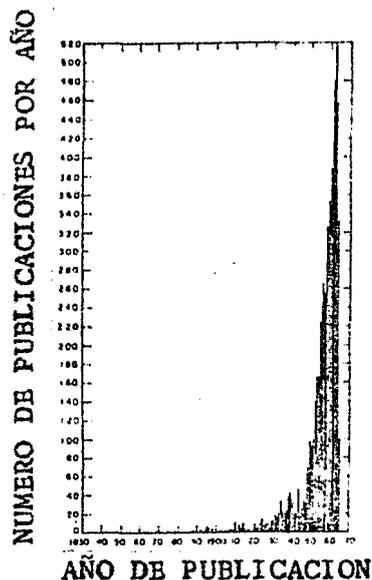


FIG 2.1 PUBLICACIONES ENCONTRADAS DE FLUJO EN DOS FASES
HASTA EL AÑO DE 1966.

pérdida de presión en la conducción del flujo en dos fases ---
propuesto por Lockhart-Martinelli(2).

En el período de 1950-1960 se desarrollaron las investigaciones relacionadas con la transferencia de calor y con el flujo en dos fases estimuladas por la industria espacial y el desarrollo de la energía nuclear comercial, pudiendose mencionar entre los lo gros obtenidos, la caracterización del flujo en dos fases por - " patrones de flujo " así como la simulación de las condiciones termodinámicas de los intercambiadores de calor comerciales.

En la década 1960-1970 se publican numerosas correlaciones para la predicción de la caída de presión del flujo bifásico en tube rías rectas horizontales así como en accesorios y orificios, -- registrándose una intensa actividad en el campo de la transfe-- rencia de calor en dos fases.

En el período 1970-1930 se profundiza en el estudio de los -- métodos analíticos del flujo en dos fases y los de caracteriza-- ción de transitorios siendo la seguridad en reactores nuclea-- res la actividad preponderante.

2.2 DEFINICIONES.

FLUJO EN DOS FASES (TWO-PHASE FLOW).- Es el movimiento de un fluido constituido por dos fases (líquido-gas) de un solo -- componente (agua-vapor) ó de dos componentes (agua-aire, -- agua-gas, aceite-aire, etc.)

PATRON DE FLUJO (FLOW-PATTERN).- Representa la distribución geométrica de las fases dentro de los ductos o tubería.

Evidentemente la uniformidad de los patrones de flujo no se -- realiza jamás debido al carácter aleatorio del fenómeno, en el -- cuál los patrones son formas para idealizar al flujo en un -- instante determinado.

Los parámetros descriptivos del flujo en dos fases son: la calidad de la mezcla, las velocidades de ambas fases y el -- flujo total.

FLUJO BURBUJEANTE (BUBBLE FLOW).-Pequeñas burbujas de gas -- se desplazan con una velocidad mayor que el líquido. En los -- tubos horizontales, la fase ligera fluye en forma de burbujas, concentradas en principio en la parte superior del tubo.

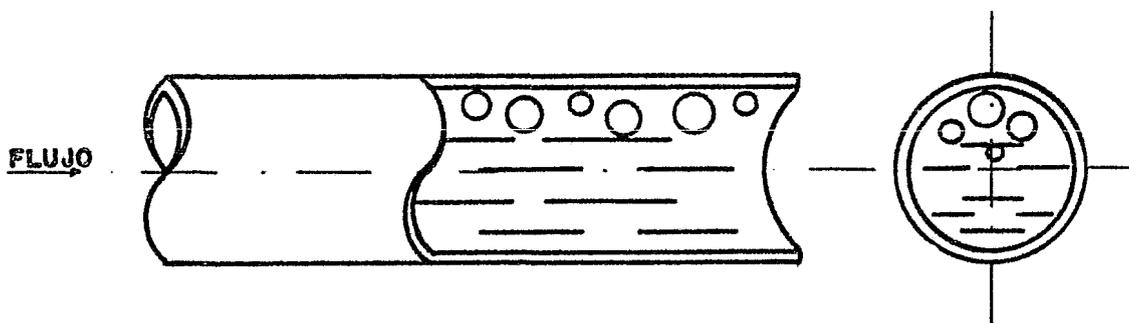


FIG 2.2 FLUJO BURBUJEANTE (BUBBLE FLOW)

LUJO ALTERNANTE (PLUG FLOW).- Las pequeñas burbujas se juntan para formar bolsas de gas que ocupan prácticamente la totalidad de la tubería y que fluyen a una velocidad mayor que el líquido; es decir que las fases se mueven alternadamente.

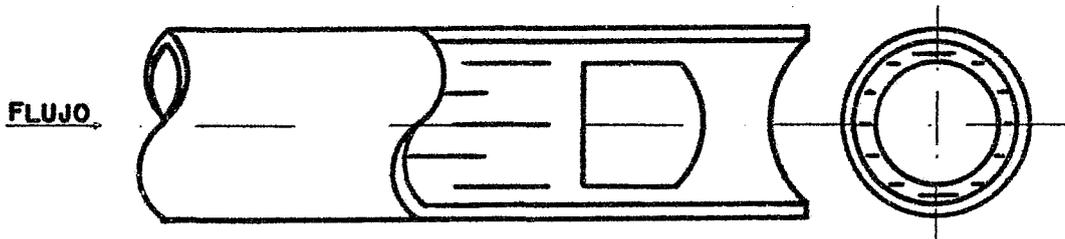


FIG 2.3 FLUJO ALTERNANTE (PLUG FLOW)

FLUJO ESTRATIFICADO (STATIFIED FLOW).- Al hacerse más grandes las bolsas de gas, llenan por completo la parte superior del tubo y el líquido fluye en la parte inferior con una interfase bien definida. Este patrón de flujo ocurre más rápidamente con flujos másicos pequeños en tuberías de diámetro grande.

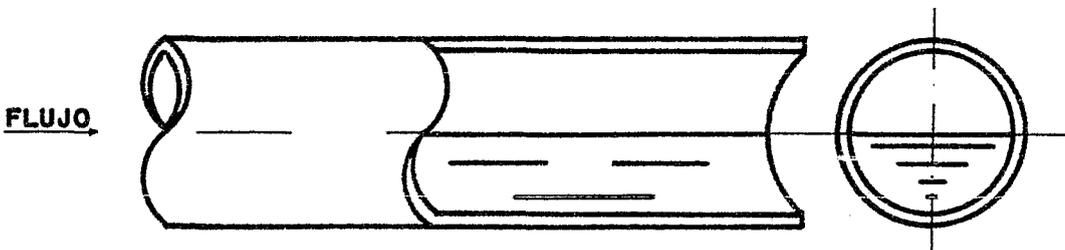


FIG 2.4 FLUJO ESTRATIFICADO (STATIFIED FLOW)

FLUJO ONDULADO (WAVY FLOW).- Al incrementar el flujo de gas, la interfase se perturba, dando origen a ondas que se desplazan en la dirección del flujo.

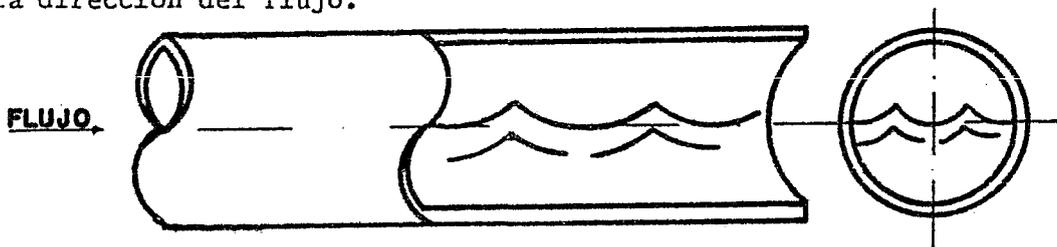


FIG 2.5 FLUJO ONDULADO (WAVY FLOW)

FLUJO PULSANTE (SLUG FLOW).- Las ondas aumentan su amplitud - hasta alcanzar a tapar toda la sección del tubo. El líquido es - levantado por el movimiento rápido del gas formando tapones que se desplazan a una velocidad mucho menor que la velocidad del -- gas. Este patrón de flujo también se forma a partir del flujo -- alternante cuándo el flujo de gas se aumenta manteniendo constante el flujo de líquido.

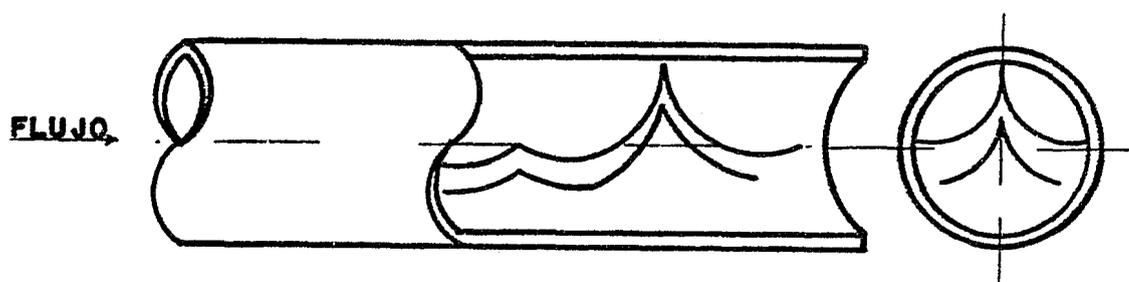


FIG 2.6 FLUJO PULSANTE (SLUG FLOW)

FLUJO ANULAR (ANULAR FLOW).- Al aumentar el flujo de gas, las - fuerzas gravitacionales tienen menor influencia que las fuerzas - viscosas obligando al líquido a fluir como película pegada a las paredes de la tubería (con espesor delgado y grueso en la parte superior e inferior de la tubería respectivamente) mientras el gas se mueve por el centro. Este patrón se obtiene cuándo ambas fases tienen altas velocidades aunque la del gas siempre es mayor a la del líquido.

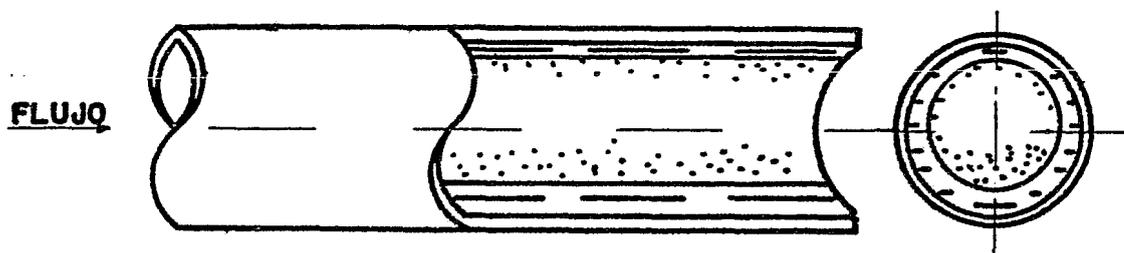


FIG 2.7 FLUJO ANULAR (ANNULAR FLOW)

FLUJO DISPERSO (MIST FLOW).- Cuando el flujo de gas se incrementa grandemente, existe un aumento sustancial gradual de arrastre de líquido en forma de gotas hasta que la mayor parte de la película líquida se dispersa en forma de gotas en la fase gaseosa -- moviéndose a la misma velocidad que el gas pudiéndose considerar la mezcla resultante como una dispersión homogénea.

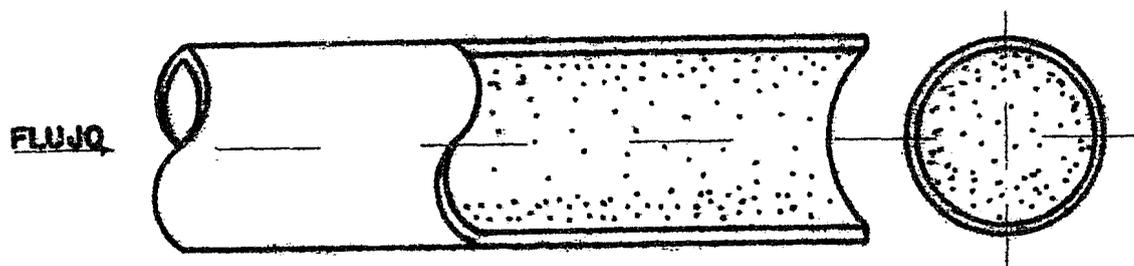


FIG 2.8 FLUJO DISPERSO (MIST FLOW)

Para poder predecir el tipo de patrón de flujo que se puede presentar al poner en contacto las dos fases dentro de una tubería, es necesario además de conocer las propiedades termodinámicas y de flujo de ambas fases, de la posición de la tubería y del sentido del flujo (tubería vertical, horizontal, inclinada con flujo co-corriente ó contracorriente, ascendente o descendente, etc.) contar con diagrama de patrones de flujo que haya sido encontrado previamente en forma experimental. Existen varios diagramas de patrones de flujo que se pueden considerar para el caso de tubería horizontal con flujo en co-corriente de mezcla agua-vapor (que es el caso que aquí se estudia) pero dada su gran simplicidad y exactitud se ha seleccionado el diagrama de Mandhane(7). Este diagrama caracteriza a los distintos patrones de flujo en función de la velocidad aparente de cada una de las fases (gasto volumétrico de la fase en la sección transversal total del ducto. (Ver fig 2.9)

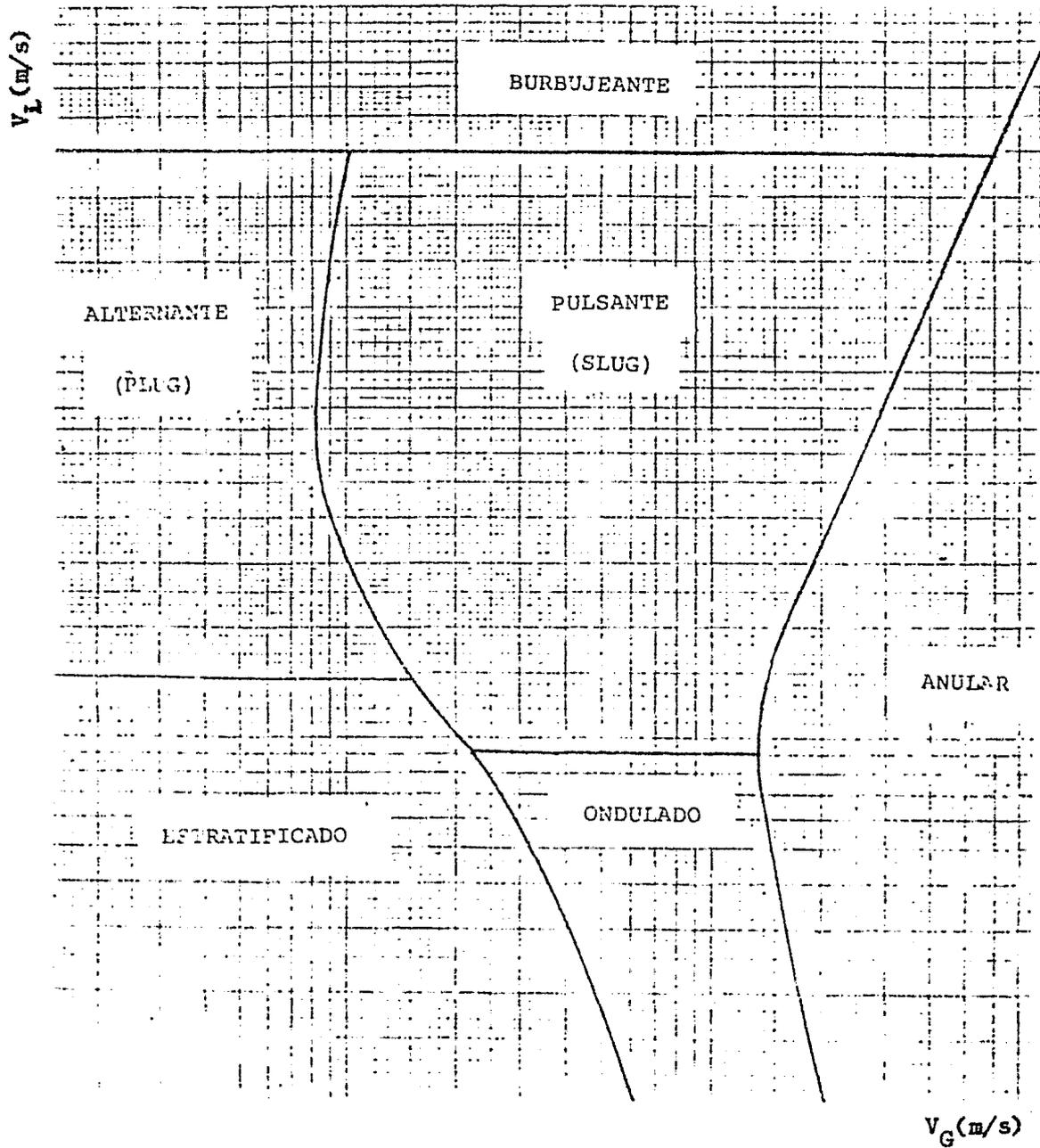


FIG 2.9 DIAZAMA DE MANDHANE.

2.3 METODOS APLICABLES.

Los métodos experimentales seleccionados en este trabajo para la medición y/o control del flujo en dos fases a través de orificios siguen, en función de las consideraciones que se hagan - para simplificar el problema, las tendencias:

- 1^o Utilizar la ecuación de flujo y expresar el resultado en función de la relación de las caídas de presión diferencial (parámetros de Lockhart-Martinelli(2)). En esta tendencia - se incluyen los métodos de Murdock(3) y de Russell James(4).
- 2^o Considerar el esfuerzo cortante existente entre ambas fases, y expresar el resultado en función de las caídas de presión diferencial. Método de Chisholm(5).

El otro método experimental que se ha seleccionado se utiliza para orificios de control y esta basado en el análisis gráfico entre el flujo másico por unidad de área del orificio y las -- presiones antes y después del mismo; Método de Benjamín y -- Miller(6).

CORRELACIONES PARA FLUJO EN DOS FASES A TRAVES DE PLACA DE ORIFICIO.

El método de Murdock(3) relaciona la caída de presión diferencial de flujo en dos fases con la caída de presión diferencial en una sola fase. Asume que las fases fluyen separadas a través del orificio. Para correlacionar las caídas de presión diferenciales Murdock encontró la siguiente expresión:

$$(1) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = 1.26 \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} + 1.0$$

Y para flujo en dos fases:

$$(2) \quad w = \frac{110 K_G Y_G F_a d^2 \sqrt{\Delta H_{DF} \gamma_{G1}}}{(1.0 - y) + 1.25 y \frac{K_G Y_G}{K_L} \frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}$$

El método de Russell James (4) está basado en el modelo de flujo homogéneo en equilibrio, con la salvedad de que la densidad de la mezcla esta basada en la calidad elevada a la potencia empíricamente determinada de 1.5. Las expresiones que se aplican son las siguientes:

Para el flujo.

$$(3) \quad w = \frac{110 F_a d^2 Y_{DF}}{\sqrt{1.0 - \beta^4}} \sqrt{\frac{\Phi_{DF}}{X^{1.5} (V_G - V_L) + V_L}}$$

Relación de caídas de presión diferenciales:

$$(4) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{1.0}{X} \sqrt{\frac{X^{1.5} V_G + (1.0 - X^{1.5}) V_L}{V_G}}$$

$$(5) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{1.0 - X}{X} \sqrt{\frac{V_L}{V_G}}$$

Chisholm(5) propone un método en el cuál se toman en cuenta los esfuerzos cortantes entre las superficies de las fases. La expresión resultante para diferenciales de presión es:

$$(6) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L}} = 1.0 + C \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} + \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}$$

Benjamín y Miller(6) graficaron sus resultados experimentales en términos de las presiones anteriores y posteriores al orificio - con respecto al flujo másico por unidad de área del orificio.

Con el fin de poder comparar mediante computadora los resultados experimentales de este trabajo con los de éstos autores(6), se procedió a correlacionar los parámetros expresados en forma gráfica a través de regresión no lineal tomando como base la ecuación de Russell James, considerando como incógnita la potencia - de la calidad. La correlación es la siguiente:

$$(7) \quad w = 0.876752 a_o \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{X\psi (V_G - V_L) + V_L}}$$

Donde:

$$\psi = 1.413707 - 3.534576 \times 10^{-7} \Delta P_{DF}$$

NOTA: Para el desarrollo de las ecuaciones (1) a (7) consulte el Apéndice 8.1

En la tabla 2.10 se ha condensado el rango de aplicación de cada uno de los métodos expuestos.

INVESTIGADOR	MURDOCK(3)	RUSSELL JAMES(4)	BENJAMIN Y MILLER(7)
CONDICIONES DE TRABAJO			
Nº DE DATOS	9	347	-
RANGO DE LOS DATOS			
P_1 (MPa)	3061-4031	772-1682	0-1967
D (m)	0.06335	0.2007	0.1524
G (Kg/m ² s)	1451-1617	676-2514	0-29 294
ΔP_{DF} (Pa)	102.5-120.0	21.7-30.0	0-1067
β	0.5	0.707-0.837	0.04-0.145
X (%)	0.78-0.95	0.062-0.669	0.0-0.038

TABLA 2.10 TABLA COMPARATIVA DEL RANGO DE APLICACION
DE LOS METODOS SELECCIONADOS.

Es importante hacer notar que ninguno de los autores antes mencionados relaciona su método con el patrón de flujo; por tanto, en este trabajo se incluye el tipo de patrón de flujo observado durante el experimento para tratar de correlacionarlo con la caída de presión en los fases y el flujo medido.

CAPITULO 3

EQUIPO EXPERIMENTAL.

CAPITULO 3.- EQUIPO EXPERIMENTAL.

3.1. DESCRIPCION.

El diseño de la experimentación se realizó de acuerdo a la capacidad y arreglo del equipo existente en el laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El flujo en dos fases se logra al mezclar en una tubería de prueba al vapor con el agua. El vapor se proporciona por medio de un generador de vapor y se conduce hasta la tubería de prueba - por medio de una línea de 7.6cm(3") de diámetro, mientras que el agua, que se encuentra a una temperatura de aproximadamente 90°C en condiciones de operación estable, se inyecta en la tubería de prueba mediante una bomba tipo turbina la que le proporciona una presión equivalente a la del vapor. La razón de tomar el agua caliente, la que se transporta por tubería de 2.5cm (1"), es la de reducir al máximo posible la descomposición térmica que se produce al mezclar ambas fases.

Una vez que las fases se encuentran en íntimo contacto, fluyen a través de la sección recta o longitud de calma "aguas arriba" del orificio en donde se estabiliza y se desarrolla al flujo en dos fases, el cuál al pasar por el orificio se descarga en un tanque atmosférico por medio de un difusor construido de tubo perforado, con lo que se evita el ruido y las vibraciones que se producen en las descargas dentro de un líquido (Ver fig 3.1) La instrumentación se seleccionó de acuerdo a las variables involucradas en el proceso así como las limitaciones presupuestarias.

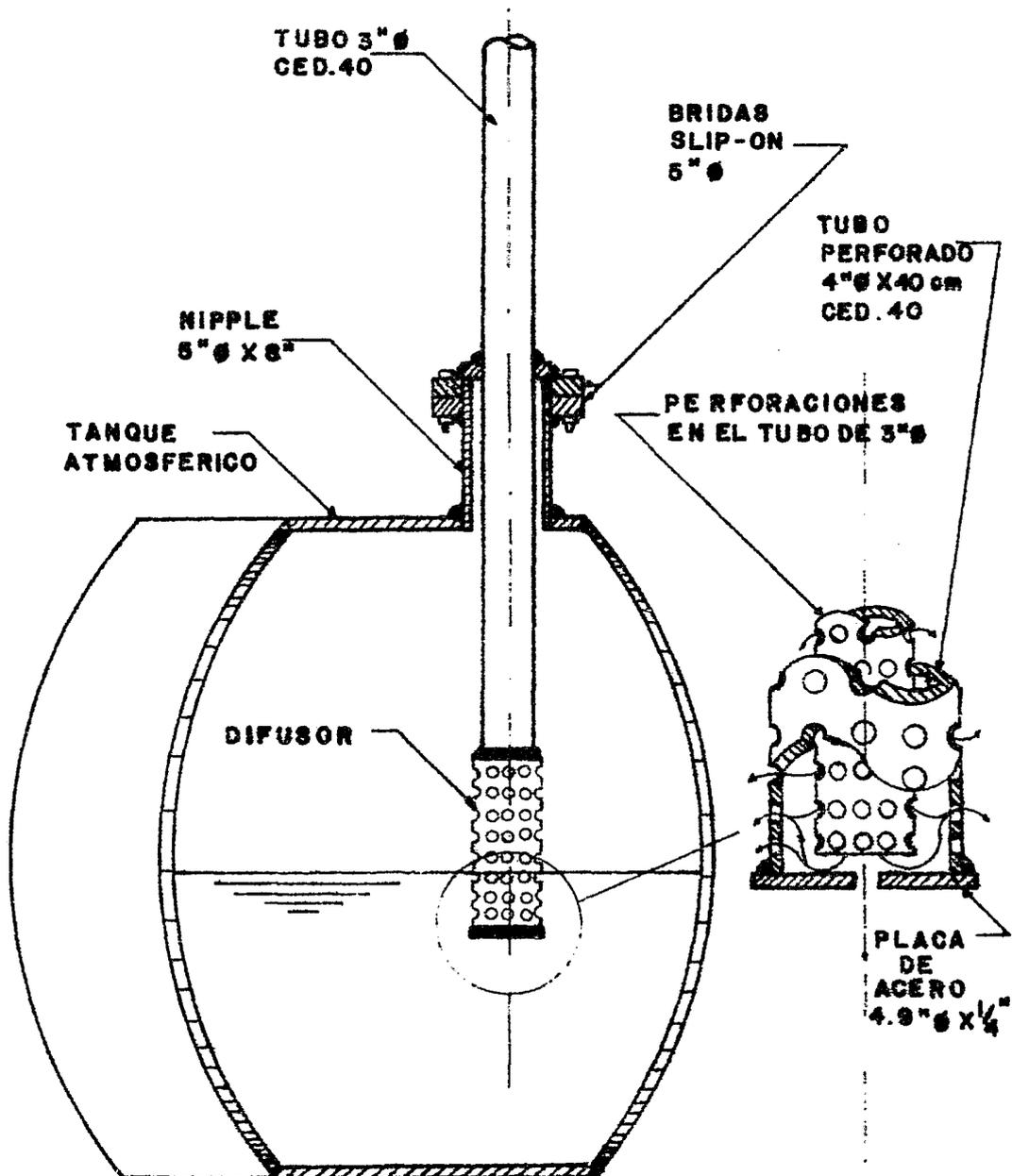


FIG 3.1 DIFUSOR .

Las presiones estáticas se miden mediante manómetros de carátula tipo Bourdon mientras que las temperaturas a través de termopares conectados a un termómetro digital. La medición de la presión diferencial a través de placas de orificio se efectúa por medio de manómetros diferenciales de columna de líquido.

Las especificaciones del equipo y los detalles de la instalación se encuentran en el inciso 8.2 del Apéndice.

3.2 DIAGRAMAS DE INSTALACION.

El arreglo de la instalación del equipo experimental se muestra a través del diagrama de bloques(fig 3.2) y del diagrama de flujo (fig 3.3.) mientras que en el inciso 8.2 se incluye el plano de construcción y los detalles de la instalación.

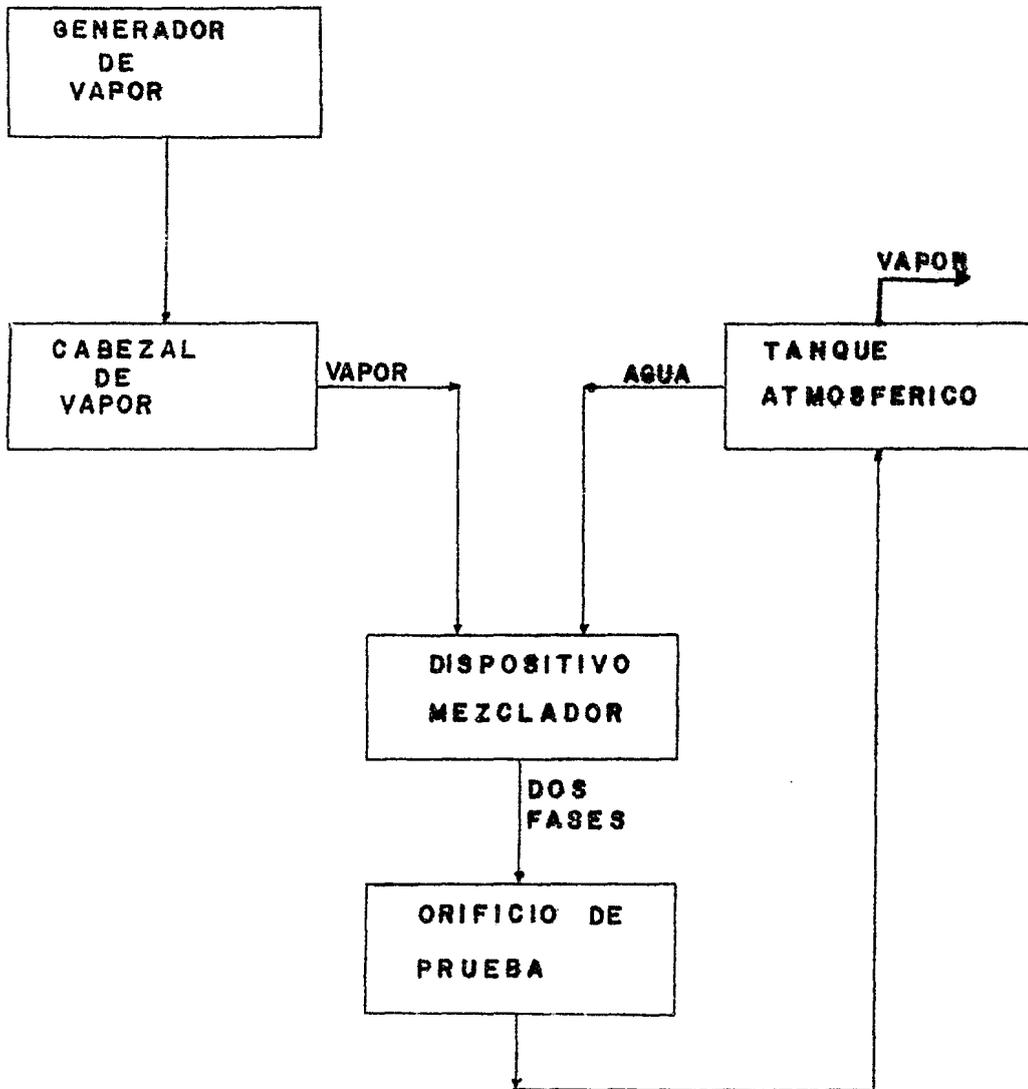


FIG 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES
DEL EXPERIMENTO

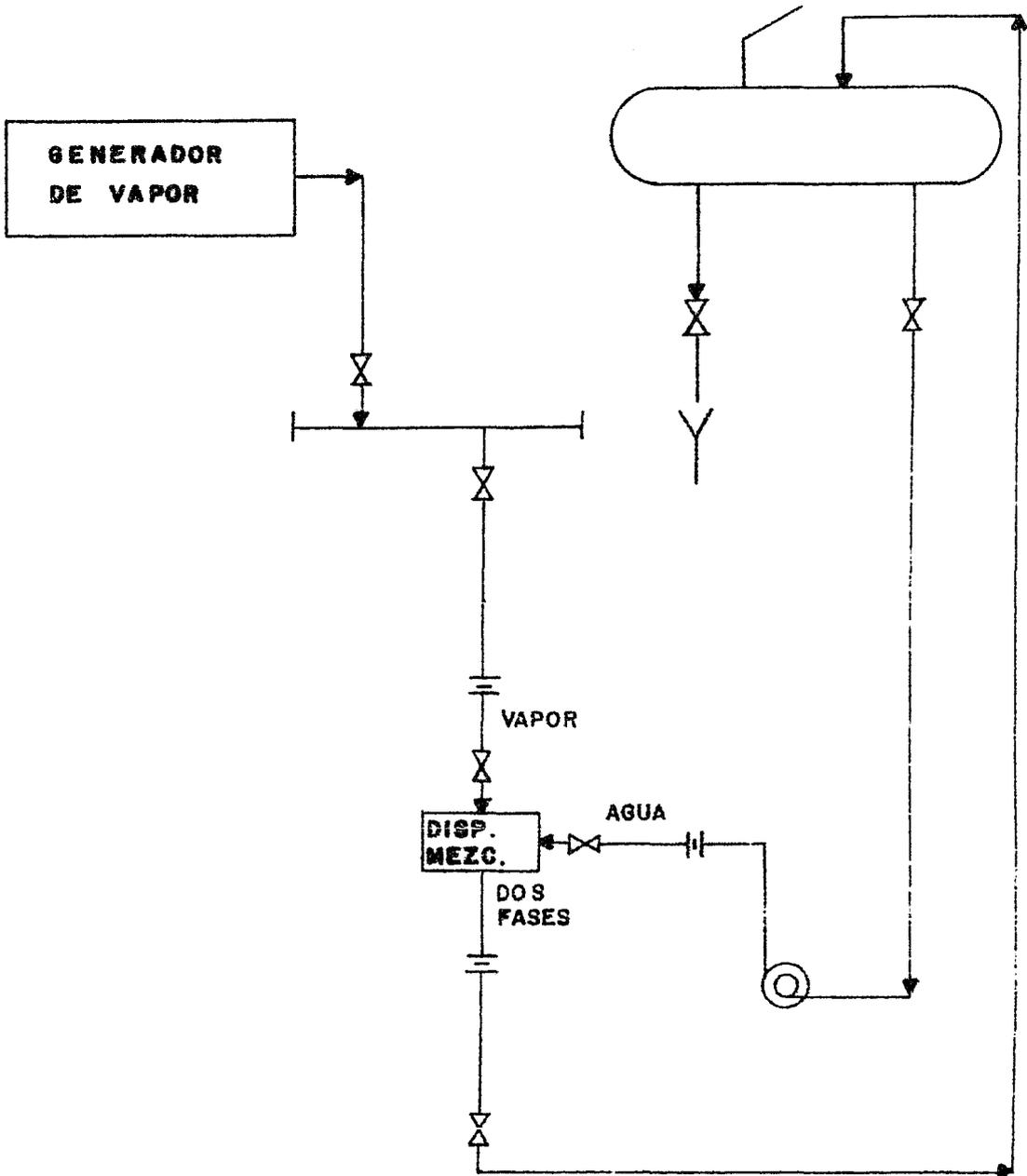


FIG 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL EXPERIMENTO.

CAPITULO 4

ANALISIS DE RESULTADOS.

CAPITULO 4.- ANALISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos al utilizar los métodos de cálculo para flujo en dos fases a través de placa de orificio. Después de analizar los trabajos publicados sobre este tema se encontró que para mezclas vapor-agua, el método de Russell James(4) tiene la mejor aproximación (*) y para flujos de gas-líquido el método de Murdock(3).

El método de Benjamín y Miller(6) se escogió para probar si era posible aplicar la metodología de cálculo para orificios de control a los orificios para medición de flujo.

El otro método que se ha seleccionado fué el de Chisholm(5) debido a que este autor ha enfocado su estudio a accesorios y orificios con flujo en dos fases.

En la tabla 4.1 se ha condensado el rango de aplicación de cada uno de los métodos seleccionados así como las condiciones de la experimentación realizada para este trabajo.

En la tabla 4.2 se muestra la desviación fraccionaria media y el error máximo que se obtuvo al calcular con los métodos de dos fases el flujo total a través de la placa de orificio para los datos obtenidos en este trabajo.(Ver Apéndice 8.3).

(*) Estudios recientes publicados en la literatura de flujo en dos fases demuestran que el método de Russell James para orificios tiene un alto grado de predictabilidad para mezclas agua-vapor (9), (10).

INVESTIGADOR CONDICIONES DE TRABAJO	MURDOCK(3)	RUSSELL JAMES(4)	BENJAMIN Y MILLER(6)	ESTE TRABAJO.
Nº DE DATOS	9	247	-	37
RANGO DE LOS DATOS				
P_1 (KPa)	3961-4031	772-1682	0-1967	698-753
D (m)	0.06335	0.2007	0.1524	0.0779
G ($\frac{Kg}{m^2-s}$)	1451-1671	676-2514	0-29294	70-150
ΔP_{DF} (KPa)	120.5-129.9	21.7-30.0	0.0-1967.0	0.7-1.6
β	0.500	0.707-0.837	0.040-0.145	0.6994
X	0.7-0.95	0.062-0.569	0.0-0.038	0.307-0.649

TABLA 4.1 RANGO DE APLICACION DE LOS METODOS SELECCIONADOS
Y DE ESTE TRABAJO.

METODO	DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA (d)	ERROR MAXIMO (%)	
		POSITIVO	NEGATIVO
MURDOCK(3)	+ 0.09 -	+16.51	-0.17
RUSSELL JAMES(4)	+ 0.05 -	+8.50	-8.74
BENJAMIN Y MILLER(6)	+ 0.19 -	-----	-25.98

TABLA 4.2 DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA Y ERROR MAXIMO AL
CALCULAR CON LOS METODOS PARA FLUJO EN DOS FASES
PARA LOS DATOS OBTENIDOS.

El término desviación fraccionaria media puede ser utilizado - como un indicador de la desviación estandar de la correlación(9) la que se utilizó para evaluar los resultados de los métodos - seleccionados para flujo en dos fases y cuya expresión es:

$$d = \left[\frac{1}{n} \sum (W_{DF}(\text{Calc.}) - W_{DF}(\text{Exp.}) / W_{DF}(\text{Exp.}))^2 \right]^{0.5}$$

Donde:

d- desviación fraccionaria media.

n- número de datos.

$W_{DF}(\text{Calc.})$ -Flujo total calculado por los métodos para flujo en dos fases.

$W_{DF}(\text{Exp.})$ -Flujo total experimental.

Para el cálculo de los datos presentados se utilizó un programa de computadora elaborado específicamente para este trabajo, que se muestra junto con un ejemplo en el apéndice 8.4.

4.1 ANALISIS POR METODO DE CALCULO DE FLUJO EN DOS FASES A TRAVES DE PLACA DE ORIFICIO.

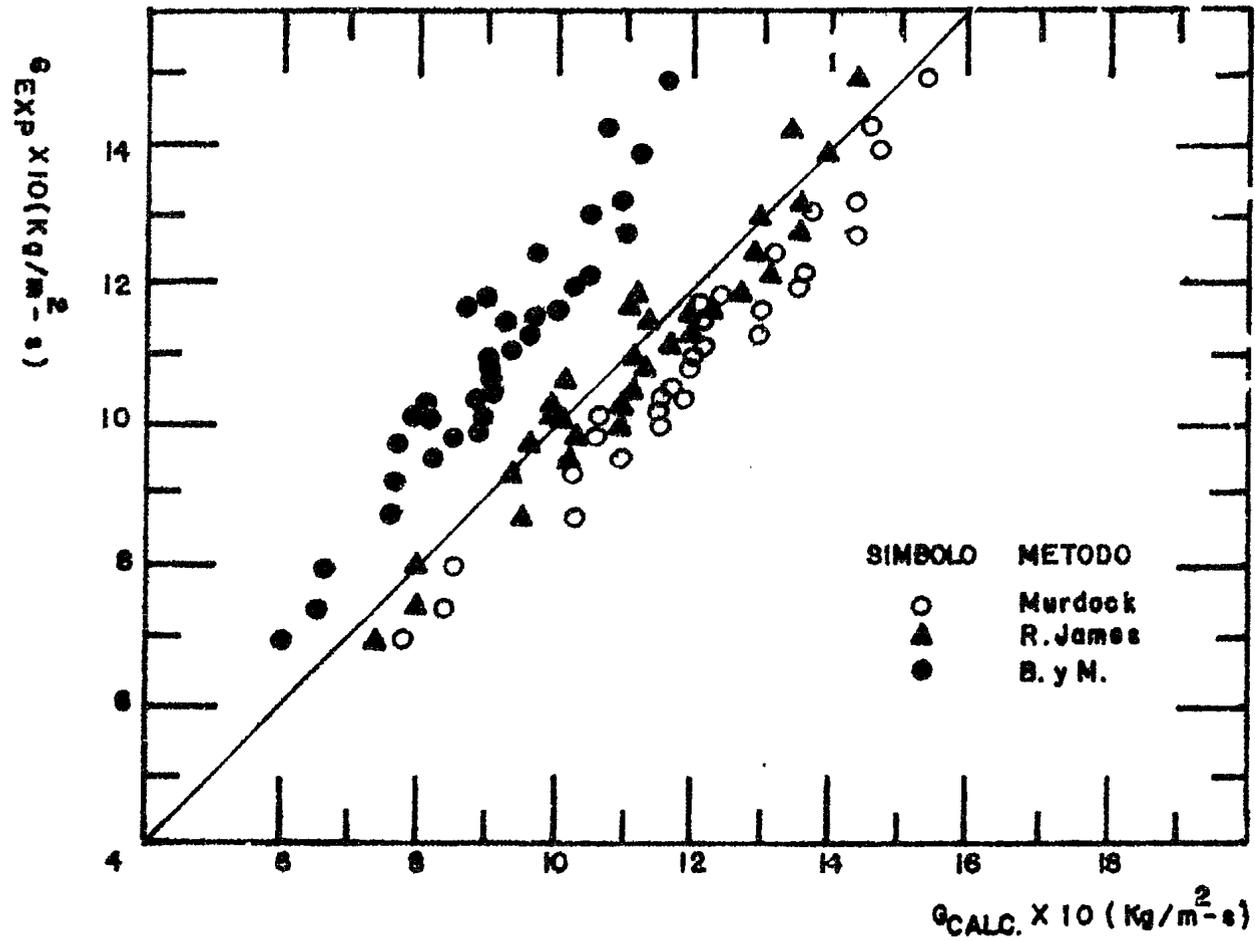
Los valores de la velocidad de flujo másico están graficados - contra su correspondiente velocidad de flujo másico calculado - por los métodos de flujo en dos fases en la gráfica 4.3. Se puede observar que el método que mejor aproximación muestra es el de Russell James(4) de acuerdo a la tabla 4.2, la desviación - fraccionaria media y el error máximo presentado para los datos experimentales son los menores.

En las graficas 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran graficados los datos para cada uno de los métodos seleccionados. Con éstas gráficas se puede apreciar mejor la aproximación de cada uno -----

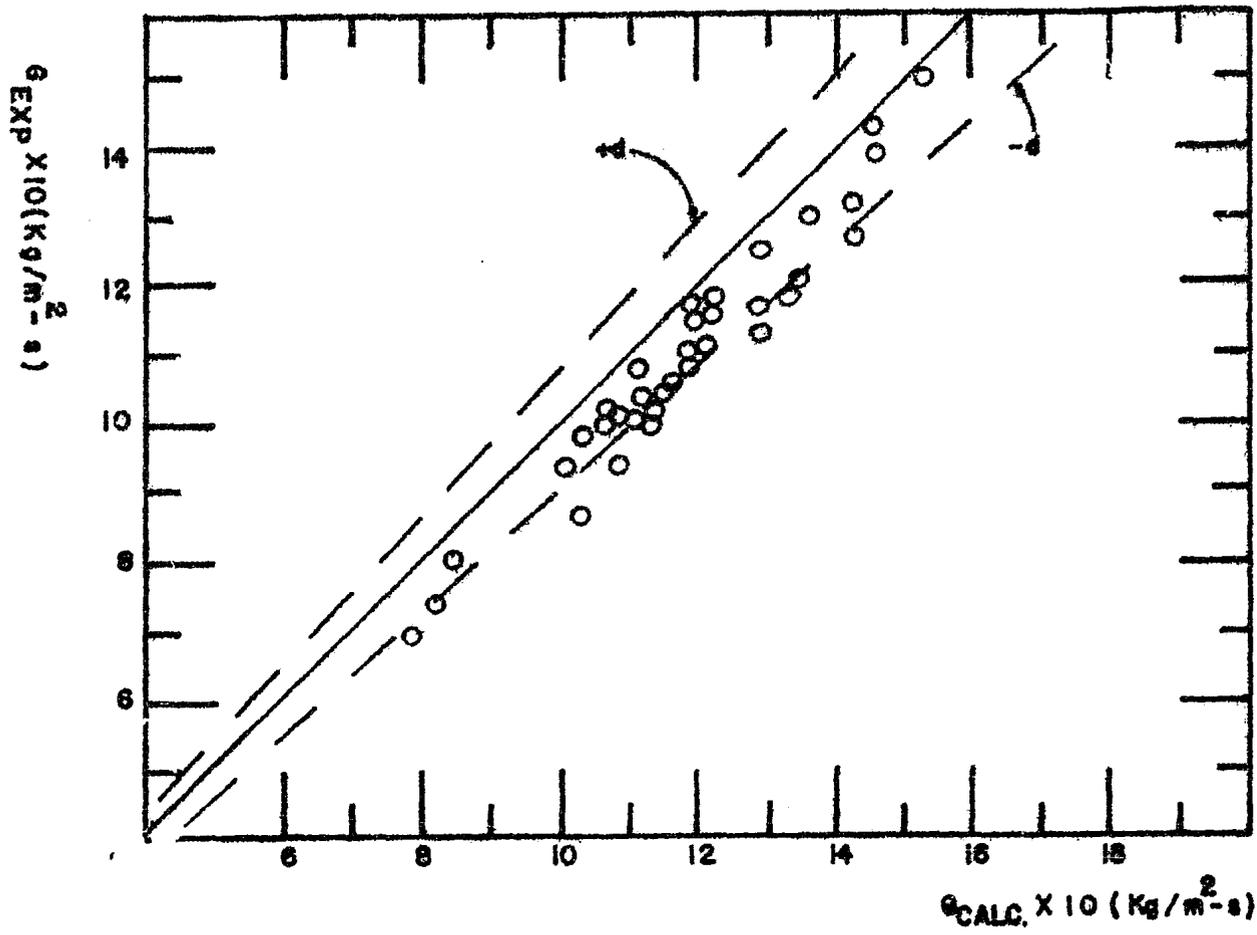
de los métodos y su correspondiente desviación fraccionaria -- media, así como la dispersión de los puntos.

El método de Benjamín y Miller(6) es el que presentó el mayor error y la mayor desviación fraccionaria media debido a que es un método utilizado para orificios de control de flujo.(Tabla4.1).

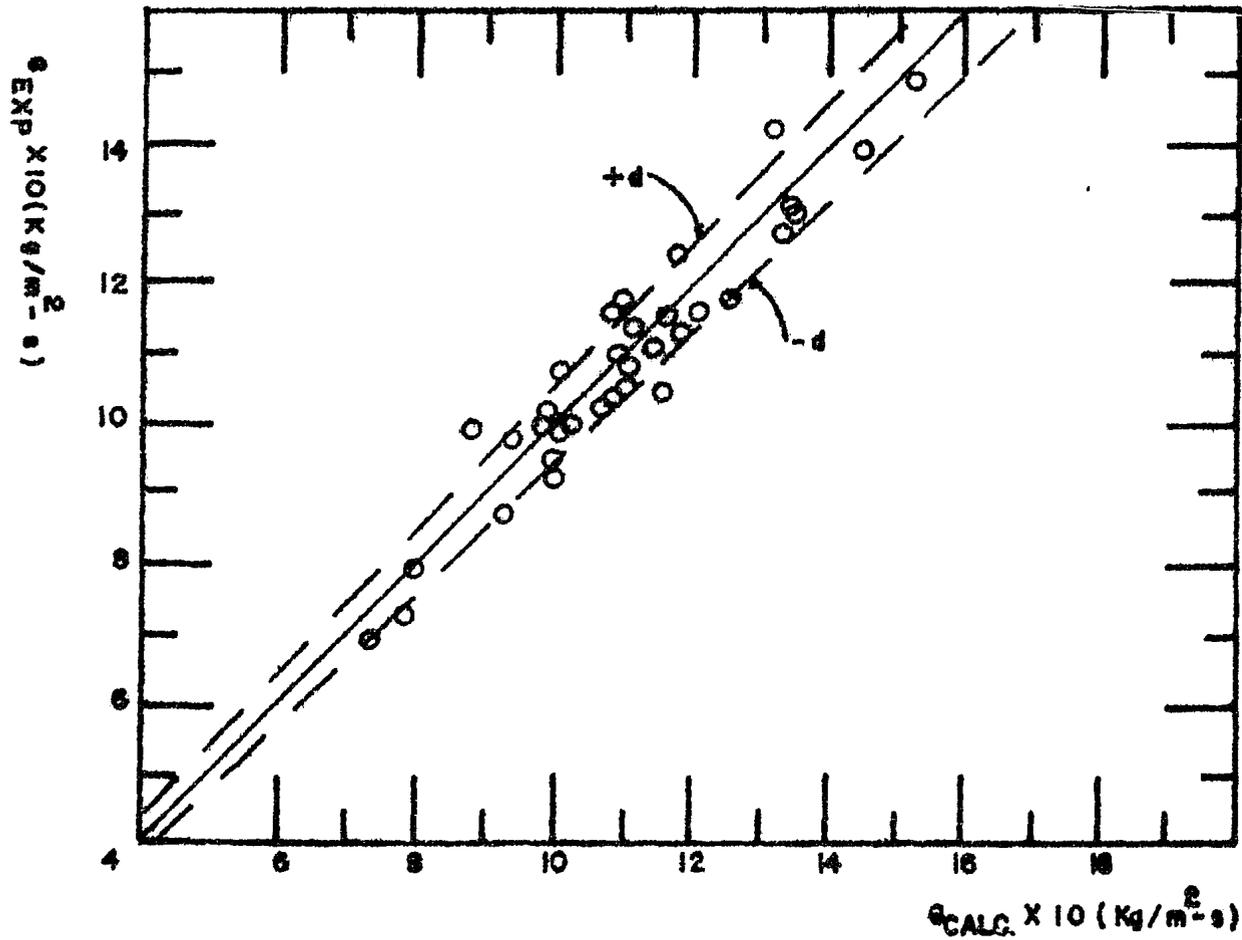
En las pags31,32se encuentran tabulados los datos que fueron utilizados para dibujar las gráficas.



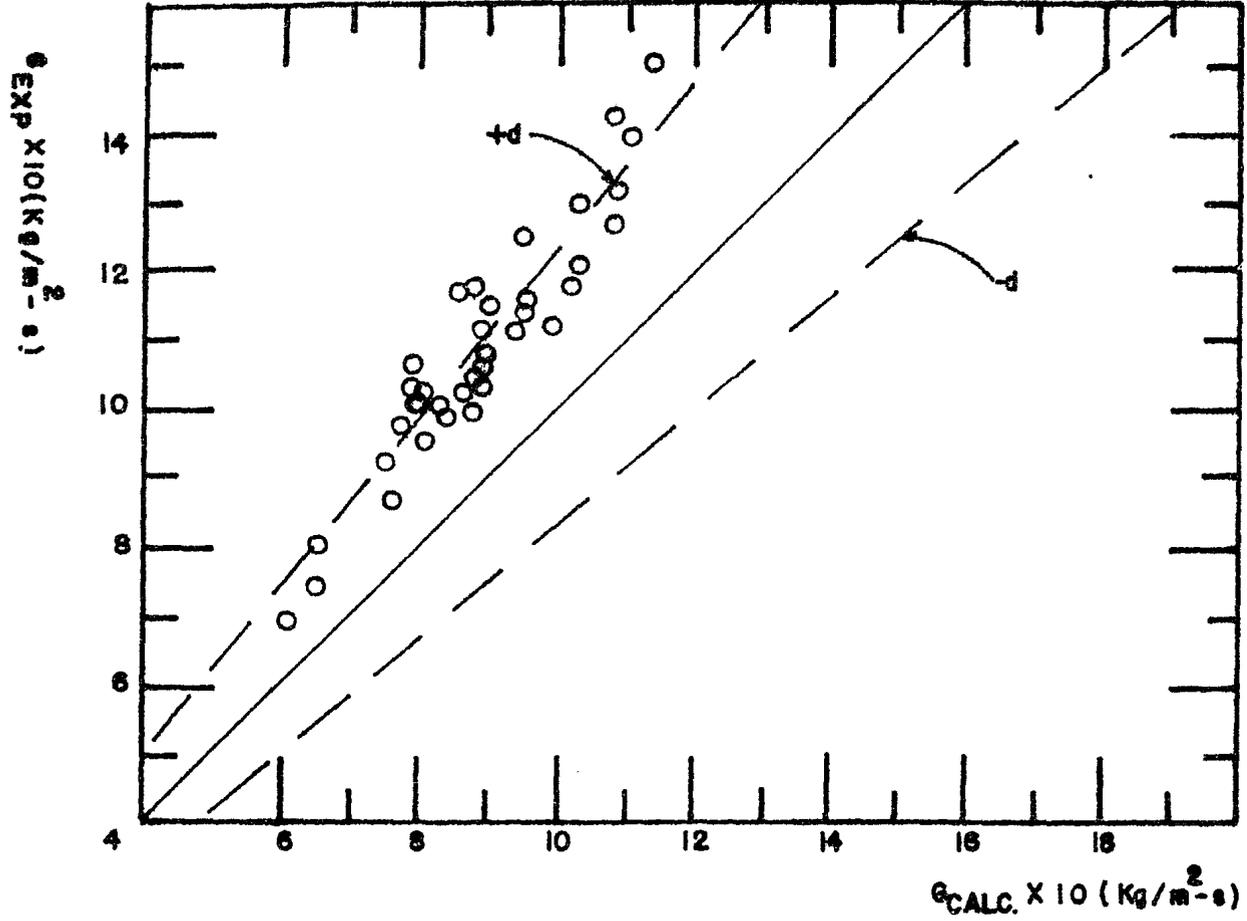
GRAFICA 4.3 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR LOS METODOS DE DOS FASES.



GRAFICA 4.4 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE MURDOCK(3).



GRAFICA 4.5 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE RUSSELL JAMES(4)



GRAFICA 4.6 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6).

N ^o DATO	G (Kg/ m ² -s)				TIPO DE PATRON DE FLUJO.
	Exp.	MURDOCK(3)	RUSSELL JAMES(4)	BENJAMIN Y MILLER(5)	
1	104.35	116.30	109.78	38.37	ONDULADO
2	69.56	72.22	74.48	60.78	ONDULADO
3	99.13	106.26	102.91	84.00	DISPERSO- ANULAR
4	93.26	103.26	95.26	76.43	ONDULADO
5	101.30	107.39	99.48	80.00	ONDULADO
6	125.65	129.35	113.78	95.04	ONDULADO
7	110.37	119.13	110.26	88.91	ANULAR
8	115.22	119.44	111.73	90.22	DISP-ANULAR
9	143.43	143.45	132.73	106.65	DISP-ANULAR
10	130.44	135.91	127.78	103.30	DISP-ANULAR
11	150.87	153.17	141.78	114.17	DISP-ANULAR
12	139.57	143.22	137.17	111.09	DISP-ANULAR
13	93.04	100.33	93.57	75.30	ONDULADO
14	101.74	107.30	99.26	79.74	ONDULADO
15	79.57	84.70	80.30	65.13	ONDULADO
16	73.91	82.17	79.13	64.52	ONDULADO
17	102.61	105.52	97.70	70.52	ONDULADO
18	107.39	111.83	100.48	79.48	PULSANTE
19	117.39	113.48	107.09	85.22	PULSANTE
20	113.26	122.13	100.67	85.39	PULSANTE
21	100.44	107.77	100.57	81.04	ONDULADO
22	94.78	103.44	101.57	81.96	ONDULADO
23	99.57	114.37	108.22	97.52	ONDULADO
24	102.61	114.30	100.00	87.48	ONDULADO

Nº DATO	C (Kg/m ² -s)				TIPO DE PATRON DE FLUJO
	exp.	MIRDOCK(3)	RUSSELL JAMES(4)	BENJAMIN Y MILLER(6)	
25	104.35	115.83	109.65	88.87	ANULAR
26	105.65	116.00	110.26	89.43	ANULAR
27	110.67	120.73	115.09	93.48	ANULAR
28	117.83	133.65	126.78	102.75	ANULAR
29	116.52	127.61	122.17	99.30	ANULAR
30	120.87	134.73	127.65	103.44	ANULAR
31	87.39	102.09	94.35	75.78	ONDULADO
32	100.00	111.30	103.73	83.61	ONDULADO
33	107.82	119.30	111.25	89.65	ONDULADO
34	113.91	123.30	118.43	95.09	ONDULADO
35	127.33	142.61	134.04	108.30	ANULAR
36	132.17	142.04	134.22	108.70	ANULAR
37	116.09	121.83	117.74	96.04	DISP-ANULAR

4.2 ANALISIS DE LOS METODOS DE CALCULO PARA EL FLUJO EN DOS FASES A TRAVES DE PLACA DE CRIFICIO EN FUNCION DEL TIPO DE PATRON DE FLUJO.

En este análisis se considera que el tipo de patrón de flujo - debe tener alguna influencia sobre el cálculo del flujo en dos fases y dado que todos los métodos seleccionados no lo toman -- en cuenta, en esta sección se trata de encontrar si el tipo de patrón de flujo tiene influencia sobre el cálculo del flujo en dos fases a través de placa de orificio.

En la tabla 4.7 se compararon los métodos de cálculo de flujo -

en dos fases, considerandose el tipo de patrón de flujo observado experimentalmente y mostrándose la desviación fraccionaria - media y el error máximo encontrado para los datos experimentales.

PATRON DE FLUJO	METODO	DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA(d)	ERROR MAXIMO (%)	
			POSITIVO	NEGATIVO
DISPERSO ANULAR	MURDOCK(3)	± 0.02	+7.01	-0.17
	R.JAMES(4)	± 0.02	+3.63	-7.57
	BENJAMIN Y MILLER(6)	± 0.09	-	-25.76
ANULAR	MURDOCK	± 0.05	+13.39	-
	R.JAMES	± 0.02	+7.54	-0.46
	BENJ. Y MILLER	± 0.07	-	-16.75
ONDULADO	MURDOCK	± 0.07	+16.51	-
	R.JAMES	± 0.04	+11.50	-5.36
	BENJ. Y MILLER	± 0.13	-	-14.25
PULSANTE	MURDOCK	± 0.01	+4.13	-
	R.JAMES	± 0.03	-	-9.74
	BENJ. Y MILLER.	± 0.10	-	-25.98

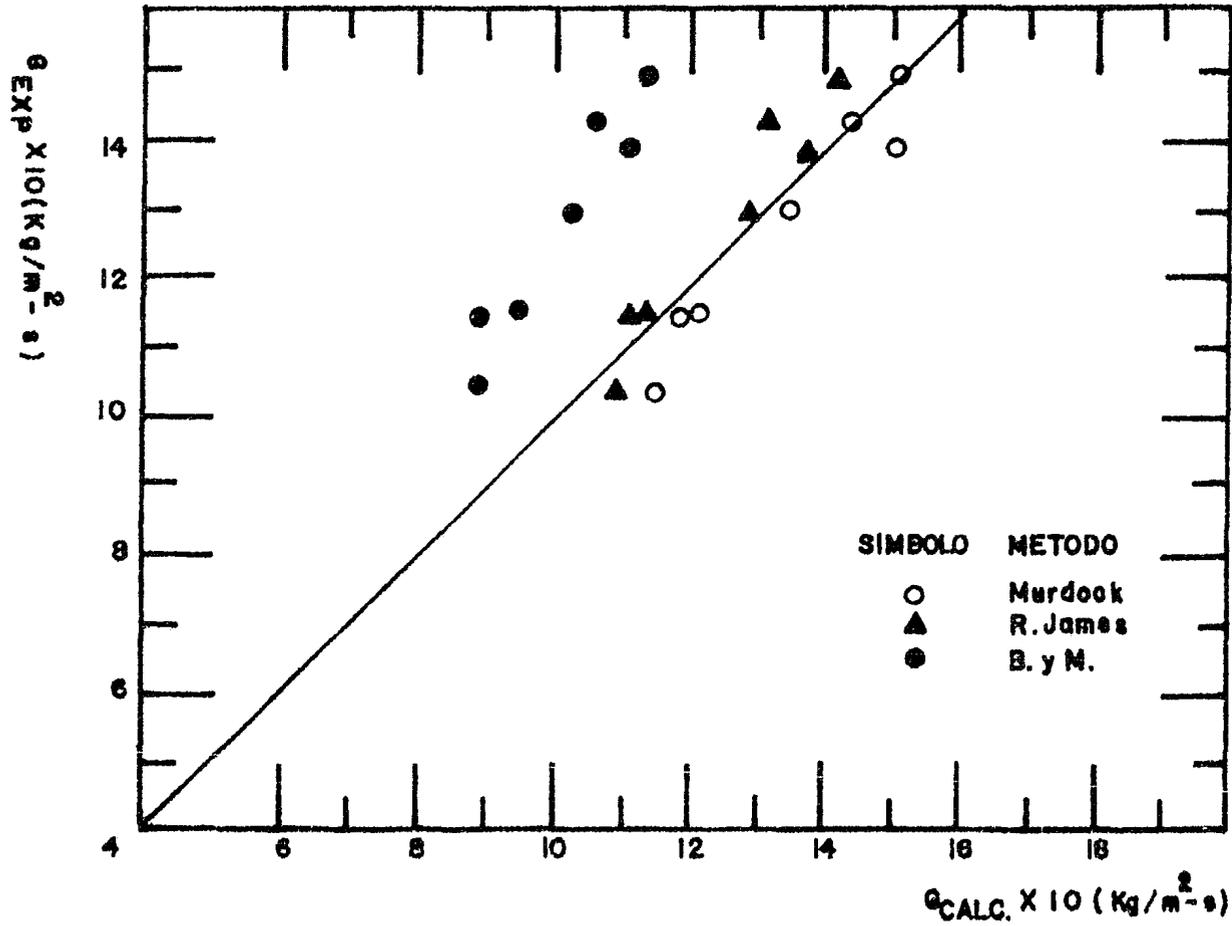
TABLA 4.7 ANALISIS DE LOS METODOS DE FLUJO EN DOS FASES CONSIDERANDO AL TIPO DE PATRON DE FLUJO.

4.2.1 PATRON DE FLUJO DISPERSO-ANULAR.

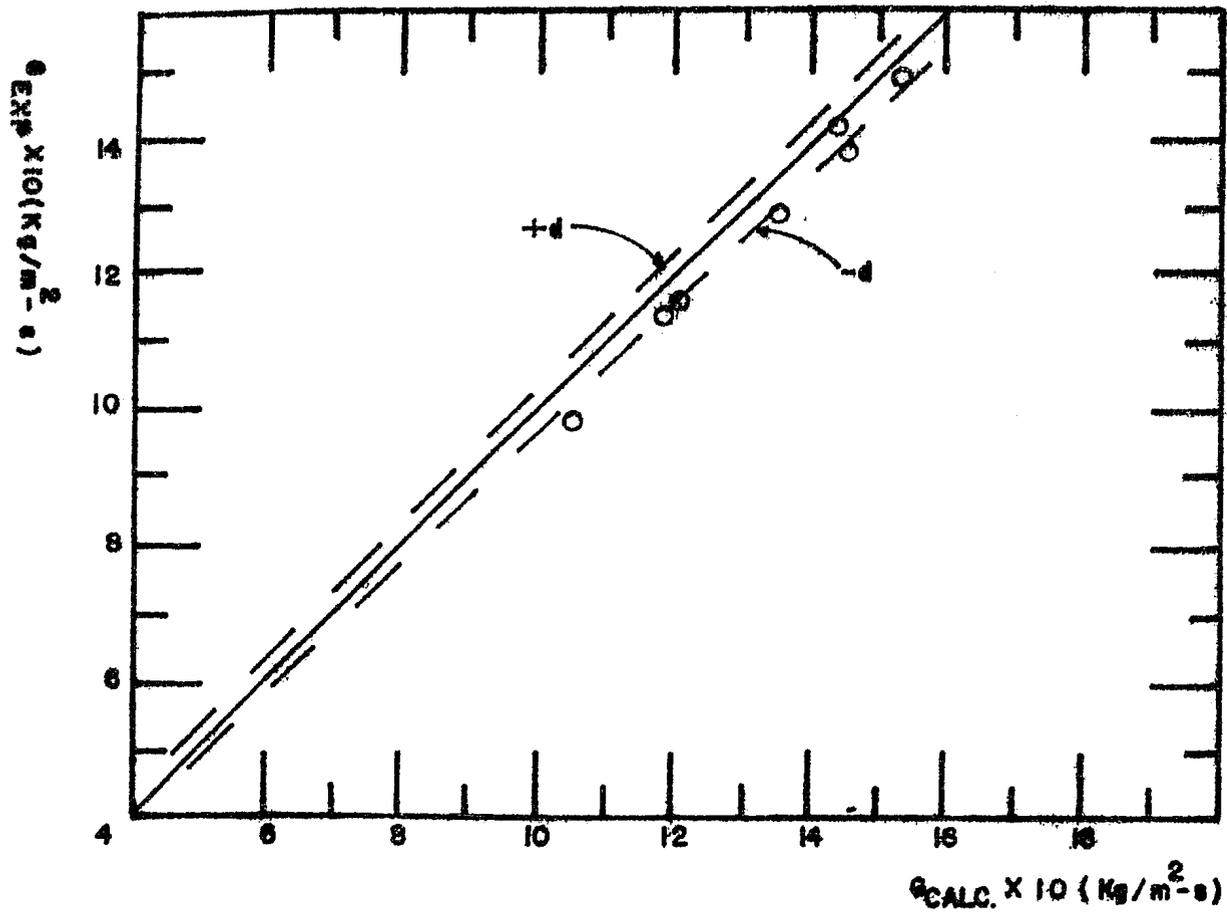
En las gráficas 4.8 a 4.11 se grafica la velocidad de flujo experimental contra la velocidad de flujo calculada por los métodos para flujo en dos fases como conjunto y para cada uno de los métodos en el patrón de flujo disperso-anular durante la experimentación efectuada en esta tesis.

De acuerdo a la tabla 4.7 se observa que con el método de ---- Murdock(3) se obtiene el menor error y una desviación fraccionaria media de +0.02.

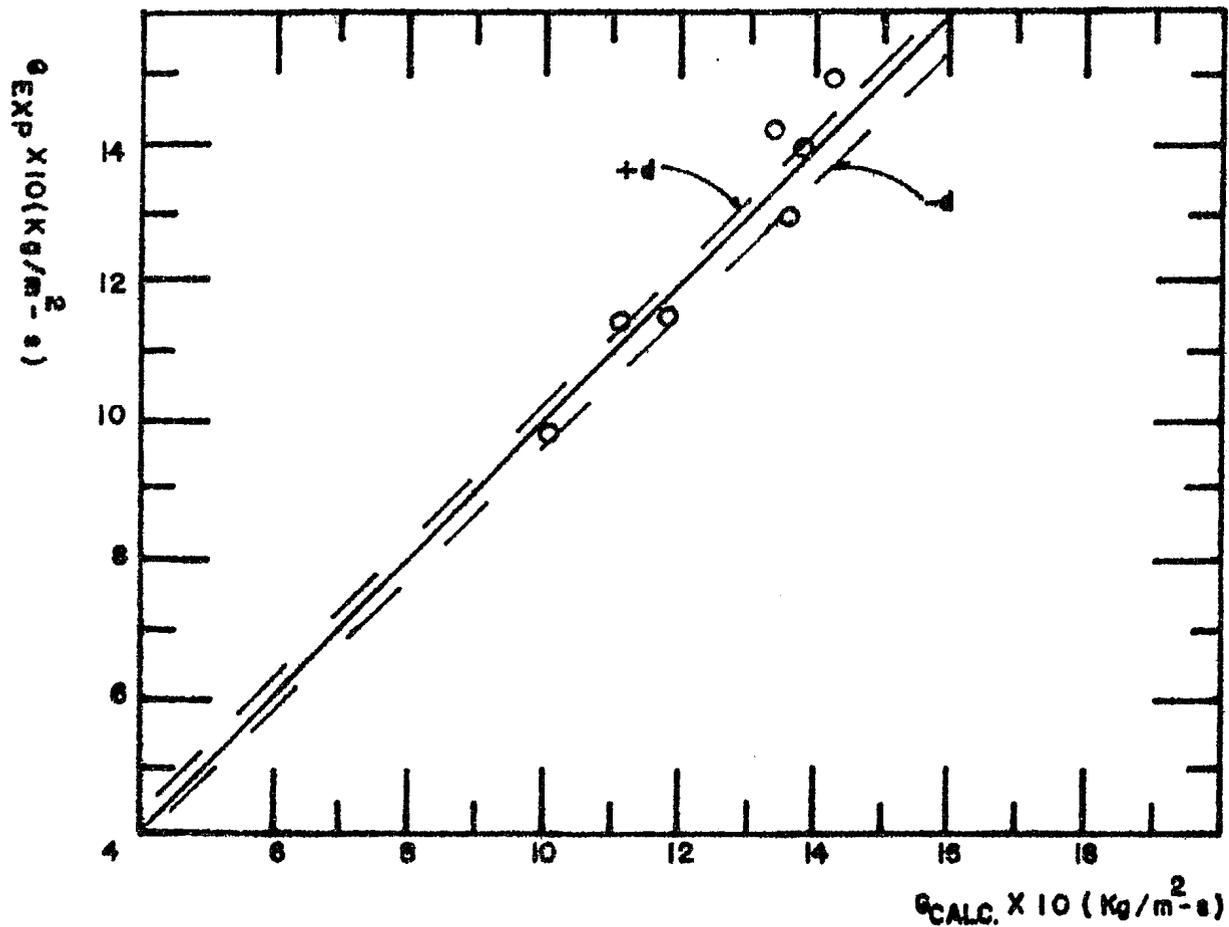
En la gráfica 4.9 se observa una menor dispersión de puntos con respecto a los otros dos métodos. La tabla 4.7 muestra que con el método de Russell James(4) se obtiene la misma desviación - media fraccionaria que para el método de Murdock aunque el error máximo es ligeramente mayor.



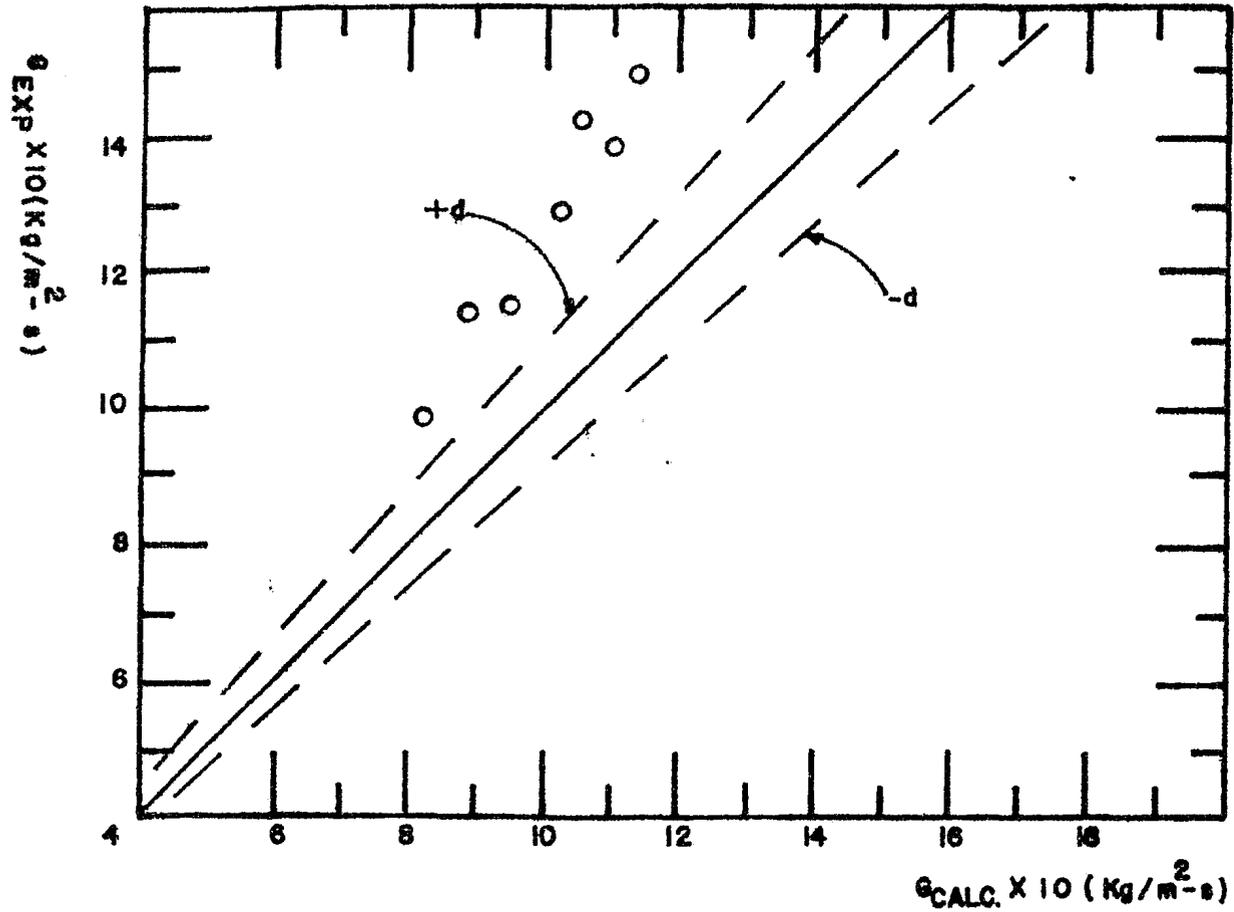
GRAFICA 4.3 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR LOS METODOS DE DOS FASES. PATRON DE FLUJO: DISPERSO-ANULAR.



GRAFICA 4.9 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE MURDOCK(3)
 PATRON DE FLUJO: DISPERSO-ANULAR.



GRAFICA 4.10 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE RUSSELL JAMES(4).
 PATRON DE FLUJO: DISPERSO-ANULAR.



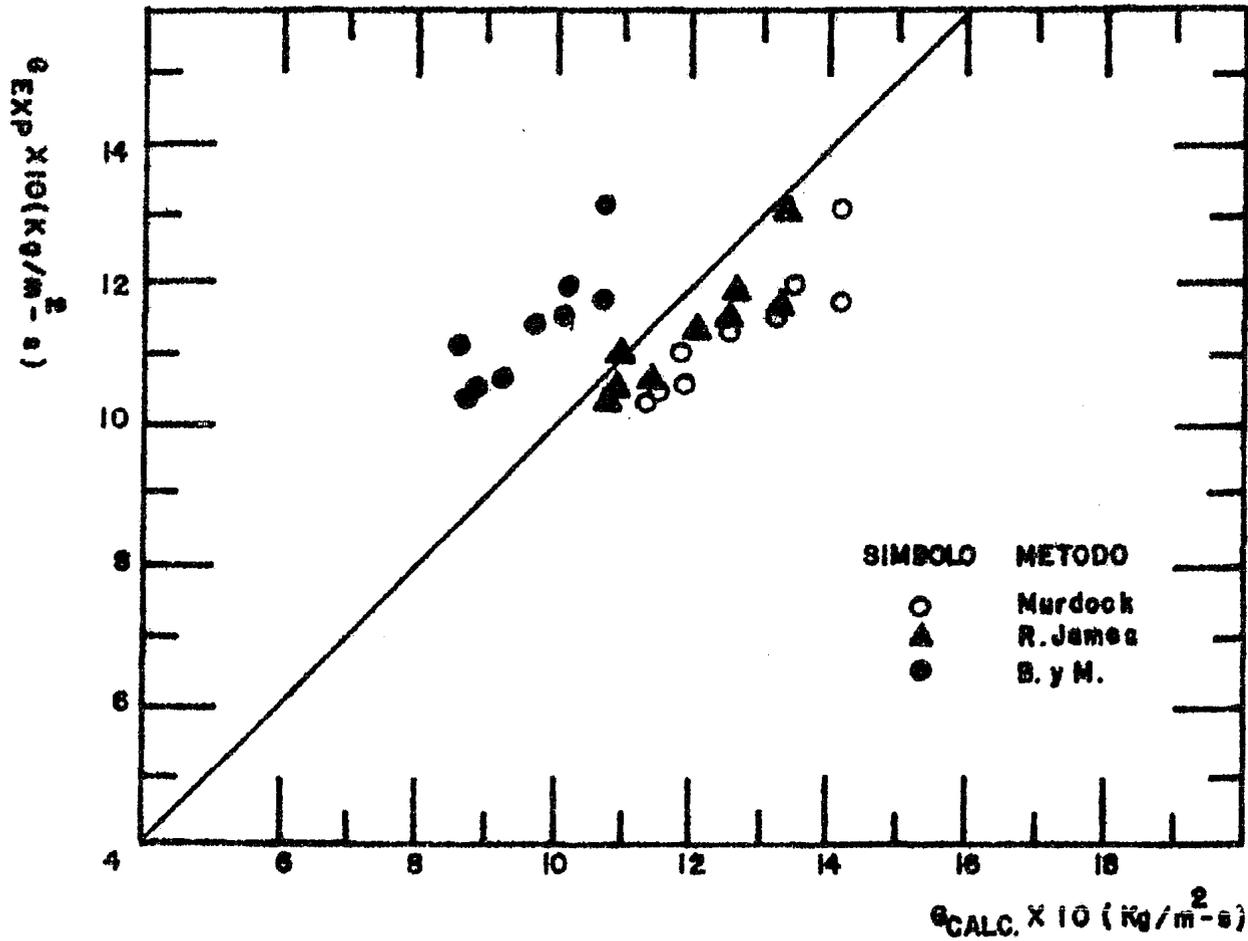
GRAFICA 4.11 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
 DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6)
 PATRON DE FLUJO: DISPERSO-ANULAR.

4.2.2 PATRON DE FLUJO ANULAR.

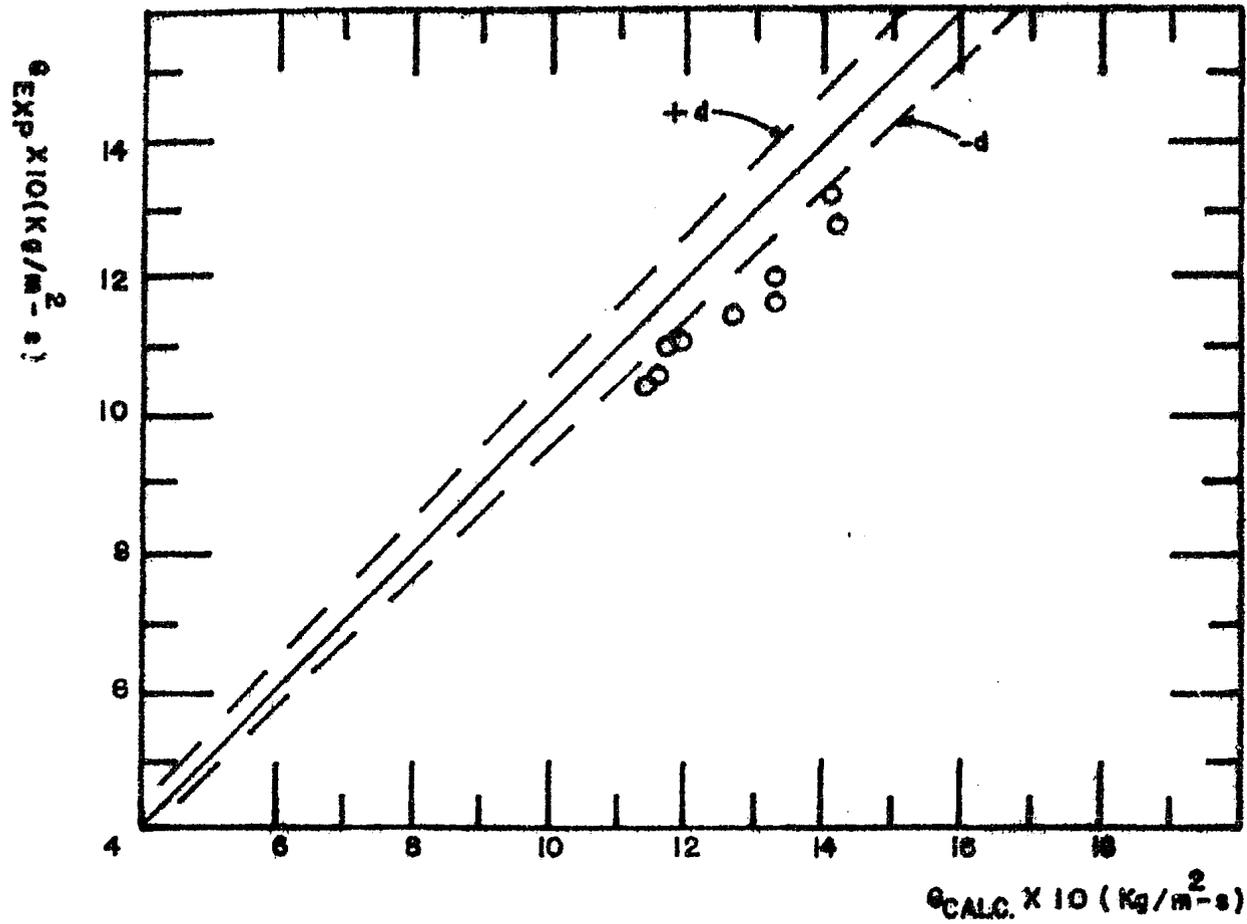
En las gráficas 4.12 a 4.15 se encuentran graficados los puntos calculados con los métodos para flujo en dos fases en conjunto y para cada uno de los métodos, cuándo se experimentó con flujo tipo anular.

Observando la gráfica 4.14 y la tabla 4.7 se puede apreciar que el método de Russell James(4) tiene la menor desviación fraccionaria media así como también el menor error.

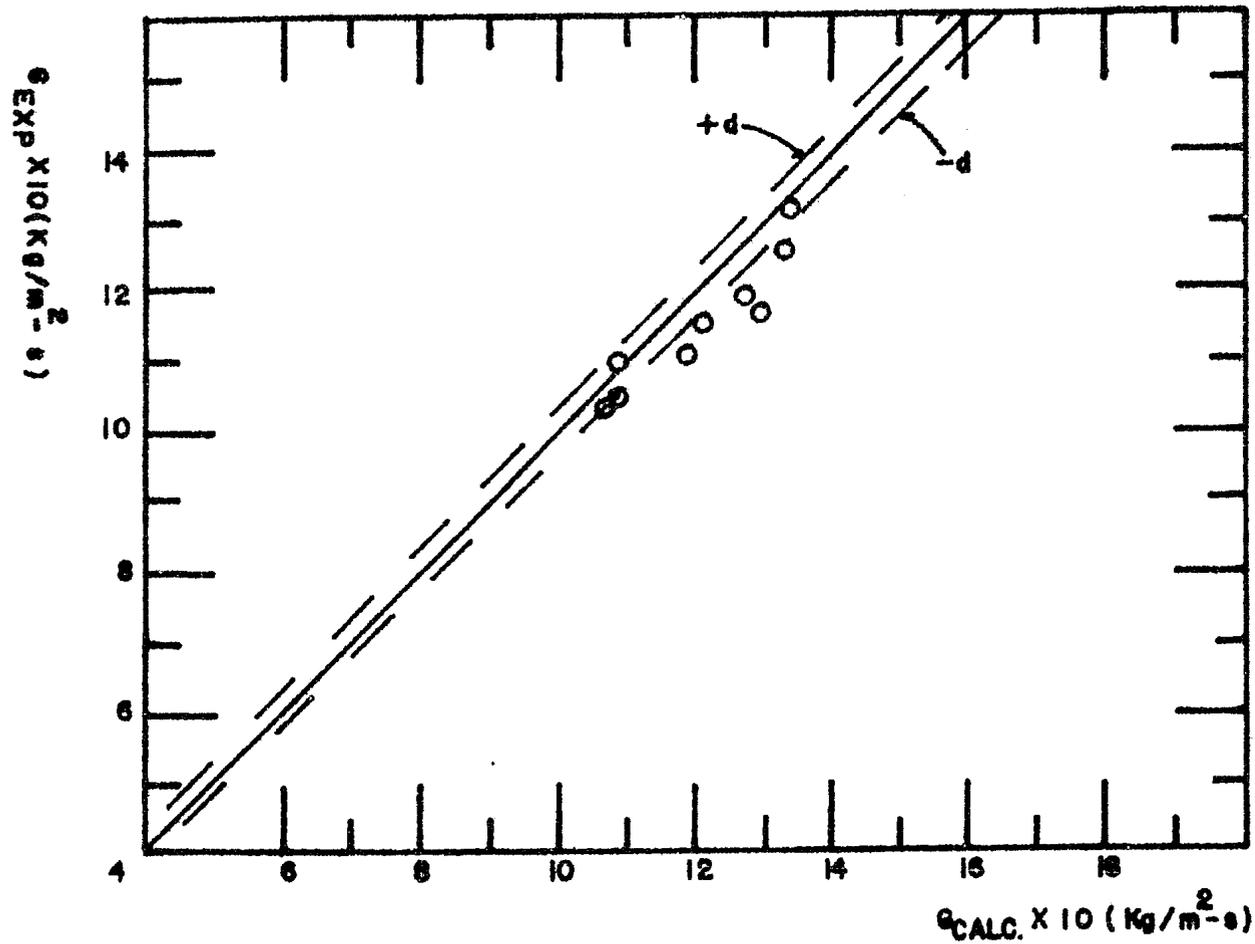
Con el método de Murdock(3) aumentaron notablemente la desviación fraccionaria media y el error máximo con respecto al flujo tipo Disperso-Anular(tabla 4.7).



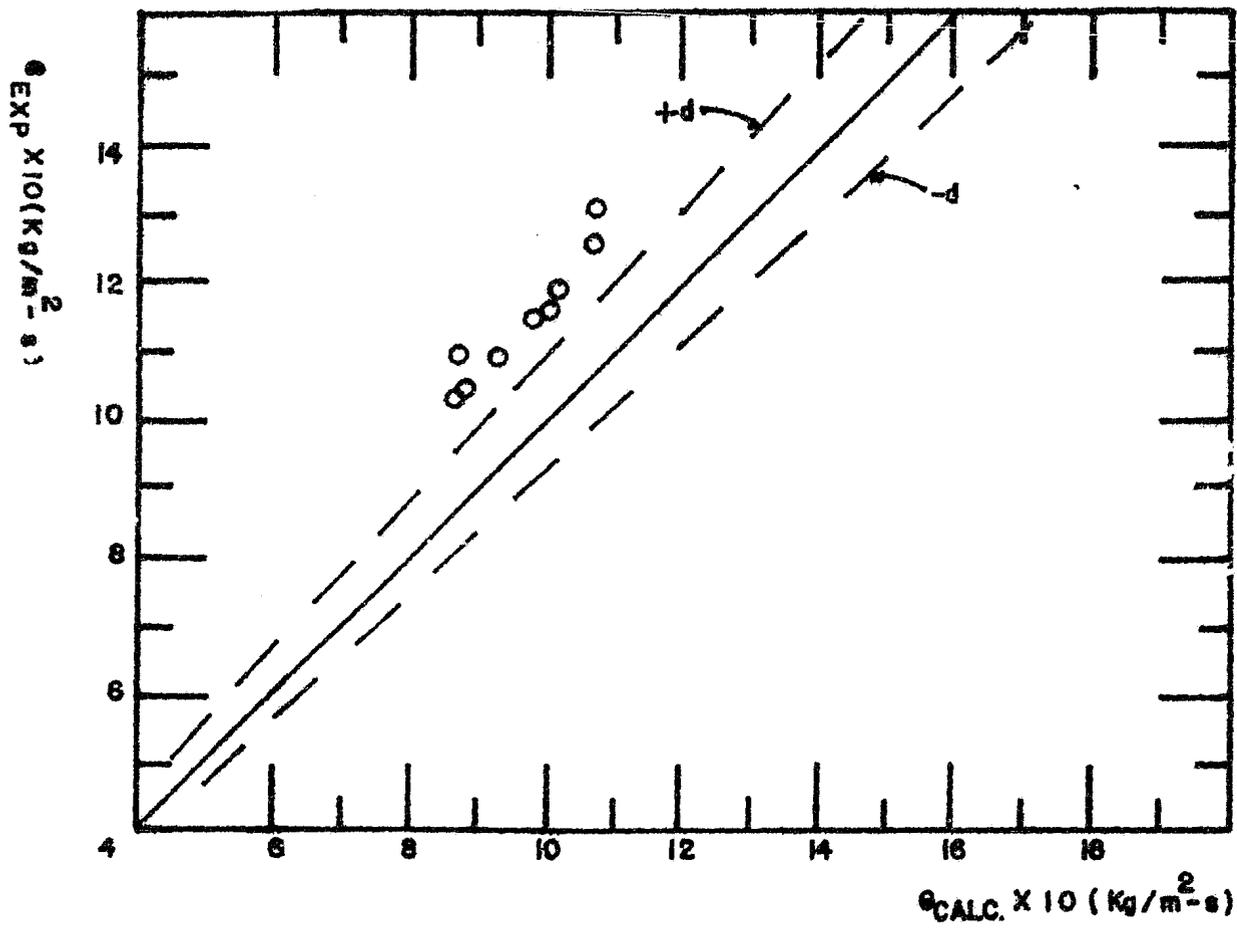
GRAFICA 4.12 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR LOS METODOS DE DOS FASES.
PATRON DE FLUJO: ANULAR



GRAFICA 4.13 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE MURDOCK(3).
PATRON DE FLUJO: ANULAR.



GRAFICA 4.14 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
 DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE RUSSELL JAMES(4)
 PATRON DE FLUJO: ANULAR.



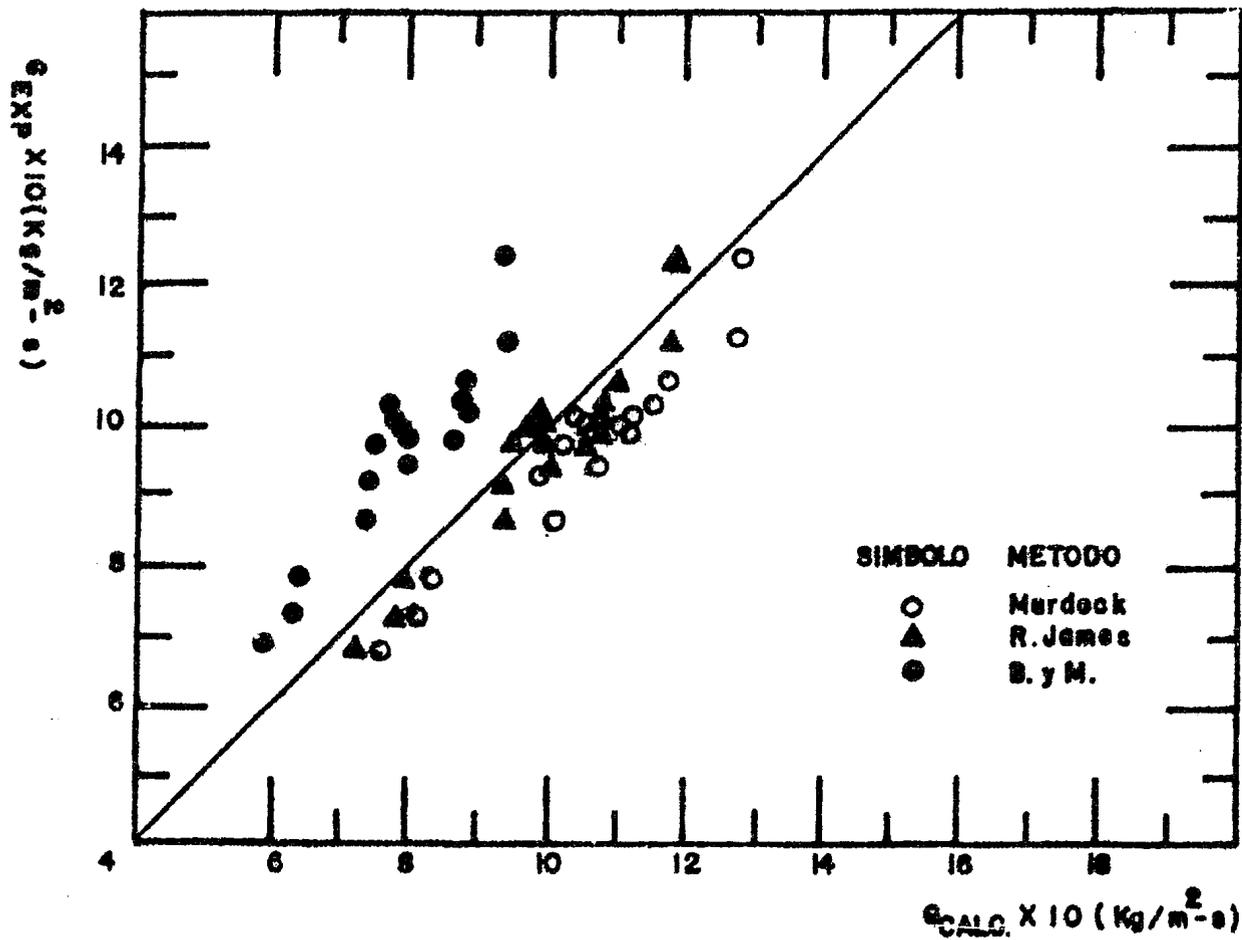
GRAFICA 4.15 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
 DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6)
 PATRON DE FLUJO: ANULAR.

4.2.3 PATRON DE FLUJO ONDULADO.

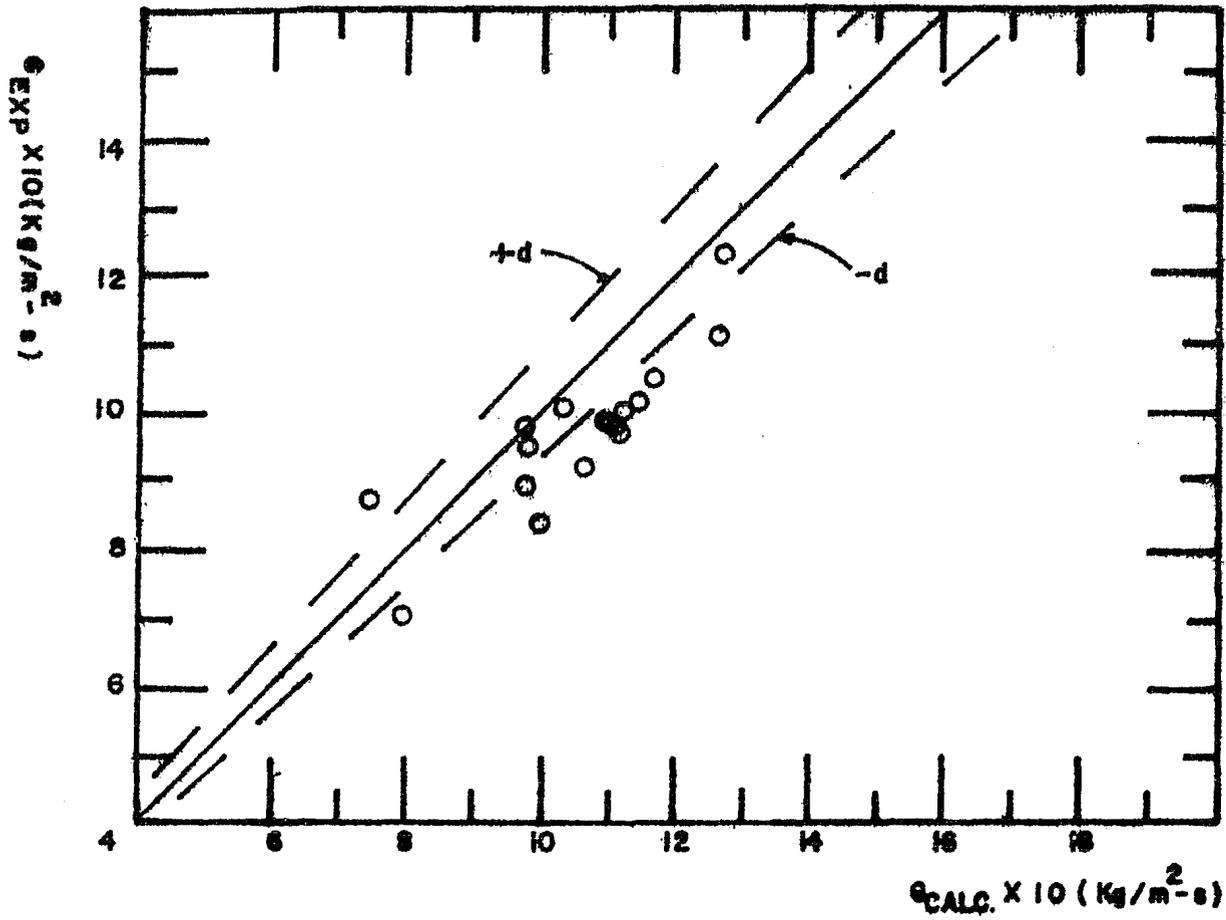
En las gráficas 4.16 a 4.18 se encuentran graficados los puntos calculados con los métodos para flujo en dos fases en conjunto y para cada uno de los métodos cuándo se experimentó con flujo ondulado.

De la tabla 4.7 y de la gráfica 4.18 se observa que el método - Russell James(4) tiene la menor desviación fraccionaria media - así, como también el menor error.

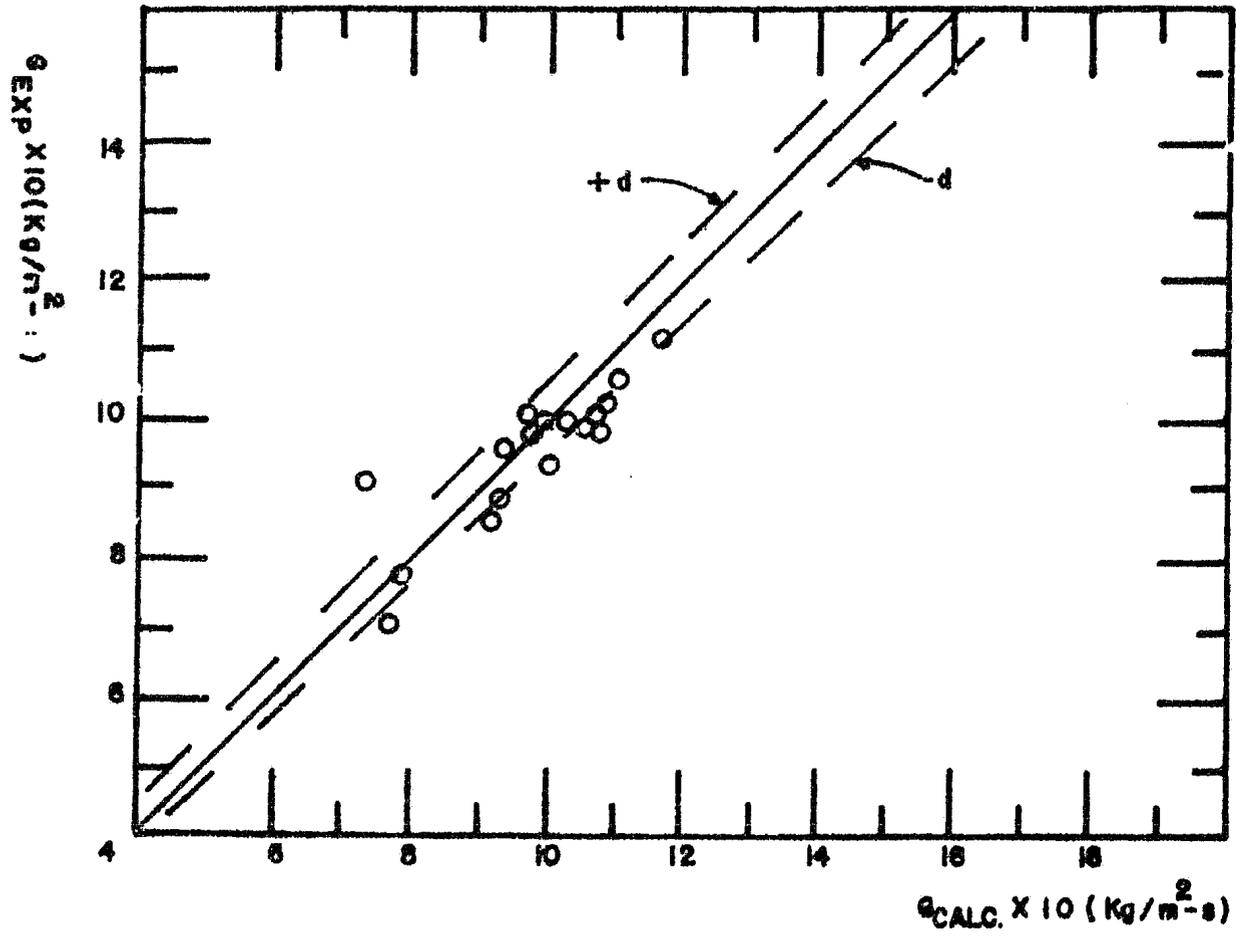
Para el método de Murdock(3), tanto el error como la desviación fraccionaria media aumentan con respecto a los calculados en -- las regiones de flujo Disperso-Anular y Anular.



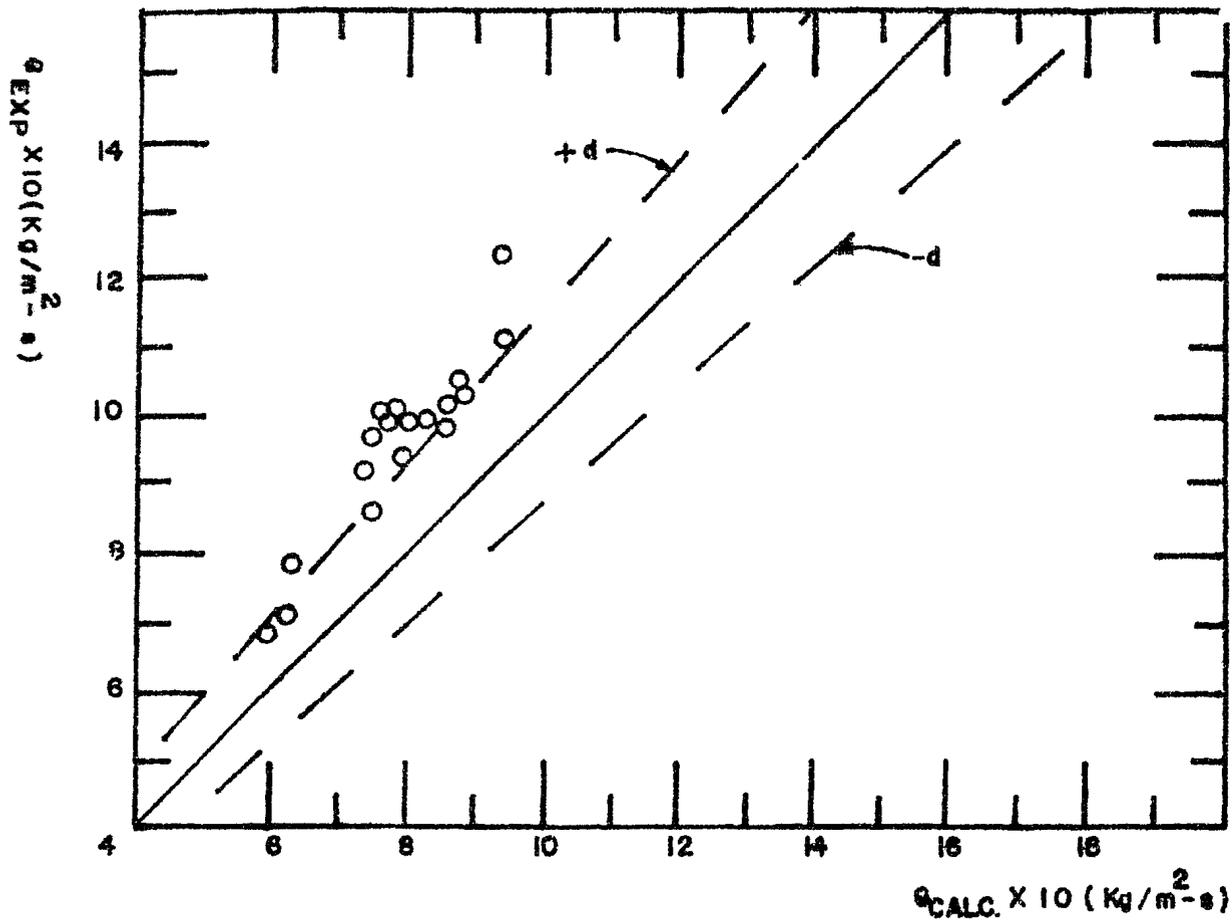
GRAFICA 4.16 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR LOS METODOS DE DOS FASES. PATRON DE FLUJO ONDULADO.



GRAFICA 4.17 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE MURDOCK(3).
 PATRON DE FLUJO: ONDULADO.



GRAFICA 4.18 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE RUSSELL JAMES(4). PATRON DE FLUJO: ONDULADO.



GRAFICA 4.19 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6). PATRON DE FLUJO: ONDULADO.

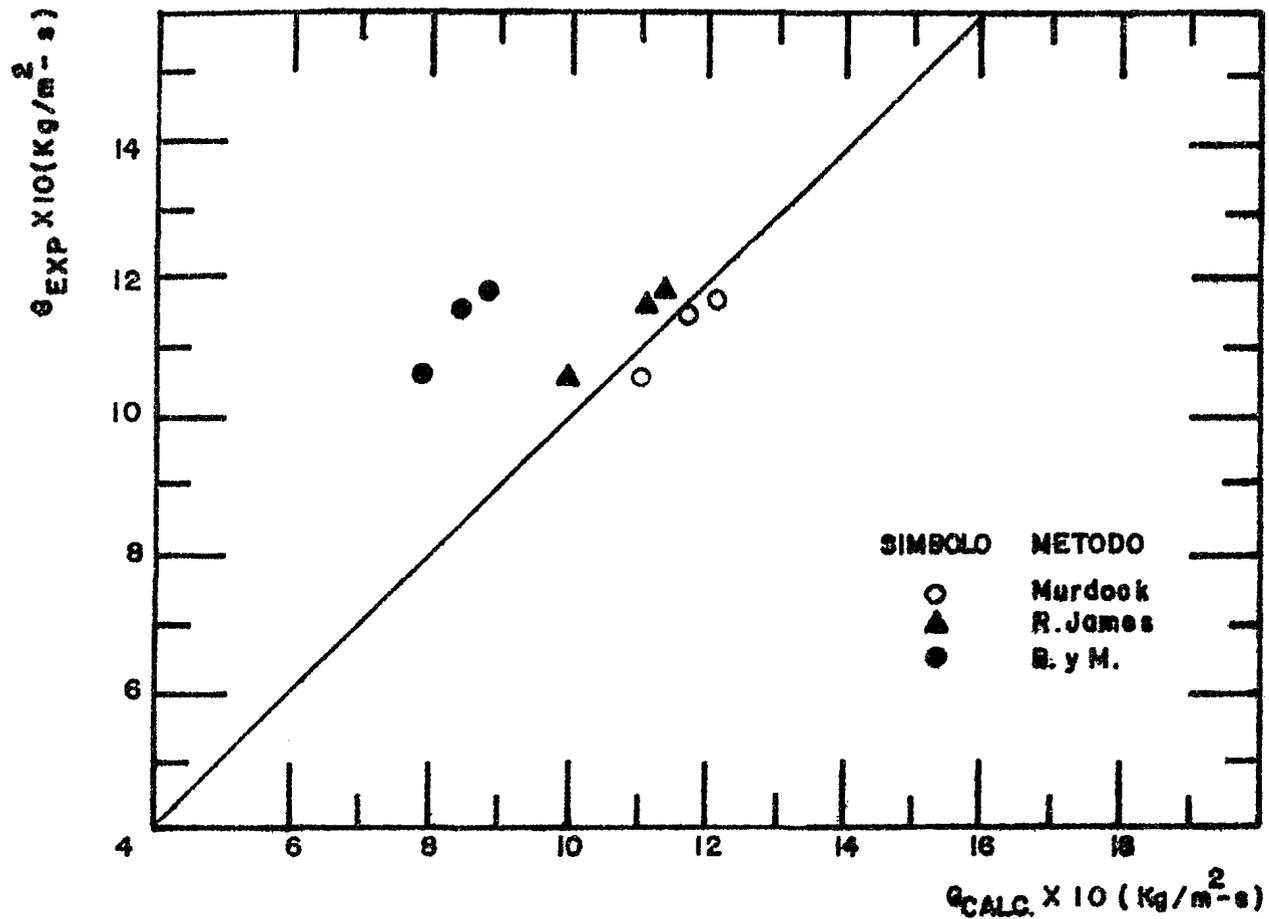
4.2.4 PATRON DE FLUJO PULSANTE.

Para este tipo de patrón de flujo solo fueron obtenidos tres -- puntos por la dificultad al efectuar la medición debido a que -- la variación en flujo en forma de pulsos introduce fluctuaciones en el medidor diferencial procediéndose a tomar las lecturas -- en un mismo instante y en la fluctuación máxima, comprobándose dichas lecturas con dos o tres tomas adicionales para cada punto medido.

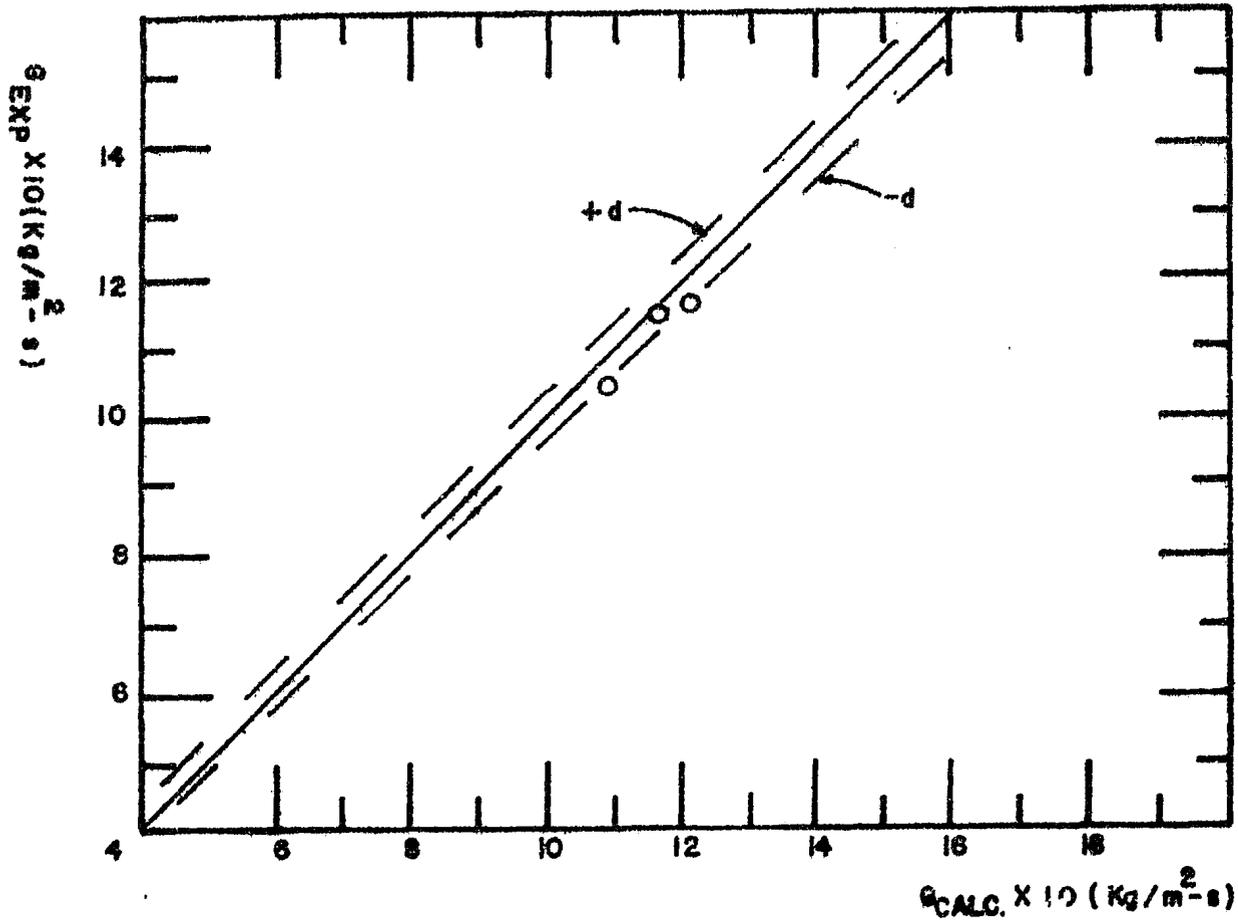
El método que ofrece la mejor aproximación es el de Murdock(3) para este tipo de patrón de flujo.

De los cuatro tipos de flujo manejados en la experimentación y mediante su análisis se hace notar que con el método de Russell James(4) se obtuvieron excelentes resultados para los datos de este trabajo de tesis.

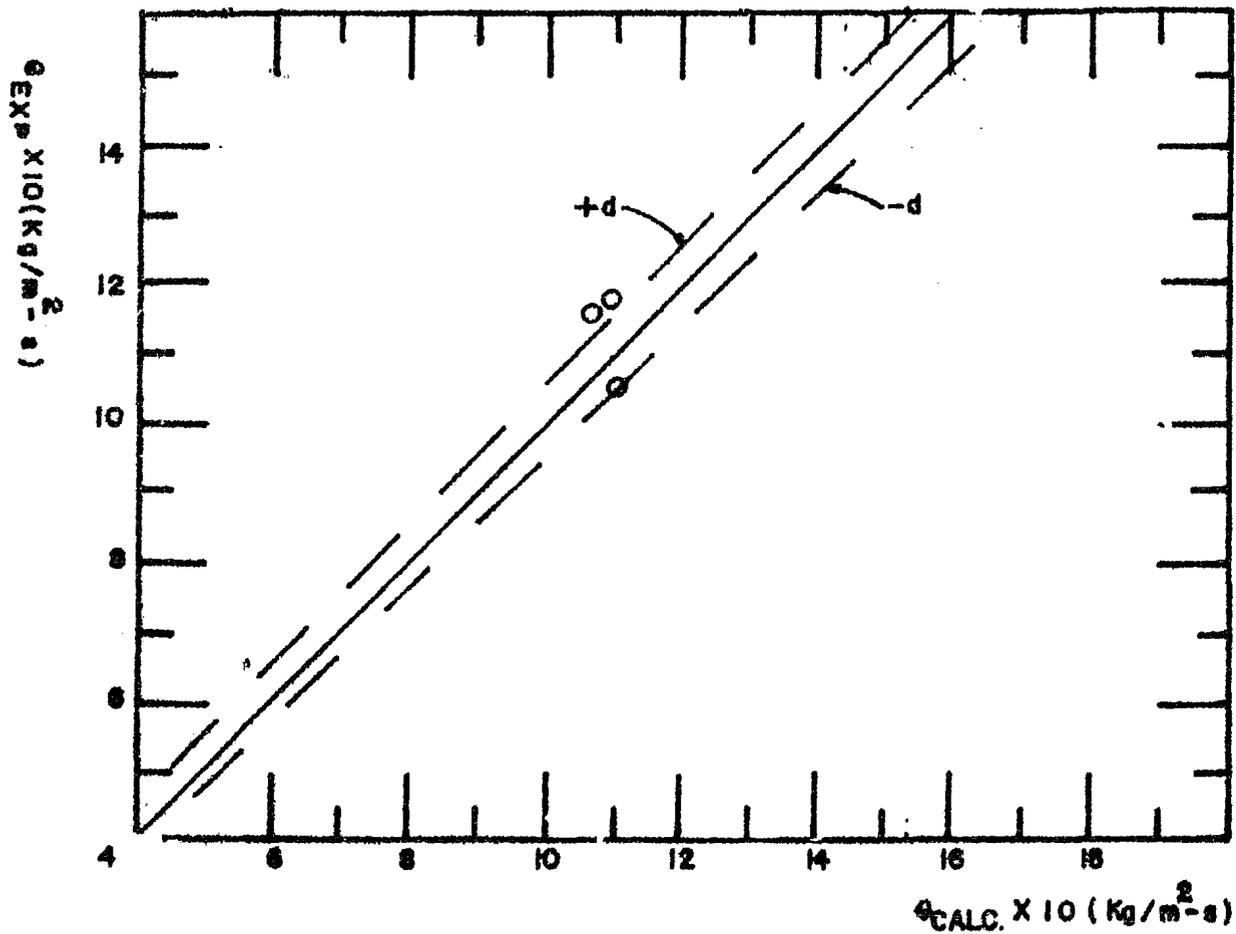
Se observó que el tipo de patrón de flujo presente en la tubería durante la experimentación si influye en la medición del -- flujo.



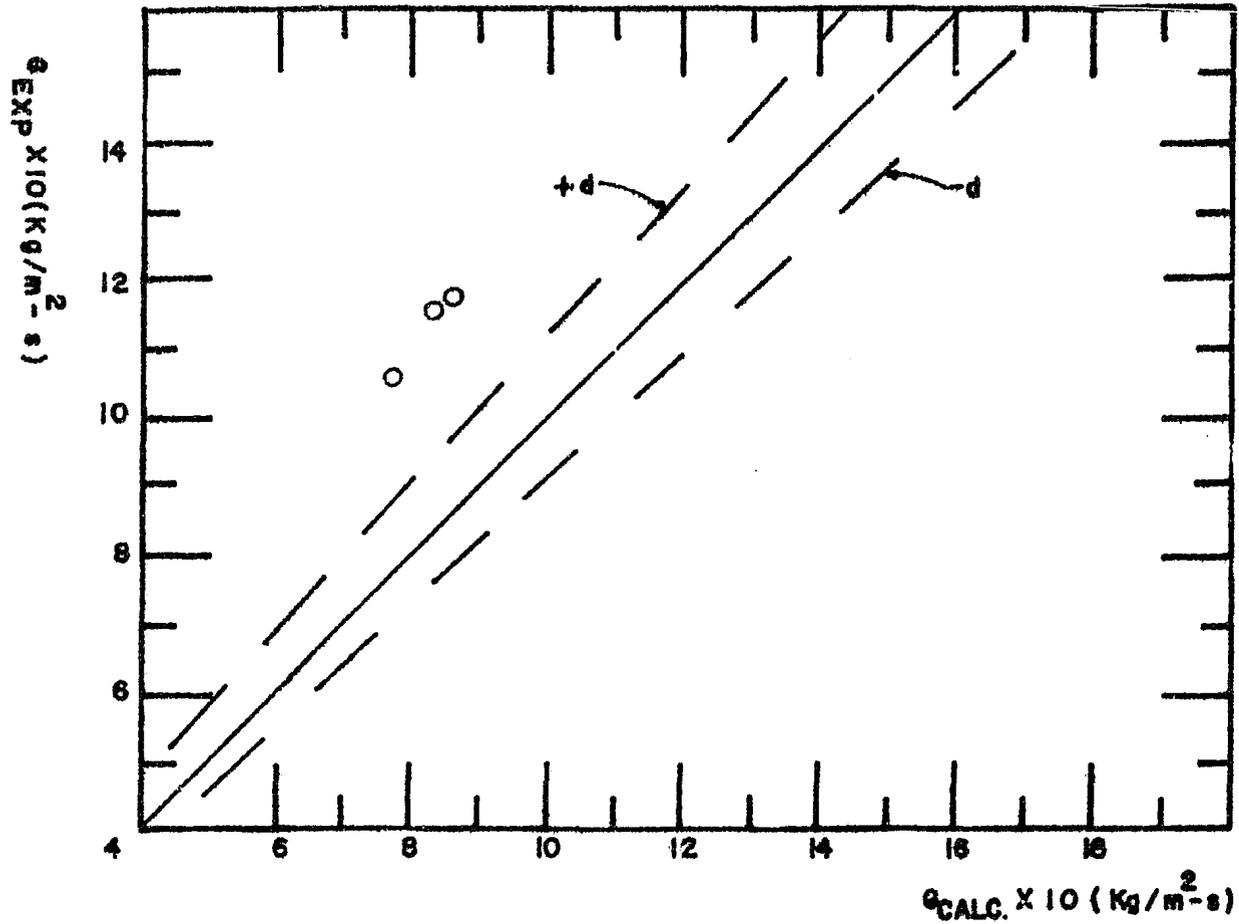
GRAFICA 4.20 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR LOS METODOS DE DOS FASES. PATRON DE FLUJO: PULSANTE.



GRAFICA 4.21 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE MURDOCK(3).
PATRON DE FLUJO: PULSANTE.



GRAFICA 4.22 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
 DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE RUSSELL JAMES (4).
 PATRON DE FLUJO: PULSANTE.



GRAFICA 4.23 VELOCIDAD DE FLUJO EXPERIMENTAL CONTRA VELOCIDAD
 DE FLUJO CALCULADA POR EL METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6).
 PATRON DE FLUJO: PULSANTE.

4.3 ANALISIS PARA LOS PARAMETROS CALCULADOS DE LOCKHART-MARTINELLI(2)

El análisis de resultados de los métodos que calculan los parámetros de Lockhart-Martinelli(2) es importante, ya que dichos métodos relacionan las diferenciales de presión de cada fase -- con la de dos fases a través del orificio de prueba, pudiéndose utilizar esta información para relacionarla con las ecuaciones para cálculo del flujo(Ver método de Murdock(3) Apéndice 8.1) En la tabla 4.24 se muestra la desviación fraccionaria media y el error máximo que se obtuvo al calcular con los métodos de -- dos fases la relación de diferenciales de presión $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$. El método que mejor resultados obtuvo para calcular los parámetros de Lockhart-Martinelli(2) fué el de Russell James(4) ---- teniendo una desviación fraccionaria media de $\pm 5\%$, aunque los cálculos con los métodos de Murdock(3) $\pm 9\%$ y Chisholm(5) $\pm 8\%$ son buenos y se encuentran entre los límites aceptables (*) Cuándo se especifica al tipo de flujo el mejor método de cálculo es:

- Murdock $\pm 2\%$ para flujo Disperso-Anular.
- Russell James $\pm 1\%$ para flujo Anular.
- Russell James $\pm 3\%$ para flujo Ondulado.
- Murdock $\pm 2\%$ para flujo Pulsante.

(*) Ver referencias (3) y (5).

PATRON DE FLUJO	METODO	DESV. FRAC. MEDIA (d)	ERROR MAXIMO (%)	
			POSITIVO	NEGATIVO
NO ESPECIFICA	MURDOCK	± 0.09	-	-15.16
	R. JAMES	± 0.05	+11.57	- 5.56
	CHISHOLM	± 0.08	+18.33	- 3.66
DISPERSO-ANULAR	MURDOCK	± 0.02	-	- 7.46
	R. JAMES	± 0.03	+11.22	- 0.89
	CHISHOLM	± 0.04	+15.19	- 0.18
ANULAR	MURDOCK	± 0.05	-	-12.82
	R. JAMES	± 0.01	+ 3.16	- 2.89
	CHISHOLM	± 0.01	+ 5.96	- 3.00
ONDULADO	MURDOCK	± 0.07	-	-13.68
	R. JAMES	± 0.03	+ 8.53	- 5.56
	CHISHOLM	± 0.04	+13.27	- 3.66
PULSANTE	MURDOCK	± 0.02	-	- 4.60
	R. JAMES	± 0.04	+11.57	-
	CHISHOLM	± 0.07	+18.33	-

TABLA 4.24 DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA Y ERROR MAXIMO AL CALCULAR CON LOS METODOS PARA DOS FASES LA RELACION $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

4.4 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA APROXIMACION POR REGRESION NO LINEAL.

Se utilizó un programa de computadora de regresión no lineal de la Biblioteca Base del Departamento Mecánico del Instituto de Investigaciones Eléctricas para aproximar la mejor curva a los datos obtenidos (Apéndice 8.3) modificando las ecuaciones iniciales para dos fases. Los resultados de esta aproximación se dan a continuación.

4.4.1 METODO DE RUSSELL JAMES(4).

En la tabla 4.25 se observa que la mejor correlación cuando no se toma en cuenta al patrón de flujo resultó ser la n^o 1 y para cuando se agrupan los datos por patrón de flujo las mejores correlaciones son:

- Flujo Disperso-Anular 1a n^o 2
- Flujo Anular 1a n^o 8
- Flujo Ondulado 1a n^o 4
- Flujo Pulsante 1a n^o 10

Debido a que el error máximo cometido al utilizar el método de Russell James(4) es aceptable, este método no necesita de modificación alguna(ver tabla 4.26), porque la aproximación no mejora su precisión excepto para flujo pulsante donde la medición se hace difícil y el error máximo aumenta, pero cuando se utiliza la modificación propuesta el error máximo disminuye(*)

La modificación que se propone al valor empírico del exponente de la calidad del método de Russell James y aplicable a los datos obtenidos(Apéndice 8.3) para flujo pulsante es :

$$X(1.6347 - 15.7 \Phi_{DF}) (+)$$

(*) Ver tabla 4.26

(+) Ver n^o 10 tabla 4.25

Nº	APROXIMACION PROPUESTA	PATRON DE FLUJO	VALOR DE LA APROXIMACION	ERROR MAXIMO(%)	
				POSITIVO	NEGATIVO
1	X^{B1}	NO ESPECIFICA	B1= 1.4309	+8.73	-7.86
2	X^{B1}	DISP-ANUL	B1= 1.5407	+4.12	-6.44
3	X^{B1}	ANULAR	B1= 1.2995	+5.65	-3.46
4	X^{B1}	ONDULADO	B1= 1.3785	+8.33	-6.65
5	X^{B1}	PULSANTE	B1=1.5540	+0.94	-1.79
6	$X^{(B1+B2 \Phi_{DF})}$	NO ESPECIFICA	B1= 1.5441 B2= -11.7	+9.69	-8.25
7	$X^{(B1+B2 \Phi_{DF})}$	DISP-ANUL	B1= 1.7031 B2= -12.8	+4.27	-6.66
8	$X^{(B1+B2 \Phi_{DF})}$	ANULAR	B1= 1.5274 B2= -17.8	+3.88	-2.83
9	$X^{(B1+B2 \Phi_{DF})}$	ONDULADO	B1= 1.6999 B2= -40.7	+9.06	-8.02
10	$X^{(B1+B2 \Phi_{DF})}$	PULSANTE	B1= 1.6347 B2= -15.7	+1.07	-0.75

TABLA 4.25 RESULTADOS DE LA APROXIMACION POR REGRESION NO LINEAL
PARA EL METODO DE RUSSELL JAMES (4).

TIPO DE PATRON DE FLUJO	ERROR MAXIMO (%) S/ APROXIMACION		ERROR MAXIMO (%) C/ APROXIMACION	
	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO	NEGATIVO
NO ESPECIFICA	+8.50	-8.74	+8.73	-7.86
DISP-ANUL	+3.63	-7.57	+4.12	-6.44
ANULAR	+7.54	-0.46	+3.88	-2.83
ONDULADO	+8.50	-5.36	+8.33	-6.65
PULSANTE	-	-8.74	+1.07	-0.75

TABLA 4.26 ERROR MAXIMO SIN APROXIMACION COMPARADO CON EL ERROR MAXIMO CON APROXIMACION PARA EL METODO DE R.JAMES(4)

4.4.2 METODO DE MURDOCK (3)

Para el método de Murdock(3) se probaron tres aproximaciones posibles (tabla 4.27) para obtener la constante C(*) . La primera aproximación fué utilizando la ecuación de flujo con la que no se obtuvieron buenos resultados, por tanto se excluyó como solución.

La segunda aproximación la ecuación que obtuvo Murdock por mínimos cuadrados ec.(A).

La correlación encontrada por Murdock(3) para orificios de medición con flujo en dos fases es:

$$Ec (A) \quad \frac{\sqrt{\Delta P_{DF}}}{\sqrt{\Delta P_G}} = \frac{K_L}{(K_L)_{DF}} \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} + \frac{K_G Y_G}{(K_G Y_G)_{DF}} \quad (+)$$

(*) Apéndice 8.1 ecs.(1) y (2).

(+) Apéndice 8.1 ec. (1).

PATRON DE FLUJO	ERROR MAXIMO CALCULADO (%) (*)							
	S/APROX.		APROX.1		APROX.2		APROX.3	
	POS.	NEG.	POS.	NEG.	POS.	NEG.	POS.	NEG.
NO ESPECIFICA	+16.5 C=1.26	-0.2	+36.2 C=-1.5	-29.13	+8.16 C=2.55	-9.4	+5.9 C=3.47	-4.6
DISP-ANUL	+ 7.0 C=1.26	-0.2	+24.1 C=-3.8	-7.83	+4.8 C=1.92	-3.4	+3.8 C=2.51	-3.4
ANULAR	+13.4 C=1.26	-	+12.6 C=-3.4	-12.8	+6.12 C=3.44	-3.5	+5.2 C=3.71	-3.1
ONDULADO	+16.5 C=1.26	-	+10.9 C=-1.3	-13.6	+ 6.4 C=2.82	-7.1	+4.3 C=3.33	-
PULSANTE	+4.13 C=1.26	-	+ 7.1 C=-1.1	- 8.2	- C=1.64	-2.7	+1.7 C=1.94	-1.3

TABLA 4.27 RESULTADOS DE LA APROXIMACION POR

REGRESION NO LINEAL PARA EL METODO DE MURDOCK(3).

Los resultados del análisis experimental efectuado por Murdock indican que los coeficientes de la ecuación (A) están establecidos como:

$$C = \frac{K_L}{(K_L)_{DF}} = 1.26$$

y

$$\frac{K_G Y_G}{(K_G Y_G)} = 1.0 \quad (+)$$

Ahora bien, para la segunda aproximación se decidió tomar a --

(+) Ver Apéndice 9.1 ecs. (30) y (31).

(*) Los errores máximos que se muestran en la tabla 4.27 son con respecto al flujo.

-- $K_G Y_G / (K_G Y_G)_{DF} = 1.0$ y se hizo variar $C = K_L / (K_L)_{DF}$ para encontrar su valor de acuerdo a los datos obtenidos. (Apéndice 8.3). Después se sustituyó el valor de C en la ecuación de flujo del método de Murdock (Apéndice 8.1 ec (2)) y se obtuvo el error máximo. (tabla 4.27)

En los comentarios que hace Chisholm(5) en el artículo de --- Murdock(3) dice que la ec. (A) no es válida para las dos condiciones límites, cuándo solo fluye gas ó cuándo solo fluye líquido, entonces escribe la ecuación (A) en la forma:

$$\text{ec. (B)} \quad \sqrt{\Delta P_{DF}} = C_M \sqrt{\Delta P_L} + \sqrt{\Delta P_G}$$

Esta ecuación (B) la compara con la ecuación:

$$\text{ec. (C)} \quad \Delta P_{DF} = \Delta P_L + C_{CH} \sqrt{\Delta P_L \Delta P_G} + \Delta P_G \quad (*)$$

Donde:

C_M - Constante en la ec. de Murdock.

C_{CH} - Constante en la ec. de Chisholm.

Chisholm(5) recomienda la ec.(C) para calcular ΔP_{DF} siendo - válida, para las condiciones límite $\Delta P_G=0$ y $\Delta P_L=0$.

La ecuación (C) modificada (inciso 4.4.3. se utilizó para obtener ΔP_{DF} este valor se sustituyó en la ec. (B) para después calcular el flujo y el error máximo obteniéndose los resultados - para la tercera aproximación (tabla 4.27).

(*) Apéndice 8.1 ec. (6).

4.4.3 METODO DE CHISHOLM.

En sus conclusiones Chisholm(5) dice que las relaciones k y Z (*) tienden a ser independientes de la constante C (+) en la ecuación:

$$\text{ec. (D)} \quad \frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = 1.0 + C \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} + \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}$$

pero no así para las ecuaciones:

$$\text{ec. (E)} \quad C = Z + \frac{1}{Z}$$

$$\text{ec. (F)} \quad Z = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{V_G}{V_L}} \quad (*)$$

Pero comenta que aún no se ha desarrollado un procedimiento general para predecir el valor de Z .

En la primera aproximación efectuada para el método de Chisholm se utilizó la ecuación:

$$\text{ec. (G)} \quad \frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = 1.0 + \left[\frac{1}{k} \sqrt{\frac{V_G}{V_L}} + k \sqrt{\frac{V_L}{V_G}} \right] \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} + \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}$$

Donde:

$$C = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{V_G}{V_L}} + k \sqrt{\frac{V_L}{V_G}}$$

que es el resultado de las ecuaciones (D), (E) y (F).

(*) k rel.entre las vel. de las fases ec. (52) Apéndice 8.1
 Z rel.entre las fuerzas cortantes ec. (53) Apéndice 8.1.

(+) C - Constante en la ecuación de Chisholm ec.(6)Apéndice 8.1.

De la ec.(G) se obtuvo el valor de k por regresión no lineal; se calcularon Z y C de las ecs. (E) y (F) respectivamente, mostrando los resultados obtenidos en la tabla 4.28.

APROXIMACION PROPUESTA	PATRON DE FLUJO	VALOR DE LA APROX.	C	ERROR MAXIMO (%)	
				POSITIVO	NEGATIVO
$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{V_G}{V_L}} + \sqrt{\frac{V_L}{V_G}}$	NO ESPECIFICA	k=2.85	5.49	+3.73	-8.11
"	DISP-ANUL	k=3.96	4.08	+5.56	-4.00
"	ANULAR	k=2.52	6.18	+7.21	-7.68
"	ONDULADO	k=3.50	4.55	+3.61	-5.10
"	PULSANTE	k=1.75	8.75	+1.15	-1.21

TABLA 4.28 RESULTADOS DE LA APROXIMACION 1 PARA EL METODO DE CHISHOLM.

El valor de k que se obtiene para flujo Disperso-Anular se muestra acorde con los resultados de Chisholm(5) así como también la C=4.08 (ver tabla 4.23) (*).

Se hizo una segunda aproximación utilizando la ecuación de Chisholm ec.(D), se compararon los resultados obtenidos con los de la primera aproximación observándose que el valor de k es independiente del valor C, para dicho valor C se obtuvieron mejores resultados calculándolo por medio de la primera aproximación que de la ecuación de Chisholm directamente excepto para flujo -

(*) En la literatura se encuentran reportados los valores:

$$k=3.7, 2.33 \leq C \leq 4.76, 1.7 \leq Z \leq 4.53 \quad \text{Chisholm(5).}$$

pulsante donde se observa que la segunda aproximación es mejor.

PATRON DE FLUJO	ERROR MAXIMO (%) APROX. 1		C	ERROR MAXIMO (%) APROX. 2		C
	POS.	NEG.		POS.	NEG.	
NO ESPECIFICA	+8.78	-3.11	5.49	+8.79	-8.27	6.45
DISP-ANUL	+5.56	-4.00	4.08	+5.61	-3.91	4.05
ANULAR	+7.20	-7.68	6.18	+8.6	-5.11	7.50
ONDULADO	+3.61	-5.10	4.55	+7.21	-7.67	6.17
PULSANTE	+1.15	-1.21	8.75	+7.64	-	4.69

TABLA 4.29 RESULTADOS DE LA APROXIMACION NO LINEAL PARA EL METODO DE CHISHOLM (5).

CAPITULO 5

CONCLUSIONES.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES.

- 1.- Con los treinta y siete datos tomados durante este trabajo, se demuestra que el equipo experimental cumple con el objetivo para el cuál fué diseñado, ya que al sustituir estos datos en las ecuaciones para flujo en dos fases de Russell - James(4), Murdock(3) y Chisholm(5) se obtienen desviaciones similares a las reportadas en la literatura.
- 2.- Es evidente que con treinta y siete datos experimentales y las limitaciones reportadas en la tabla 4.1(Capítulo 4) no es posible estructurar una conclusión definitiva. Por tanto el valor de esta tesis estriba en recomendar y sugerir por medio del análisis de resultados, puntos importantes para continuar con la experimentación.
- 3.- Debido a que la medición se efectuó con instrumentación tradicional (manómetros tipo bourdon y manómetros diferenciales de columna de líquido) el error experimental que se puede cometer al calcular el flujo total en dos fases es como máximo de $\pm 3.8\%$.
- 4.- Para los treinta y siete datos reportados, tanto para cuándo se analizan por tipo de flujo como cuándo no se especifica a este, el método que mejor aproximación obtuvo fué el de Russell James(4) con una desviación promedio de (± 0.05) que es aceptable para calculos de ingeniería del flujo en dos fases(+). Es conveniente hacer notar que este método, es extremadamente sencillo y rápido para el cálculo del flujo en dos fases.

(+) Ver tabla 4.2 Capítulo 4 y referencia (9).

5.-Se observó que el tipo de patrón de flujo presente en la tubería si influye en la medición del flujo en dos fases.

Después de tratar de mejorar las ecuaciones para placa de orificio con respecto a los datos de esta tesis por medio de un programa de computadora de regresión no lineal se obtuvo lo siguiente:

- a) El método original de Russell James(4) es el mejor para calcular el flujo en dos fases a través de placa de orificio cuando no se especifica al tipo de patrón de flujo(+).
- b) El método de Murdock(3) "modificado" (*) es el mejor para calcular el flujo cuando se hace distinción del tipo de patrón.

6.- En conclusión para cálculos de ingeniería se recomienda -- ampliamente utilizar el método de Russell James(4) por su excelente rango de precisión, rapidez y confiabilidad para predecir el flujo en dos fases a través de la placa de orificio.

7.-Debido a que el equipo experimental cumple con el objetivo -- para el que fué diseñado, los resultados obtenidos son aceptables y existe una gran posibilidad de obtener datos experimentales para flujo en dos fases en condiciones donde no --- existe información en la literatura, se recomienda ampliamente continuar con la experimentación iniciada en este trabajo de tesis.

(+) Ver Capítulo 4.

(*) Ver inciso 4.4.2 Capítulo 4.

CAPITULO 6

NOMENCLATURA.

CAPITULO 6 NOMENCLATURA.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	DIMENSIONES	UNIDADES S.I.
a	AREA	L^2	m^2
C	COEFICIENTE	-	-
d	DIAMETRO DEL ORIFICIO	L	m
D	DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA	L	m
e	ENERGIA INTERNA	(ML^2/T^2)	Joule
B	FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION	-	-
f	COEFICIENTE DE FRICCION	-	-
F	FUERZA	(ML/T^2)	N
F_a	FACTOR DE AREA	-	-
F_R	FUERZA CORTANTE	(ML/T^2)	N
g	GRAVEDAD	(L/T^2)	m/s^2
G	FLUJO MASICO POR UNIDAD DE AREA DE ORIFICIO O VEL. DE FLUJO	(M/TL^2)	$Kg/s-m^2$
h	ENTALPIA	(L^2/T^2)	KJ/Kg
H	ALTURA	L	m
H_w	ALTURA EFECTIVA DE H_2O	L	m
k	RELACION DE CALORES ESPECIFICOS DE UN GAS IDEAL C_p/C_v	-	-
K	COEFICIENTE DE FLUJO	-	-
m	MASA	M	Kg
p	PERIMETRO	L	m
P	PRESION	(M/T^2L)	Pa
Q	GASTO VOLUMETRICO	(L^3/T)	m^3/s
r	RELACION DE PRESIONES $\Delta P/P_1$	-	-
R	NUMERO DE REYNOLDS R_D TUBERIA R_d ORIFICIO.	-	-
S	ENTROPIA	(L^2/T^2)	KJ/Kg $^{\circ}K$

SIMBOLO	SIGNIFICADO	DIMENSIONES	UNIDADES S.I.
T	TEMPERATURA		$^{\circ}\text{K}$
u	VELOCIDAD	(L/T)	m/s
V	VOLUMEN ESPECIFICO	(L ³ /M)	m ³ /kg
W	GASTO O FLUJO MASICO	(M/T)	Kg/s
X	CALIDAD DE VAPOR	-	-
Y	FRACCION DE LIQUIDO	-	-
Y	COEFICIENTE DE EXPANSION	-	-

LETRAS GRIEGAS

β	RELACION DE DIAMETROS d/D	-	-
Δ	DIFERENCIAL	-	-
γ	PESO ESPECIFICO	(M/L ³)	Kg/m ³
Φ	DIFERENCIAL DE PRESION METODO DE RUSSELL JAMES	L	$^{\text{m}}\text{Hg}$
ρ	DENSIDAD	(M/L ³)	Kg/m ³
λ	RELACION $1000/\sqrt{R_D} = 1000/\sqrt{\beta R_d}$	-	-
τ	ESFUERZO CORTANTE	(ML/T ² L ²)	N/m ²
μ	VISCOSIDAD DINAMICA O ABSOLUTA	(M/LT)	Pa-s
ψ	POTENCIA DE LA CALIDAD EN LA EC. DE BENJAMIN Y MILLER	-	-

SUBINDICES.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	SIMBOLO	SIGNIFICADO
A	AGUA	G	GAS
Br	BROMOBENCENO	L	LIQUIDO
C	CONTRACCION	v	VELOCIDAD
D	DESCARGA	1	ANTERIOR AL ORIFICIO
DF	DOS FASES	2	POSTERIOR AL ORIFICIO
CH	CHORRO	o	ORIFICIO

CAPITULO 7

BIBLIOGRAFIA.

CAPITULO 7 BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Hewitt, G.P., " Introduction to Two Phase Flow Problems in the Process Industry", Two Phase Flow and Heat Transfer in the Power and Process Industries, Mc Graw-Hill, New York, 1981, pp. 508.
- 2.- Lockhart, R.W. and Martinelli, R.C., "Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes", Chem. Eng Prog., 1949, 45(1), 39-48.
- 3.- Murdock, J.W., " Two Phase flow measurement with orifices " , Trans. Am. Soc. Mech. Engrs. (Basic Eng) 1962 84(Series D), 419.
- 4.- James, R., " Metering of Steam/Water Two-Phase Flow by Sharp Edged Orifices" , Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 180, Part I, No. 23, 1965-1966.
- 5.- Chisholm, D., " Pressure gradients during the flow of incompressible two-phase mixtures through pipes, venturis and orifice plates." , British Chemical Engineering, Vol. 12, No. 9 , September, 1967.
- Chisholm, D. and Sutherland, L.A. " Prediction of pressure gradients in pipeline systems during two-phase flow " , Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol 184 Pt 3G, 1969-70.
- Chisholm, D., " Flow of incompressible two-phase mixtures through sharp-edged orifices " , Journal Mechanical Engineering Science, Vol 9, No 1, 1967.

- 6.- Benjamin, M.W. and Miller, J.G., " The flow of saturated water through throttling orifices ", Transactions of the A.S.M.E.- p 420-429, July, 1941.
- 7.- Mandhane J.M., Gregory G.A. and Azizk., " A flow pattern map for gas-liquid flow in horizontal pipes ", The Journal of - Canadian Petroleum, January-March 1975.
- 8.- " Fluid Meters - Their Theory and Application ", Report of - the ASME Research Committee on Fluid Meters, The American Society of Mechanical Engineers, New York, N.Y., Sixth Edition 1971.
- 9.- Smith, L.T. ,Murdock, J.W. and Applebaum, R.S., " An Evaluation of Existing Two-Phase Flow Correlations for Use With ASME Sharp Edge Metering Orifices ", Journal of Engineering for - Power, pp343-347, July, 1977.
- 10.- Smith,R.V. and Leang, J.T., " Evaluations of Correlations - for Two-Phase Flowmeters Three Current-One New ", Journal - of Engineering for Power, pp589-595, October, 1975.
- 11.- Theodore Baumeister, Eugene A.Avallone. , " Standards Handbook for Mechanical Engineers ", Mc. Graw-Hill, New York, 1978
- 12.- José A.Manrique y Rafael S.Cárdenas, " Termodinámica ", --- Haria, México, 1976.
- 13.- Shames,I.H., " La Mecánica de los Fluidos " ,McGraw-Hill, - México, 1967.
- 14.- Mataix Claudio., " Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas ", Haria, México, 1970.
- 15.- CRANE, " FLOW OF FLUIDS THROUGH VALVES, FITTINGS, AND PIPE" Technical Paper No.410, Crane Co, 1972.

- 16.- Catálogo 311 Tube-Turn, " Welding Fittings Flanges ", National Cylinder Gas Company, New York, N.Y., 1954.
- 17.- Tablas " Propiedades Termodinámicas de Gases y Vapores ", - UNIDADES S.I., Sección de Fluidos y Térmica de la Fac. de - Ing. UNAM., México, 1977.
- 18.- ASME STEAM TABLES, " Thermodynamic and Transport Properties of Steam ", Third Edition, The American Society of Mechanical Engineers 1967.

CAPITULO 8

APENDICES.

APENDICE

8.1 TEORIA.

APENDICE 8.1 TEORIA.

8.1.1 DEFINICIONES DE COEFICIENTES Y FACTORES.

Las ecuaciones que se desarrollan en este capítulo están basadas en principios tanto de la Mecánica de Fluidos, como de la Termodinámica.

A continuación se definen los coeficientes y factores utilizados en las ecuaciones para flujo en dos fases a través de placa de orificio:

COEFICIENTE DE VELOCIDAD. - Es la relación entre la velocidad media real en la sección recta de la corriente y la velocidad media ideal sin rozamiento o fricción.

En el coeficiente de velocidad se toma en cuenta a la fricción - (valor experimental). Este coeficiente depende del tamaño y -- forma del orificio.

ECUACION.

$$C_v = \frac{u}{\sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}}$$

COEFICIENTE DE CONTRACCION. - Es la relación entre el área de la sección recta contraída de la corriente (chorro), y el área del orificio a través del cuál fluye el fluido:

ECUACION

$$C_c = \frac{a_{CH}}{a_o}$$

COEFICIENTE DE DESCARGA. - Se define como la relación entre el -- flujo real que pasa a través de un orificio y el flujo ideal o -- teórico:

ECUACION

$$C_D = Q / \sqrt{a2gH} = C_v \times C_c$$

COEFICIENTE DE FLUJO.- Es la relación entre el coeficiente de --
descarga y la relación de diámetros $\beta = d/D$:

ECUACION

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

ASME(American Society of Mechanical Engineers) en su publica--
ción Fluid Meters(8) establece el siguiente procedimiento empíri--
co para el cálculo del coeficiente de flujo:

$$(A) \quad K = K_0 + b \lambda$$

Donde:

$$(B) \quad \lambda = 1000/\sqrt{R_D} = 1000/\sqrt{\beta R_d}$$

$$(C) \quad K_0 = (0.6014 - 0.01352 D^{-0.25}) + (0.3760 + 0.07257 D^{-0.25}) \times$$

$$\times (0.00025/(D^2 \beta^2 + 0.00025D) + \beta^4 + 1.5 \beta^{16})$$

$$(D) \quad b = (0.002 + 0.0011/D) + (0.0038 + 0.0004/D) (\beta^2 + (16.5 + 5D) \beta^{16})$$

FACTOR DE EXPANSION.- Este factor toma en cuenta los efectos de
expansión de un fluido a través de un orificio y esta expresado
por la ecuación:

$$(E) \quad Y = 1.0 - (0.41 + 0.35 \beta^4) \tau/k$$

FACTOR DE VELOCIDAD DE APROXIMACION.- Se calcula con la ecuación:

$$E = \frac{1}{\sqrt{1.0 - \beta^4}}$$

DESARROLLO DE ECUACIONES.

8.1.2. METODO DE MURDOCK(3).

A) FLUJO EN DOS FASES " IDEAL ".

1.- Considérese al flujo de un fluído a través de un medidor - horizontal e ideal bajo las siguientes condiciones:

a) La sección antes del orificio o aguas arriba, es muy grande con respecto a la sección después del orificio o aguas abajo, por lo que se puede asumir que la velocidad aguas arriba es cero implicando que:

$$\text{Si } D \gg d$$

$$\text{Entonces: } \beta = d/D \rightarrow 0$$

b) El fluído líquido o gas, es incompresible a través del orificio de prueba.

c) El coeficiente de contracción del medidor es la unidad $C_C=1$.

d) La pérdida por fricción es mínima por tanto, el coeficiente de velocidad es también la unidad $C_V=1$.

Siguiendo las consideraciones anteriores, la energía del fluído puede ser expresada como:

$$(8) \frac{dP}{\gamma} + \frac{u du}{g} + dH = 0$$

Si el orificio está en un plano horizontal, la altura de las -- secciones de área seleccionadas aguas arriba y aguas abajo es -- la misma, por tanto $dH=0$. Al integrar la ec.(8) resulta:

$$(9) \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} = 0$$

Si:

$$u_1 = 0$$

$$\Delta P = P_2 - P_1$$

$$u_2 = u$$

$$(10) \quad u = \sqrt{2g \frac{\Delta P}{\gamma}}$$

El flujo másico se obtiene por sustitución de la ecuación (10) en la ecuación de continuidad ($w = au\gamma$) resultando :

$$(11) \quad w = a \sqrt{2g \Delta P \gamma}$$

2.- Considérese que solo fluye una fase en determinado momento a través del orificio, entonces para el líquido:

$$(12) \quad w_L = a \sqrt{2g \Delta P_L \gamma_{L1}}$$

Para el gas:

$$(13) \quad w_G = a \sqrt{2g \Delta P_G \gamma_{G1}}$$

Ahora asumiendo que ambas fases, líquido y gas fluyen a través del orificio simultáneamente, el área de flujo del orificio es igual a la suma de las áreas ocupadas por el líquido y el gas:

$$(14) \quad a = a_L + a_G$$

La presión diferencial en dos fases no es la misma que para -- cada fase pero se puede asumir de la ec (11) que:

$$(15) \quad w_L = a_L \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{L1}}$$

$$(16) \quad w_G = a_G \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}}$$

Resolviendo las ecs. (15) y (16) para a_L y a_G respectivamente y sustituyendo estas áreas equivalentes en la ec.(14) resulta:

$$(17) \quad a = \frac{w_L}{\sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{L1}}} + \frac{w_G}{\sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}}}$$

Sustituyendo las ecuaciones (12) y (13) en (17), y simplificando:

$$(18) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} + 1.0$$

Ecuación teórica para flujo en dos fases a través de orificios, que relaciona a la pérdida de presión en dos fases con la pérdida de presión en cada fase parámetros de Lockhart-Martinelli(2).

B) FLUJO EN DOS FASES " REAL ".

El flujo másico real a través de un orificio de medición está expresado por:

$$(19) \quad w = a K Y \sqrt{2g \Delta P \gamma}$$

Utilizando el mismo procedimiento que para el caso ideal, y haciendo notar que para líquidos $Y=1$, las siguientes ecuaciones - pueden ser establecidas.

$$(20) \quad w_L = a K_L \sqrt{2g \Delta P_L \gamma_{L1}}$$

$$(21) \quad w_G = a K_G Y_G \sqrt{2g \Delta P_G \gamma_{G1}}$$

$$(22) \quad w_L = a_L (K_L)_{DF} \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{L1}}$$

$$(23) \quad w_G = a_G (K_G Y_G)_{DF} \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}}$$

Al sustituir las ecuaciones (20) a (23) en la ec. (14) se obtiene que:

$$(24) \quad a = \frac{w_L}{(K_L)_{DF} \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{L1}}} + \frac{w_G}{(K_G Y_G)_{DF} \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}}}$$

Sustituyendo la ec.(12) y la ec. (13) en la ec.(24), y dividiendo entre "a" y multiplicando por $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$ resulta:

$$(25) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{K_L}{(K_L)_{DF}} \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} + \frac{K_G Y_G}{(K_G Y_G)_{DF}}$$

La ec.(25) es la correlación encontrada por Murdock(3) para -- orificios de medición con flujo en dos fases.

El flujo total se obtiene de la suma de las ecs. (20) y (21) :

$$(26) \quad w = a \sqrt{2g \left(\Delta P_L \gamma_{L1} + K_G Y_G \sqrt{\Delta P_G \gamma_{G1}} \right)}$$

Sustituyendo las ecs. (20) y (21) en la ec.(26) y simplificando resulta:

$$(27) \quad w = \frac{(K_G Y_G)_{DF} a \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}} (w_L/w_G + 1)}{1 + \frac{(K_G Y_G)_{DF}}{(K_L)_{DF}} \frac{w_L}{w_G} \sqrt{\frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}}$$

La ecuación (27), puede ser también expresada en términos de la fracción en peso de líquido $y = w_L / w$, es decir:

$$(28) \quad \frac{w_L}{w_G} = \frac{y}{1 - y}$$

Sustituyendo la ec. (28) en la ec. (27):

$$(29) \quad w = \frac{(K_G Y_G)_{DF} \cdot a \sqrt{2g \Delta P_{DF}} \sqrt{\gamma_{G1}}}{(1-y) + \frac{y (K_G Y_G)_{DF}}{(K_L)_{DF}} \sqrt{\frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}}$$

C) ANALISIS EXPERIMENTAL.

Los resultados del análisis experimental efectuado por Murdock, indican que la pérdida de presión en dos fases y la pérdida de presión en cada fase a través del orificio de prueba se correlacionan mediante la ecuación:

$$(1) \quad \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = 1.26 \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} + 1.0$$

Al comparar las ecuaciones (1) y (25), se puede deducir que los coeficientes obtenidos experimentalmente están establecidos -- como:

$$C = \frac{K_L}{(K_L)_{DF}} = 1.26 \quad \text{y} \quad \frac{K_G Y_G}{(K_G Y_G)_{DF}} = 1.0$$

y en consecuencia:

$$(30) \quad (K_L)_{DF} = \frac{K_L}{1.26}$$

$$(31) \quad (K_G Y_G) = (K_G Y_G)_{DF}$$

Al sustituir las ecuaciones (30) y (31) en la ecuación (21) se obtiene:

$$(32) \quad w = \frac{K_G Y_G a \sqrt{2g \Delta P_{DF} \gamma_{G1}}}{(1-\gamma) + 1.26\gamma \frac{K_G Y_G}{K_L} \sqrt{\frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}}$$

Al sustituir en la ec.(32) las constantes tales como la gravedad, etc y efectuar las conversiones necesarias se obtiene la ec. (2), es decir:

$$a = \frac{\pi d^2}{4} = 0.785398d^2$$

$$\sqrt{2g} = \sqrt{2 \times 9.80652} = 4.42866$$

$$\Delta P_{DF} = \gamma_{H_2O} \Delta H_{WDF}$$

$$\Delta P_{DF} (\text{Kg/m}^2) = 1000 (\text{Kg/m}) \times \Delta H_{WDF} (\text{m}) = 1000 \Delta H_{WDF} (\text{Kg/m}^2)$$

$$(2) \quad w = \frac{110 K_G Y_G F_a d^2 \sqrt{\Delta H_{WDF} \gamma_{G1}}}{(1-\gamma) + 1.26\gamma \frac{K_G Y_G}{K_L} \sqrt{\frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}}$$

8.13 METODO DE RUSSELL JAMES (4).

Partiendo de la ecuación de flujo:

$$(33) \quad w = a K Y \sqrt{2g \Delta P \rho}$$

y conociendo que:

$$a = \frac{\pi d^2}{4} = 0.7854 d^2$$

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

entonces al sustituir a y K se obtiene:

$$(34) \quad w = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \beta^4}} Y 0.7854 d^2 \sqrt{2g \Delta P \rho}$$

Russell James obtuvo mediante un proceso de regresión de datos experimentales que la densidad de la mezcla homogénea "real" - está dada por la ec.(35) en donde el cambio drástico es en la potencia de la calidad de 1 en el flujo homogéneo a 1.5 :

$$(35) \quad \rho_{DF} = \frac{1}{X^{1.5} (V_G - V_L) + V_L}$$

$$(36) \quad \Phi_{DF} = (m_{HG} \text{ bajo agua}) \times 12\,544.66154 = \Delta P \text{ (Kg/m}^2\text{)}$$

Ahora si consideramos $C_D \approx 0.61$ para $R > 30\,000$ y se sustituye lo anterior en la ecuación(34), resulta:

$$(3) \quad w = \frac{149.79 d^2 Y_{DF}}{1 - 4} \sqrt{\frac{\Phi_{DF}}{X^{1.5} (V_G - V_L) + V_L}}$$

La ecuación(3) es propuesta por Russell James(4) para calcular flujos en dos fases a través de placa de orificio.

Ahora, para obtener los parámetros de Lockhart-Martinelli(2) - utilizando los conceptos propuestos por Russell James, se --- tiene lo siguiente:

Para el flujo de la mezcla de dos fases a través de placa de orificio, se puede utilizar la ecuación:

$$(37) \quad w_{DF} = a K Y_{DF} \sqrt{\Delta H_{DF} \rho_{DF}}$$

Cuándo el vapor fluye solo a través del orificio:

$$(38) \quad w_G = a K Y_G \sqrt{\Delta H_G \rho_G}$$

Asumiendo el coeficiente de expansión despreciable, entonces - $Y_{DF} = Y = 1$ y dividiendo la ecuación (37) entre la ecuación -

(33), se obtiene:

$$(39) \sqrt{\frac{\Delta H_{DF}}{\Delta H_G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{w_{DF}}{w_G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_{DF}}}$$

Como por definición:

$$X = \frac{w_G}{w_{DF}}, \quad v_{DF} = \frac{1}{\rho_{DF}}, \quad v_G = \frac{1}{\rho_G}$$

Entonces:

$$(40) \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{1}{X} \sqrt{\frac{v_{DF}}{v_G}}$$

Sustituyendo las ecs.(35) y (36) en (40) se encuentra que:

$$(4) \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{1}{X} \sqrt{\frac{X_{DF} v_G + (1 - X_{DF}) v_L}{v_G}}$$

Para el caso en que se asume al flujo de agua pasando solo sin la fase gaseosa a través del orificio:

$$(41) w_L = a K \sqrt{\Delta H_L \rho_L}$$

Dividiendo a la ec.(41) entre la ec.(38):

$$(42) \sqrt{\frac{\Delta H_L}{\Delta H_G}} = \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{w_L}{w_G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$$

Como por definición:

$$\frac{1 - X}{X} = \frac{w_L}{w_G}, \quad \sqrt{\frac{v_L}{v_G}} = \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$$

Entonces:

$$(5) \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{1 - X}{X} \sqrt{\frac{v_L}{v_G}}$$

Las ecuaciones (4) y (5) fueron obtenidas por Russell James para calcular los parámetros de Lockhart-Martinelli(2).

8.1.4 METODO DE CHISHOLM.

En las ecuaciones que se desarrollan a continuación se toma en cuenta al esfuerzo cortante para el caso donde ambas fases pueden ser consideradas como incompresibles; esto corresponde en la práctica a las condiciones donde la pérdida de presión a través del orificio es relativamente pequeña en comparación con la presión en la tubería.

Efectuando un balance de fuerzas en cada fase por unidad de longitud de tubería, se puede decir que:

$$(43) \quad a_L \Delta P_{DF} - P_L L + F = 0$$

$$(44) \quad a_G \Delta P_{DF} - P_G G - F = 0$$

El esfuerzo cortante en la pared puede ser expresado como:

$$(45) \quad \tau_L = \frac{f}{2} u_L^2 \rho_L$$

$$(46) \quad \tau_G = \frac{f}{2} u_G^2 \rho_G$$

Para la distribución de las fases:

$$(47) \quad \frac{P_L}{a_L} = \frac{\tau_L D}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4}{D}$$

$$(48) \quad \frac{P_G}{a_G} = \frac{4}{D}$$

Por conveniencia se introduce la relación de la fuerza cortante como:

$$(49) \quad F_R = \frac{F}{a_G \Delta P_{DF}}$$

Combinando las ecuaciones (43), (45), (47) y (49) se tiene:

$$(50) \quad P_{DF} \left(1 + \frac{a_G}{a_L} F_R \right) = \frac{4fu_L^2 \rho_L}{2D}$$

y combinando las ecuaciones (44), (46), (48) y (49) se llega a:

$$(51) \quad P_{DF} (1 - F_R) = \frac{4fu_G^2 \rho_G}{2D}$$

Combinando las ecuaciones (50) y (51), se obtiene la relación - entre las velocidades de las fases:

$$(52) \quad k = \frac{u_G}{u_L} = \sqrt{\frac{1 - F_R}{1 + F_R \frac{a_G}{a_L}}} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}} = \frac{1}{Z} \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_G}}$$

Donde:

$$(53) \quad Z = \sqrt{\frac{1 + F_R \frac{a_G}{a_L}}{1 - F_R}}$$

Las ecuaciones de continuidad para las fases son:

$$(54) \quad w_L = u_L a_L \rho_L$$

y:

$$(55) \quad w_G = u_G a_G \rho_G$$

De las ecuaciones (52), (54) y (55) se encuentra que:

$$(56) \quad \frac{a_L}{a_G} = \frac{1}{Z} \frac{w_L}{w_G} \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}}$$

Las pérdidas de presión si las fases fluyeran solas serían expresadas al combinar las ecs. (49), (50), (54) y (55):

$$(57) \quad P_L = \frac{4fw_L^2}{2Da^2} \rho_L$$

$$(58) \quad P_G = \frac{4fw_G^2}{2Da^2} \rho_G$$

Ahora, de las ecuaciones (56), (57) y (58) se obtiene:

$$(59) \quad \frac{a_L}{a_G} = \frac{1}{Z} \frac{w_L}{w_G} \sqrt{\frac{\Delta P_L w_G^2}{\Delta P_G w_L^2}} = \frac{1}{Z} \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}}$$

El área total de la sección del orificio está dada por:

$$(60) \quad a = a_L + a_G$$

De las ecuaciones (50), (54), (57) y (60), se llega a:

$$(61) \quad \frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = \frac{(1 + a_G/a_L)^2}{(1 + F_R a_G/a_L)}$$

Despejando F_R de la ecuación (53):

$$(62) \quad F_R = \frac{Z^2 - 1}{\frac{a_G}{a_L} + Z^2}$$

De la ecuación (59):

$$(63) \quad \frac{a_G}{a_L} = Z \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}}$$

Sustituyendo la ec.(62) en la ec.(61):

$$(64) \quad \frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = \frac{1}{Z^2} \left(1 + \frac{a_G}{a_L} \right) \left(\frac{a_G}{a_L} + Z^2 \right)$$

y sustituyendo la ec.(63) en la ec.(64) y simplificando se obtiene:

$$(6) \quad \frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = 1 + C \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} + \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}$$

Donde:

$$C = Z + \frac{1}{Z}$$

La ecuación (6) es propuesta por Chisholm(5) para relacionar los parámetros de Lochart-Martinelli(2) del flujo en dos fases a través de placa de orificio.

El coeficiente C, es evaluado para cálculos de ingeniería como:

$$C = \left[1 + (C_2 - 1) \sqrt{\frac{v_G - v_L}{v_G}} \right] \left[\sqrt{\frac{v_G}{v_L}} + \sqrt{\frac{v_L}{v_G}} \right]$$

Donde C_2 es una constante empírica experimental, que para placa de orificio tiene un valor igual a 0.5.

8.1.5. METODO DE BENJAMIN Y MILLER(6).

Benjamín y Miller graficaron sus datos experimentales en términos de las presiones antes y después del orificio con respecto al gasto másico por área del orificio.

Benjamín y Miller emplearon la ecuación de flujo para sus resultados:

$$(65) \quad w = a C_D \sqrt{2g \frac{144}{\rho} \Delta P}$$

Con el fin de poder comparar mediante computadora los resultados experimentales de este trabajo con los de éstos autores(6), se procedió a correlacionar los parámetros expresados en forma gráfica a través de regresión no lineal tomando como base la ecuación de Russell James, considerando como incógnita la potencia de la calidad. La correlación es la siguiente:

$$(66) \quad w = 0.876752 a_o \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\psi^{\psi} (v_G - v_L) + v_L}}$$

Donde:

$$\psi = 1.413707 - 3.534576 \times 10^{-7} \Delta P_{DF}$$

APENDICE

8.2 EQUIPO EXPERIMENTAL.

8.2 EQUIPO EXPERIMENTAL.

8.2.1. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO.

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO EXPERIMENTAL	ESPECIFICACIONES
a) Generador de vapor marca Ce-Rey Suministro de vapor Presión de operación Consumo de combustible	1570 Kg/Hr 863 KPa (8.8 Kg/cm ²) 115 Lt/Hr
b) Tanque de agua atmosférico Temperatura aproximada en operación Capacidad	93° C (366.15°K) 2200 Lt
c) Motobomba tipo turbina de alta presión Presión de operación Motor de 1H.P. 127 volts C.A. monofásico 3450 R.P.M.	690 KPa (7.0Kg/cm ²)
d) Tubería de vapor Tubo de acero con costura cédula 40, 75mm(3") de diámetro.	
e) Tubería de agua. Tubo de acero galvanizado de 25mm(1") de diámetro, cédula 40.	
f) Tubería de Prueba (Dos Fases) Tubo de acero con costura de 75mm(3") de diámetro, cédula 40.	

8.2.2. INSTRUMENTACION.

8.2.2.1 PLACAS DE ORIFICIO PARA MEDICION.

Las placas de orificio fueron fabricadas de acuerdo a las recomendaciones de la ASME(8), las cuáles se dan a continuación:

1.- La placa de orificio puede ser de acero inoxidable ó de ---

otro material no corrosivo adecuado para el fluido a ser medido.

2.- La profundidad de la superficie cilíndrica del orificio, -- medida normal al plano de la cara de entrada del orificio deberá encontrarse entre $0.01D$ y $0.02D$ ó $d/8$. Si el espesor de la placa de orificio excede a éstos requerimientos, entonces la salida -- del orificio debe ser biselada con un ángulo de 45° para lograr el mínimo de profundidad en la misma.

3.-La entrada del borde ó esquina del orificio puede ser cuadrada, aguda o redondeada.

4.- El diámetro real del orificio debe ser cuidadosamente determinado después de que todo el trabajo de maquinado en la placa -- haya sido terminado.

5.- La variación de la relación de diámetros deberá tener un rango máximo de 0.5 a 0.8.

6.-La placa de orificio debe estar centrada con respecto al eje de la tubería.

La localización de las placas de orificio se efectuó de acuerdo a las graficas de la fig.8.1 (*)

Las características de las placas de orificio utilizadas en este trabajo se presentan a continuación:

1) Placa de orificio para la medición de flujo de agua:

$$d = 0.0186m$$

$$D = 0.0266m(1.049")$$

$$\beta = 0.6992$$

$$e = 4.3mm$$

(*) Página 130 de la referencia (8).

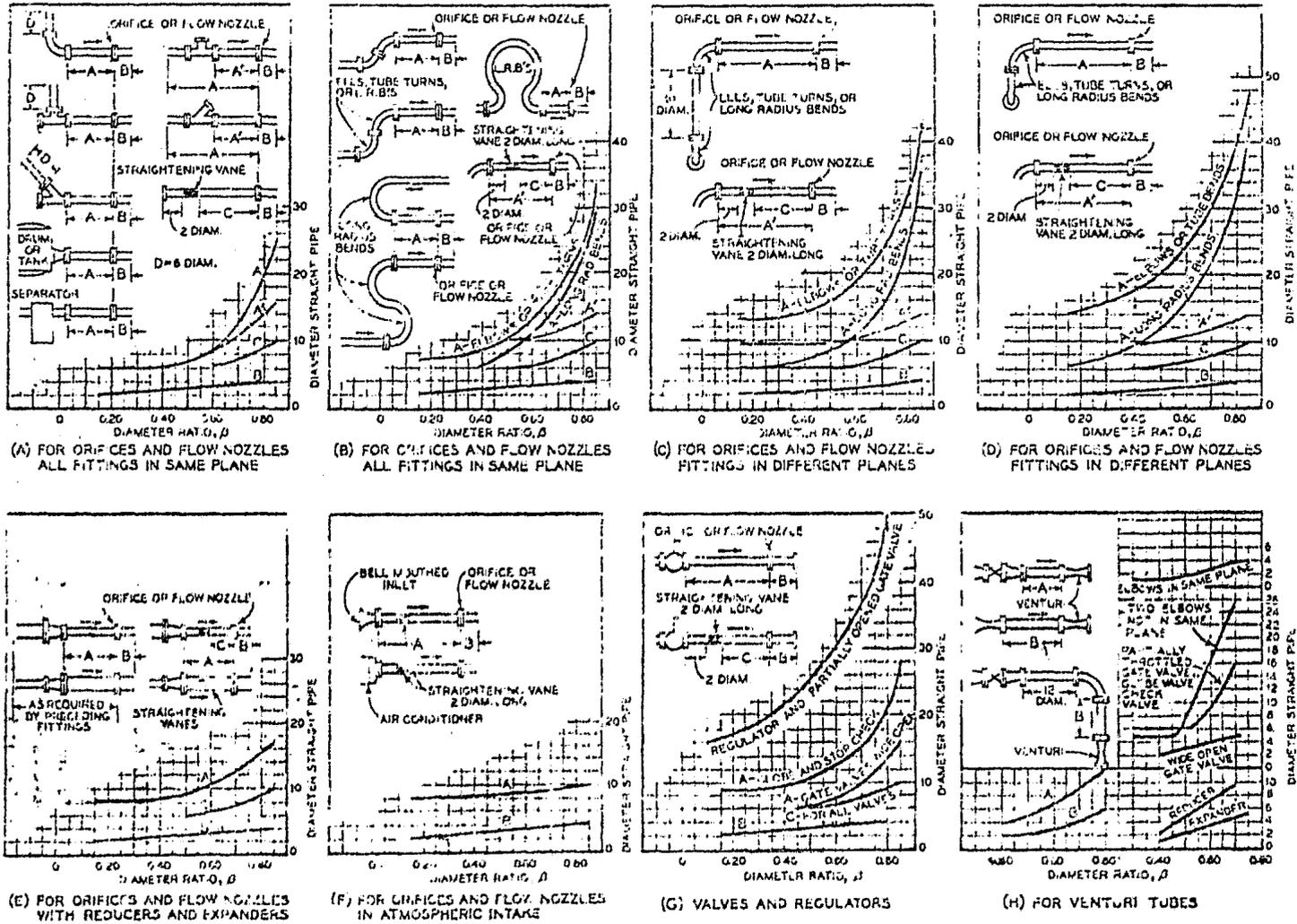


FIG 8.1 LONGITUDES MINIMAS RECOMENDADAS PARA TUBERIA ANTERIOR A ORIFICIOS , VENTURIS Y TOBERAS.

2.- Placa de orificio para la medición de flujo de vapor:

$$d = 0.0545\text{m}$$

$$D = 0.0779\text{m}(3.068")$$

$$\beta = 0.6996$$

$$e = 3.17\text{mm}$$

3.- Placa de orificio para la medición de flujo en dos fases:

$$d = 0.0545\text{m}$$

$$D = 0.0779\text{m}(3.068")$$

$$\beta = 0.6996$$

$$e = 3.17\text{mm}$$

Para la localización de la placa de orificio en la tubería de prueba(flujo en dos fases) se consideró, además de las experiencias reportadas en la literatura sobre trabajos similares, una longitud de calma de 40 veces el diámetro de la tubería para la estabilización del flujo entre el mezclador de fases y la propia placa.

En la pág. 95 se muestra un dibujo de una placa de orificio de bordes cuadrados representativa de las utilizadas en este trabajo.

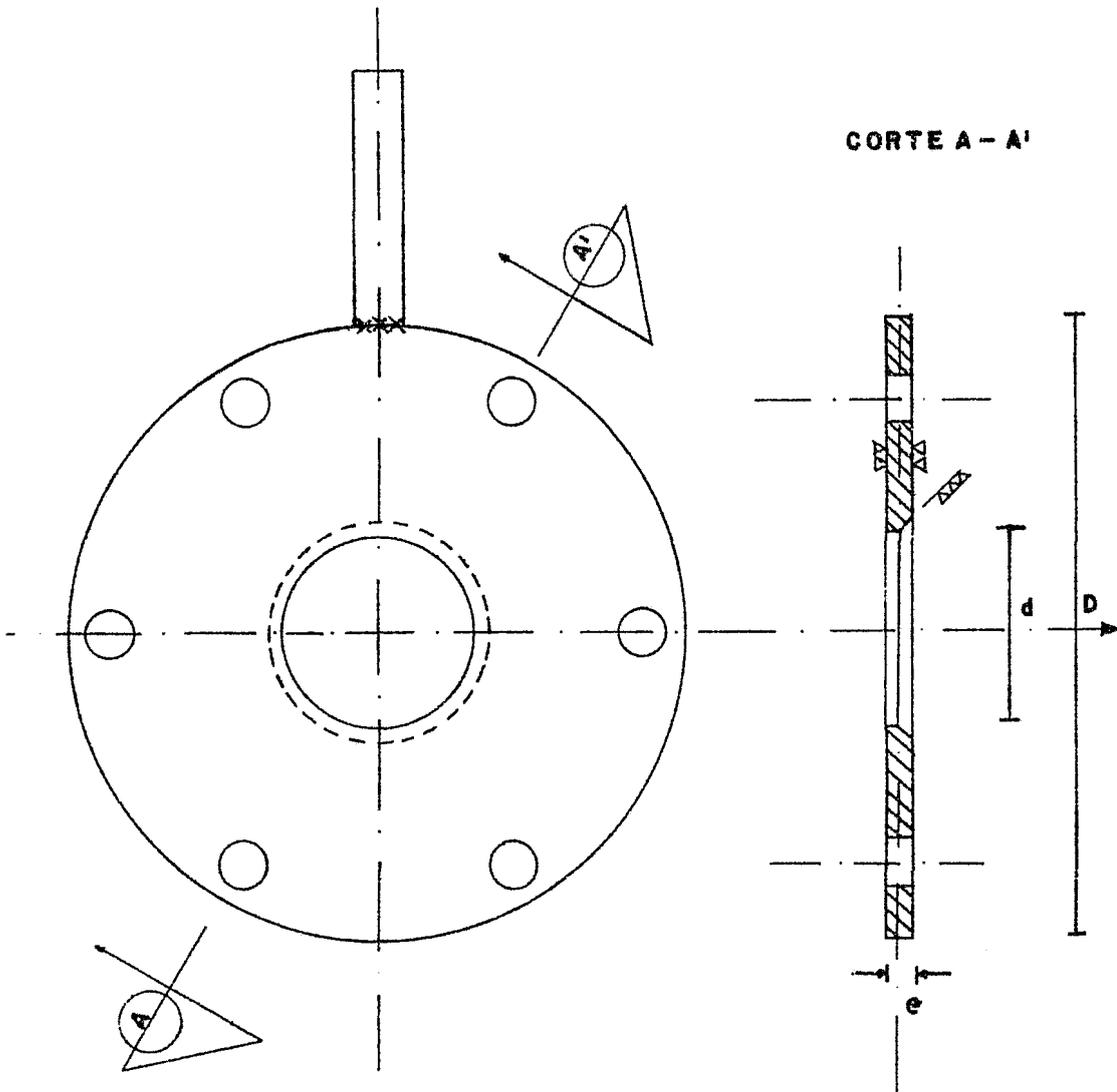
TOMAS DE PRESION Y ARREGLO PARA LA MEDICION.

Los tipos de tomas de presión para un orificio de medición pueden ser:

- 1.- Tomas en las bridas.
- 2.- Tomas a 1 D y 1/2 D.
- 3.- Tomas en la vena contracta.

Para este trabajo se seleccionaron tomas de 1D y 1/2D debido a que:

- a) Su distancia no depende de la relación β del orificio.



PLACA DE ORIFICIO DE
BORDES CUADRADOS.

b) Su fácil instalación.

c) Su bajo costo.

Los centros de las tomas de presión están localizadas:

1D antes de la entrada(del centro de la toma a la cara anterior de la placa de orificio).

1/2D después de la salida(del centro de la toma a la cara posterior de la placa de orificio).

Estas distancias tienen una tolerancia de $\pm 0.2D$ para $\beta=0.2$ y $\pm 0.05D$ para $\beta=0.75$.

Los diámetros recomendados (δ) para los agujeros en la pared de la tubería de proceso se muestran en la tabla 8.2 (*)

DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERIA D.	DIAMETRO MAXIMO δ (VER FIG 8.3)
Abajo de 2"	1/4"
2", 3"	3/8"
4" a 8"	1/2"
10" o más	3/4"

TABLA 8.2 DIAMETROS MAXIMOS RECOMENDADOS (δ) PARA LOS AGUJEROS EN LA TUBERIA PARA LAS TOMAS DE PRESION.

La conexión del cople de la toma de presión en la pared de la tubería de proceso se muestra en la fig 8.3(+)

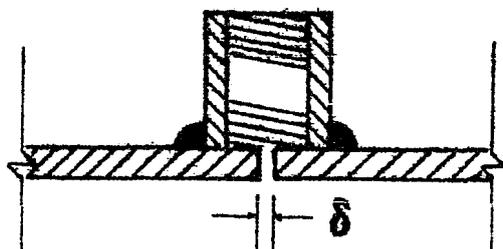


FIG 8.3 CONEXION DE COPLE.

(*) Página 185 de la referencia(8)

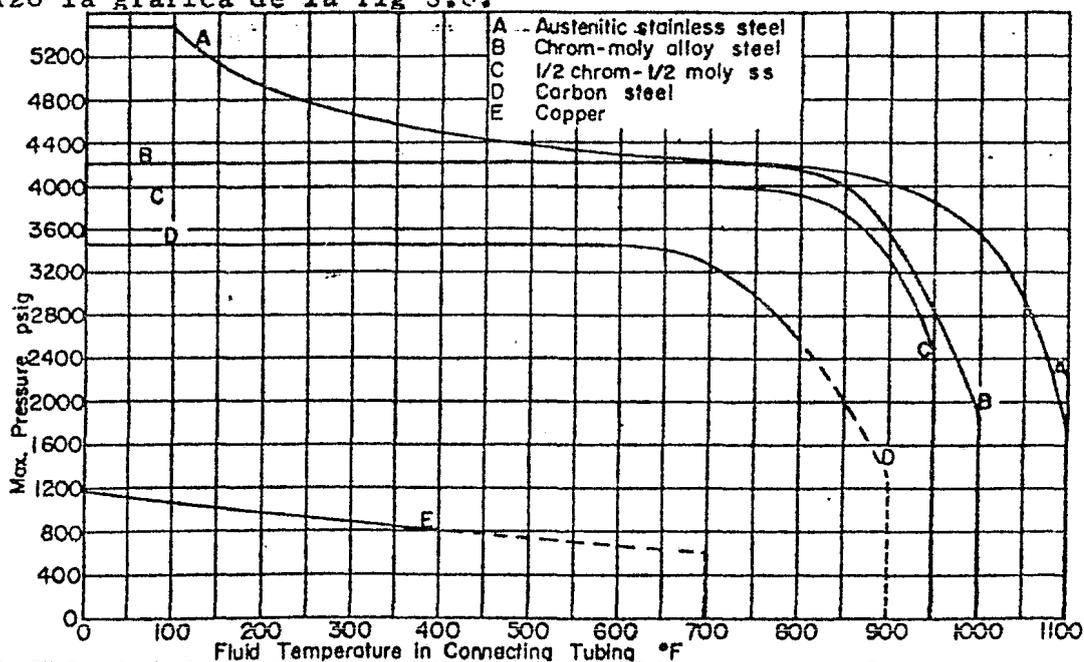
(+) Página 186 de la referencia(8)

Cuándo el elemento primario(placa de orificio) se encuentra en una tubería horizontal, los niples de conexión deben de estar localizados en el plano horizontal de la línea de centros de la tubería.(Esto se hizo en las tomas de los orificios de vapor y de dos fases, que están colocadas en tubería horizontal).

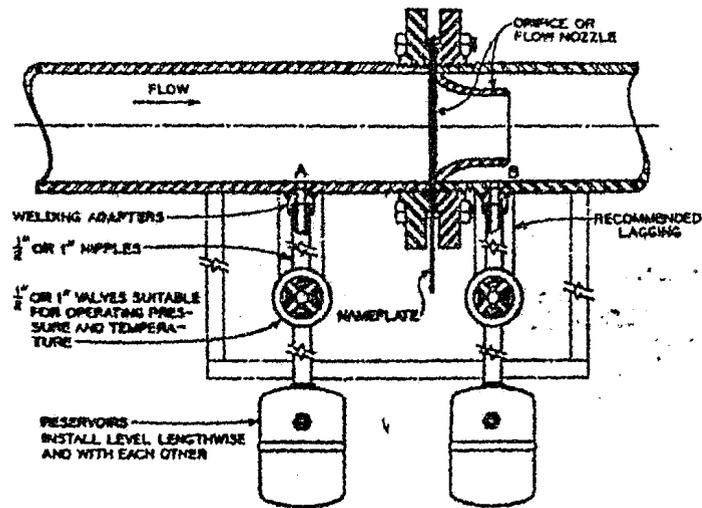
Cuándo se mide en tubería vertical, se debe colocar un niple en forma de "S" para poner ambas tomas al mismo nivel de altura.

Cuándo en la tubería existe líquido que difiere en más de 50°F - con respecto a la temperatura del ambiente, el niple en forma de "S" debe ser usado en la conexión de alta.(Esto se hizo en las tomas del orificio de agua el cuál está colocado en tubería vertical.) Ver figs. 8.4 y 8.5(*)

Para la selección del material de la tubería de conexión se utilizó la gráfica de la fig 8.6.

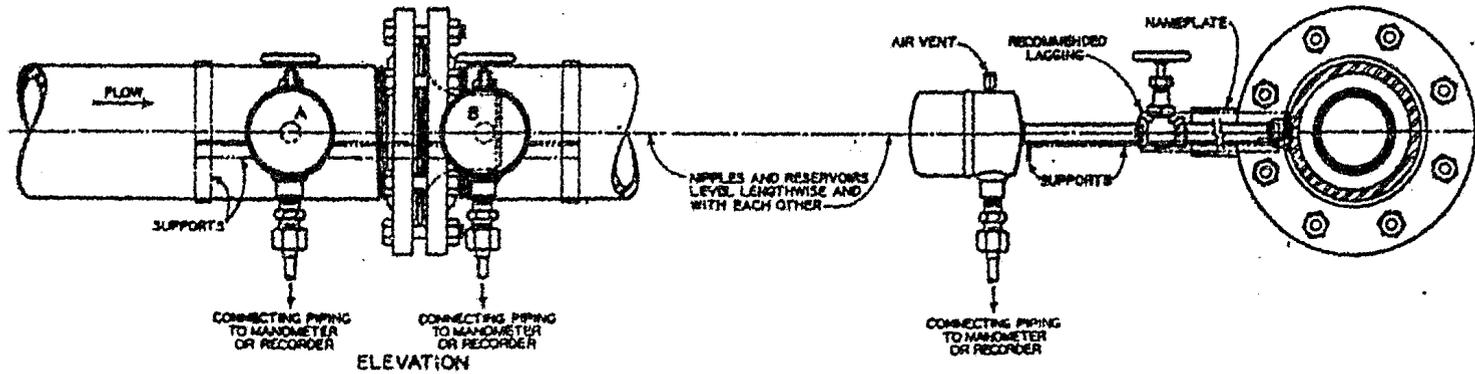


GRAFICA 8.6 GRAFICA PARA SELECCION DE TUBERIA DE CONEXION ENTRE EL ELEMENTO PRIMARIO Y EL ELEMENTO SECUNDARIO.
(*) Páginas 137 y 138 de la referencia (3).



SECTIONAL PLAN VIEW

NOTE:
USE OF RESERVOIRS IS OPTIONAL WHEN
SECONDARY ELEMENT HAS NEGLIGIBLE
VOLUMETRIC DISPLACEMENT.



ELEVATION

FIG 8.4 CONEXION DE NIPLES, VALVULAS Y RESERVORIOS EN TUBERIA
HORIZONTAL.

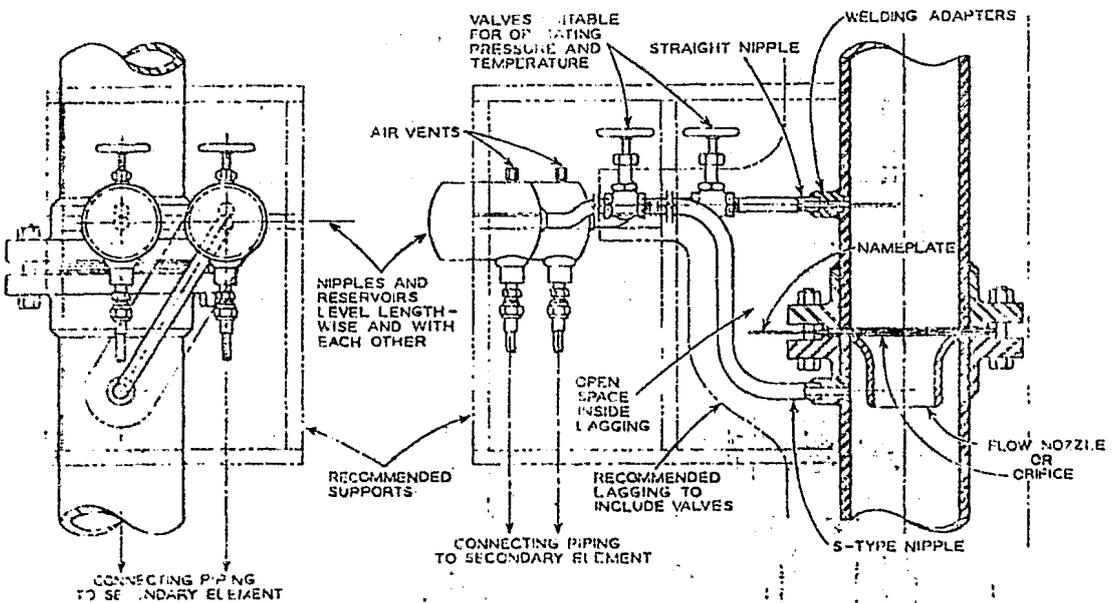
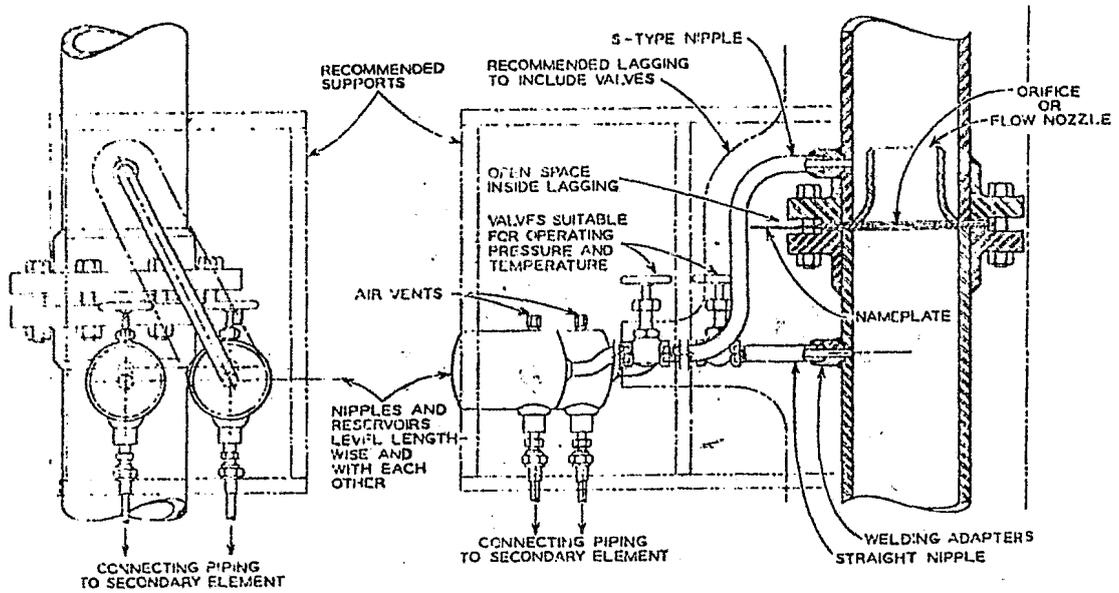


FIG 8.5 CONEXION DE NIPLES, VALVULAS Y RESERVORIOS EN TUBERIA VERTICAL.

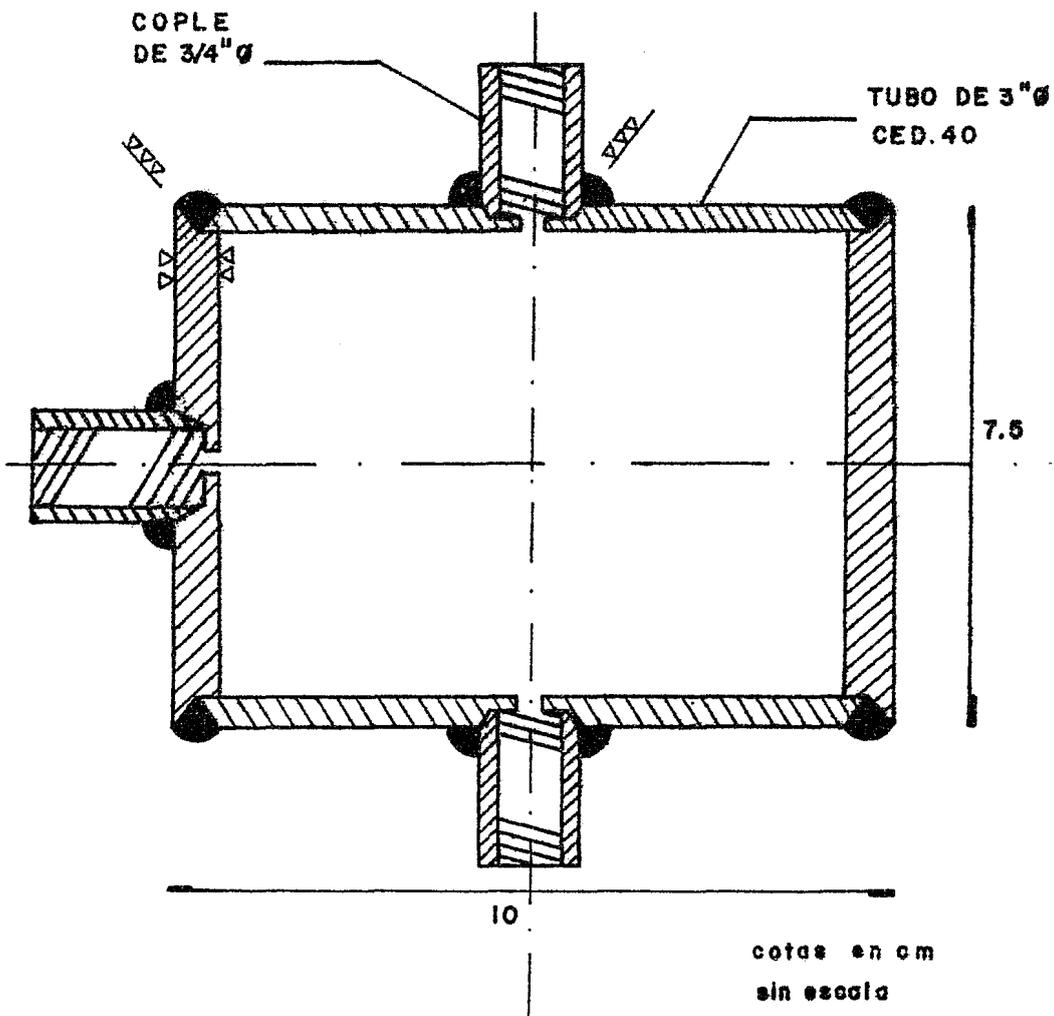
De acuerdo a la gráfica 8.6 para 90psig y 327°F se debería de utilizar solamente tubo de cobre, pero debido a que es más sencillo utilizar tubo de acero por su rigidez y su facilidad en su manejo que para el cobre en baja presión se utilizó tubo de acero.

Inicialmente se instaló la tubería de conexión con material de cobre pero surgieron graves problemas de fugas por lo que se optó por cambiar el arreglo por tubería de acero de 6mm(1/4") de diámetro. Entre el elemento primario y el secundario se colocaron tanques de reserva o de amortiguamiento llenos de líquido de transferencia de presión (agua), los cuáles son recomendados cuando el fluido de proceso es vapor o líquidos con temperaturas superiores a los 120°C para mantener las tuberías de conexión llenas de líquido de transferencia además de aislar térmicamente al elemento secundario (manómetro diferencial) y de servir como elemento de amortiguamiento al choque inicial de presión evitando con todo esto perder el líquido de medición. La fabricación de los tanques de reserva se efectuó de acuerdo al dibujo de la página 101.

En la conexión con el elemento secundario se han incluido purgas de aire para expulsar a este y asegurar la continuidad del fluido transmisor.

8.2.2.2 MEDICION DE PRESION DIFERENCIAL (MANOMETROS DIFERENCIALES TIPO "U").

Para la medición de la presión diferencial se utilizaron manómetros tipo "U" los cuáles fueron seleccionados de acuerdo a la matriz de selección que a continuación se presenta. - - - - -



TANQUE DE RESERVA O
 RESERVORIO PARA EL LIQUIDO
 DE TRANSMISION DE PRESION

CARACTERISTICA % PREFERENCIA TIPO DE MEDIDOR DIFERENCIAL	BAJO COSTO 30%	FACIL DE FABRICAR 15%	ENTREGA RAPIDA 15 %	MATERIAL COMERCIAL NACIONAL 10%	P, T DE TRABAJO 30 %	TOTAL %
1.-MEDIDOR ELECTRONICO	0	15	7	0	30	52
2.- MEDIDOR DE DIAFRAGMA.	1	15	15	10	30	71
3.- MEDIDOR TIPO "U" COMERCIAL	15	15	15	10	0	55
4.- MEDIDOR TIPO "U" HECHIZO	30	5	6	10	30	81

MATRIZ DE SELECCION DEL MEDIDOR DIFERENCIAL.

Las ramas del manómetro diferencial tipo "U" fueron construidas de vidrio aunque también fueron probadas de material plástico - pero desechado éste último ya que sufre degradación por ataque químico por parte del bromobenceno-iodo que fué utilizado como líquido de medición.

Durante las pruebas efectuadas al manómetro hechizo, se tuvieron fugas por sello y de conexión en baja presión, probándose varias soluciones a éstos problemas:

materiales más resistentes, pegamentos de sello para alta temperatura y presión, sellos de elastómeros(neopreno, etc) conexiones de bajo sello así como distintas formas de acoplar el tubo de cobre con el tubo de vidrio. El arreglo -- final del manómetro diferencial "U" se muestra en el diagrama unifilar de la fig 8.7

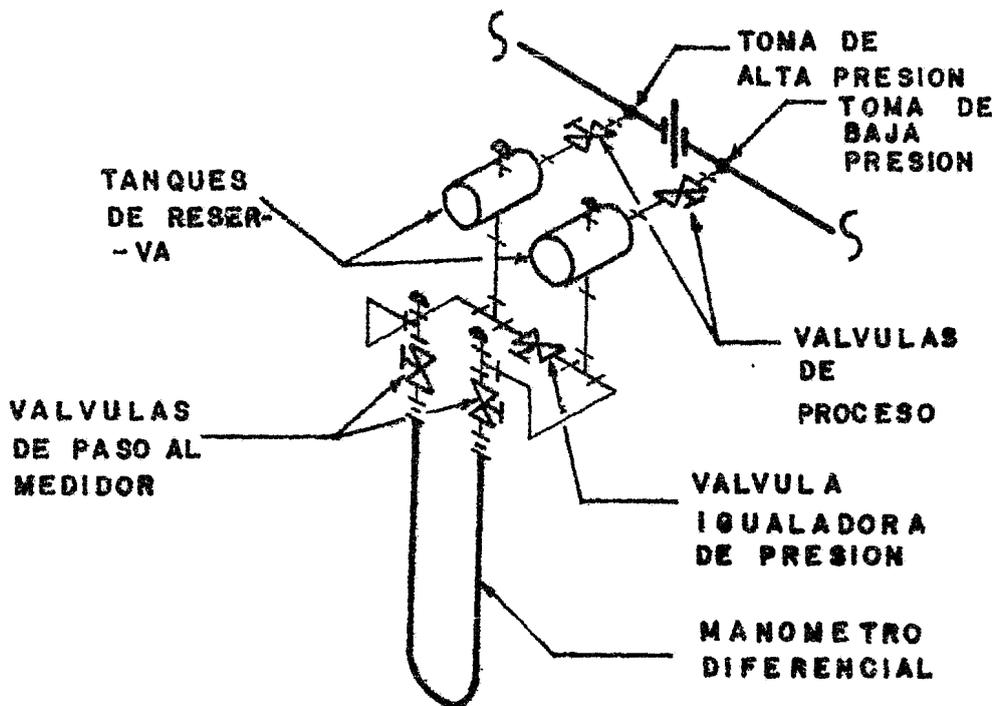
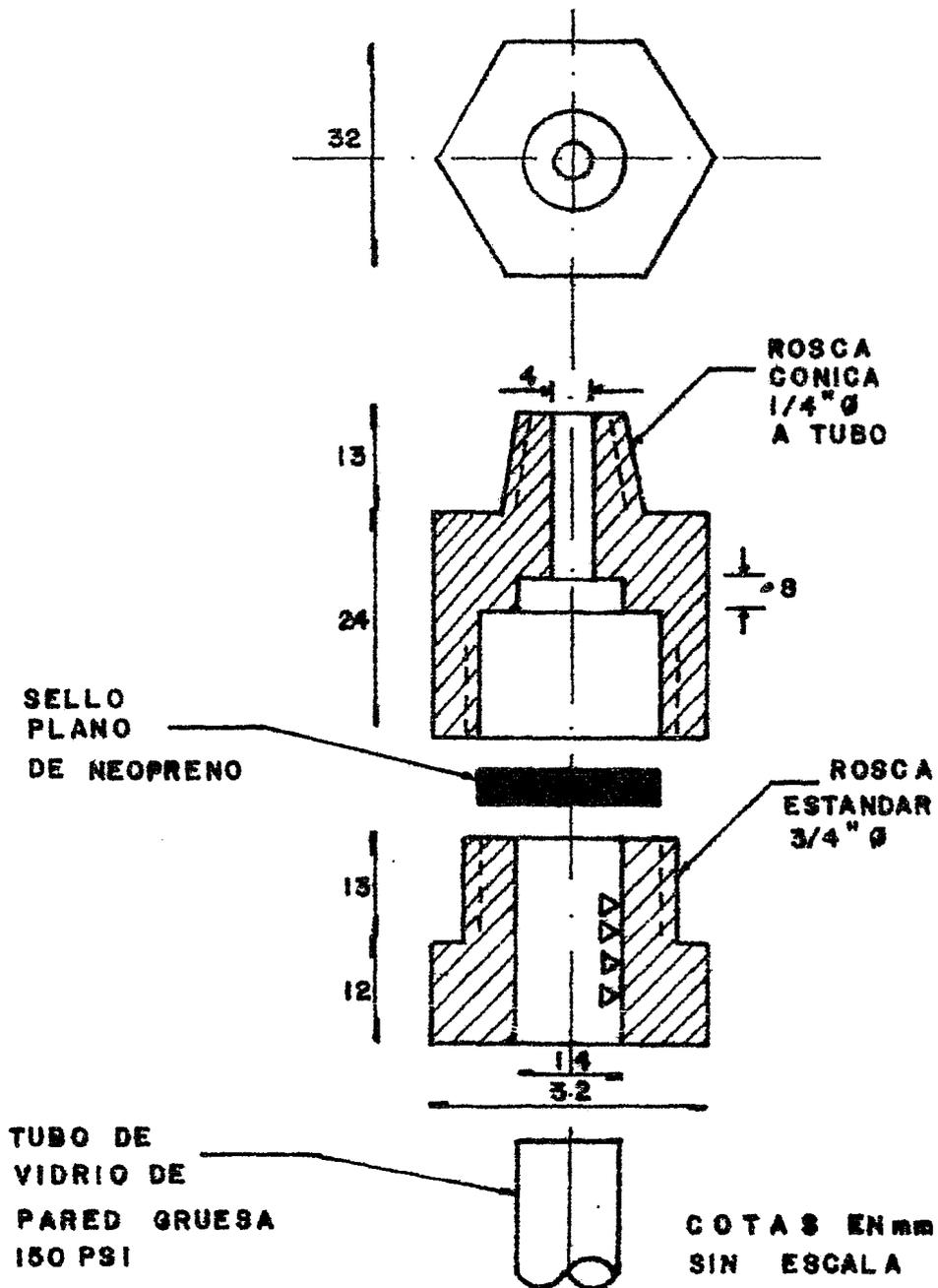


FIG 8.7 DIAGRAMA UNIFILAR DEL ARREGLO DEL MANOMETRO DIFERENCIAL.

El dibujo de una pieza de unión entre la rama de vidrio del manómetro y la tubería de conexión de acero se muestra en la página 104.

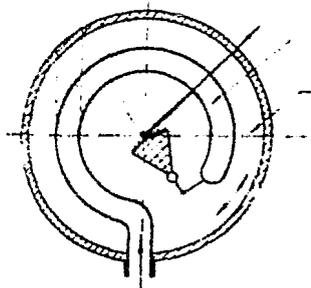
Como se dijo anteriormente el líquido de medición que se utilizó fué bromobenceno ya que tiene una densidad mayor que la del agua y mucho menor que la del mercurio además de ser insoluble con el agua. Como el bromobenceno es un líquido prácticamente incoloro se le agregó unos cuantos cristales de Iodo adquiriendo una tonalidad rojiza. El líquido de transferencia utilizado fué el agua.



PIEZA DE UNION PARA ACOPLA-
-MIENTO ENTRE LA TUBERIA Y
EL MANOMETRO DE VIDRIO.

8.2.2.3 MEDICION DE PRESION ESTATICA (MANOMETROS TIPO BOURDON).

El tubo elástico de Bourdon se deforma con la presión en su interior, moviendo una aguja exterior.



P - Presión a medir.

P_b - Presión atmosférica.

FIG 8.8 MANOMETRO DE BOURDON PARA PRESIONES RELATIVAS.

En este tipo de manómetro la deformación del tubo elíptico es función de la presión relativa, porque la presión a medir actúa en el interior del tubo y la presión atmosférica en el exterior. Los manómetros fueron calibrados en un calibrador de peso muerto donde se compara la fuerza de una pesa en Kg. que se apoya en 1 cm^2 de superficie contra la lectura en la carátula del manómetro. Con esto se observa si la medición tiene error y en su caso se corrige.

Estos manómetros tienen una resolución de 0.1 Kg/cm^2 y un error máximo de 0.05 Kg/cm^2 .

8.2.2.4 MEDICION DE TEMPERATURA.

La medición de temperatura se hizo con cable termopar conectado a un termómetro digital y a un selector de canales.

El termopar fué seleccionado de acuerdo a la tabla de la pág 106.

El termopar utilizado fué del tipo T calibre 24AWG teniendo las siguientes características:

Material: Cobre- Constantan.

Rango de temperatura: -180.0°C a 370.0°C

Sensors | Thermocouple Selection Data

Selection of Elements

The thermocouple combinations most commonly used bear Instrument Society of America (ISA) letter designations.

The base-metal thermocouples are:

- Type J Iron-Constantan
- Type K Nickel, Chromium-Nickel, Aluminum
- Type T Copper-Constantan
- Type E Nickel, Chromium-Constantan

The noble-metal thermocouples are:

- Type S Platinum, 10% Rhodium-Platinum
- Type R Platinum, 13% Rhodium-Platinum
- Type B Platinum, 30% Rhodium-Platinum, 6% Rhodium

The following tables provide a description of the characteristics of these thermocouples and a few precautions to be observed in their use

COMPARISON OF THERMOCOUPLE TYPES

Type	Usable Temperature Range	Advantages	Restrictions
Type J Iron-Constantan	-300 F to 1800 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Comparatively inexpensive. 2. Suitable for continuous service to 1600 F in neutral or reducing atmospheres. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Maximum upper limit in oxidizing atmosphere is 1400 F, due to the oxidation of the iron. 2. Protection tubes should be used above 900 F. 3. Protection tubes should always be used in a contaminating medium.
Type K Nickel, Chromium-Nickel, Aluminum	0 F to 2500 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suitable for oxidizing atmospheres. 2. In higher temperature ranges, provides a more mechanically and thermally rugged unit than platinum, rhodium-platinum, and longer life than iron-constantan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Especially vulnerable to reducing atmospheres, requiring substantial protection when used.
Type T Copper-Constantan	500 F to 700 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Resists atmospheric corrosion. 2. Applicable in reducing or oxidizing atmospheres below 600 F. 3. Its stability makes it useful at sub-zero temperatures. 4. Has high conformity to published calibration data. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Copper oxidizes above 600 F.
Type E Nickel, Chromium-Constantan	-300 F to 1800 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Has high thermoelectric power. 2. Both elements are highly corrosion-resistant, permitting use in oxidizing atmospheres. 3. Does not degrade at sub-zero temperatures. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Stability is unsatisfactory in reducing atmospheres.
Type S Platinum, 10% Rhodium-Platinum	0 F to 2700 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Usable in oxidizing atmospheres. 2. Provides a higher usable range than Type K. 3. Frequently more practical than non-contact pyrometers. 4. Has high conformity to published calibration data. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Easily contaminated in other than oxidizing atmospheres.
Type R Platinum, 13% Rhodium-Platinum			
Type B Platinum, 30% Rhodium-Platinum, 6% Rhodium	1600 F to 3100 F	<ol style="list-style-type: none"> 1. Better stability than Type S or R. 2. Increased mechanical strength. 3. Usable to higher temperatures than Type S or R. 4. Reference junction compensation is not required if junction temperature does not exceed 150 F. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Available in standard grade only. 2. High temperature limit requires the use of alumina insulators and protection tubes. 3. Easily contaminated in other than oxidizing atmospheres.

TEMPERATURE LIMITS IN OXIDIZING ATMOSPHERES*

Thermocouple			AWG					
Type	Material	Condition	8	14	16	20	24	30
Type J	Iron-Constantan	Bare Protected	1100 F 1400 F	900 F 1200 F	800 F 1100 F	600 F 900 F	500 F 800 F	400 F 700 F
Type K	Nickel, Chromium-Nickel, Aluminum	Bare Protected	2000 F 2300 F	1750 F 2000 F	1700 F 2000 F	1600 F 1900 F	1450 F 1600 F	1300 F 1500 F
Type T	Copper-Constantan	Bare Protected	600 F 700 F	600 F 700 F	550 F 600 F	450 F 500 F	400 F 450 F	350 F 400 F
Type E	Nickel, Chromium-Constantan	Bare Protected	1400 F 1800 F	1100 F 1200 F	1100 F 1200 F	900 F 1000 F	700 F 800 F	500 F 600 F
Type S and R	Platinum, Rhodium-Platinum	Protected	—	—	—	1900 F	2100 F	2300 F
Type B	Platinum, 30% Rhodium-Platinum, 6% Rhodium	Protected	—	—	—	—	—	—

Ventajas: Resistencia a la corrosión atmosférica.

Desventajas: El cobre se oxida a 316°C

Límite de error: de -60°C a 93°C es $\pm 1^\circ\text{C}$

de 93°C a 370°C es $\pm 0.75\%$ de la lectura leída.

Polarización: Cobre(azul) positivo(+ ó H)

Constantan(rojo) negativo(- ó L)

El diagrama de la fig8.9 muestra la forma de conexión de --
termopares.

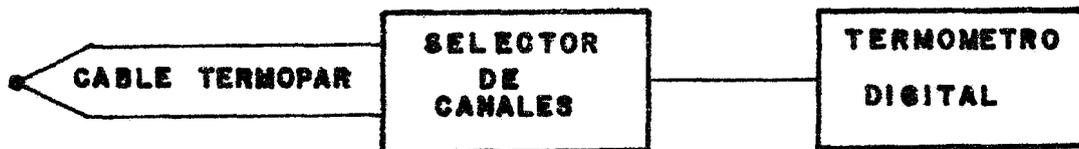


FIG 8.9 CONEXION DE TERMOPAR

Las características del Termómetro Digital están dadas en la -
tabla 8.10

Thermocouple Type		Temperature Range	Resolution	Accuracy at 23 ± 3°C. Not including reference junction compensation error)		
***JIS (Type 2572-00)	**ANSI (Type 2572-10)			Applicable Temperature Range	30-Day Calibration Cycle	90 Day Calibration Cycle
PR	R Platinum 13% Rhodium/ Platinum	0 to 1770°C (JIS) 0 to 1760°C (ANSI)	0.1°C	0 to 100°C 600 to 1770°C (JIS) 600 to 1760°C (ANSI)	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.5^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.5^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$
CA	K Nickel Chromium/ Nickel Aluminum	-200 to 1370°C	0.1°C	-200 to -100°C -100 to 100°C 100 to 1370°C	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 1^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 1^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$
IC	J Iron/ Constantan	-200 to 900°C (JIS) -200 to 980°C (ANSI)	0.1°C	-200 to -130°C -130 to 0°C 0 to 900°C (JIS) 0 to 980°C (ANSI)	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.8^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.8^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$
CC	T Copper/ Constantan	-250 to 400°C	0.1°C	-250 to -200°C (ANSI) -200 to 0°C 0 to 400°C	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 1^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.4^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 1^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.4^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$
CR	E Nickel Chromium/ Constantan	-200 to 980°C	0.1°C	-200 to -150°C -150 to -20°C -20 to 980°C	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.6^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.6^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.3^\circ\text{C})$ $\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 0.2^\circ\text{C})$
*KP vs AF7F2	Chromel/Gold 0.07 at %	4 to 280K	0.1K	4 to 280K	$\pm(0.03\% \text{ of rdg} + 0.2\text{K})$	$\pm(0.05\% \text{ of rdg} + 200)$

TABLA 8.10 RANGO, APROXIMACION Y RESOLUCION DEL TERMOMETRO DIGITAL
(TIPO 2572 MARCA YEW).

8.2.2.5 MIRILLAS DE OBSERVACION.

Se colocaron cuatro mirillas para la observación directa del tipo de flujo en dos fases. Las mirillas fueron colocadas por pares en las paredes del tubo de prueba en posiciones opuestas para permitir el paso de luz. Un par de mirillas se colocaron a -lm de distancia y en posición vertical antes del orificio para no perturbar al flujo en la entrada del orificio de prueba, ni afectar la medición en la toma de presión de alta del manómetro diferencial; el otro par de mirillas fué colocado a 60cm y en posición horizontal después del orificio para no afectar la medición en la toma de baja presión del manómetro diferencial. La observación del flujo fué más clara con la utilización de las -mirillas en posición horizontal y fué posible ver patrones de flujo como: Anular-Disperso, Anular, Ondulado y Pulsante.(Ver inciso 8.2.5 Memoria Fotográfica).

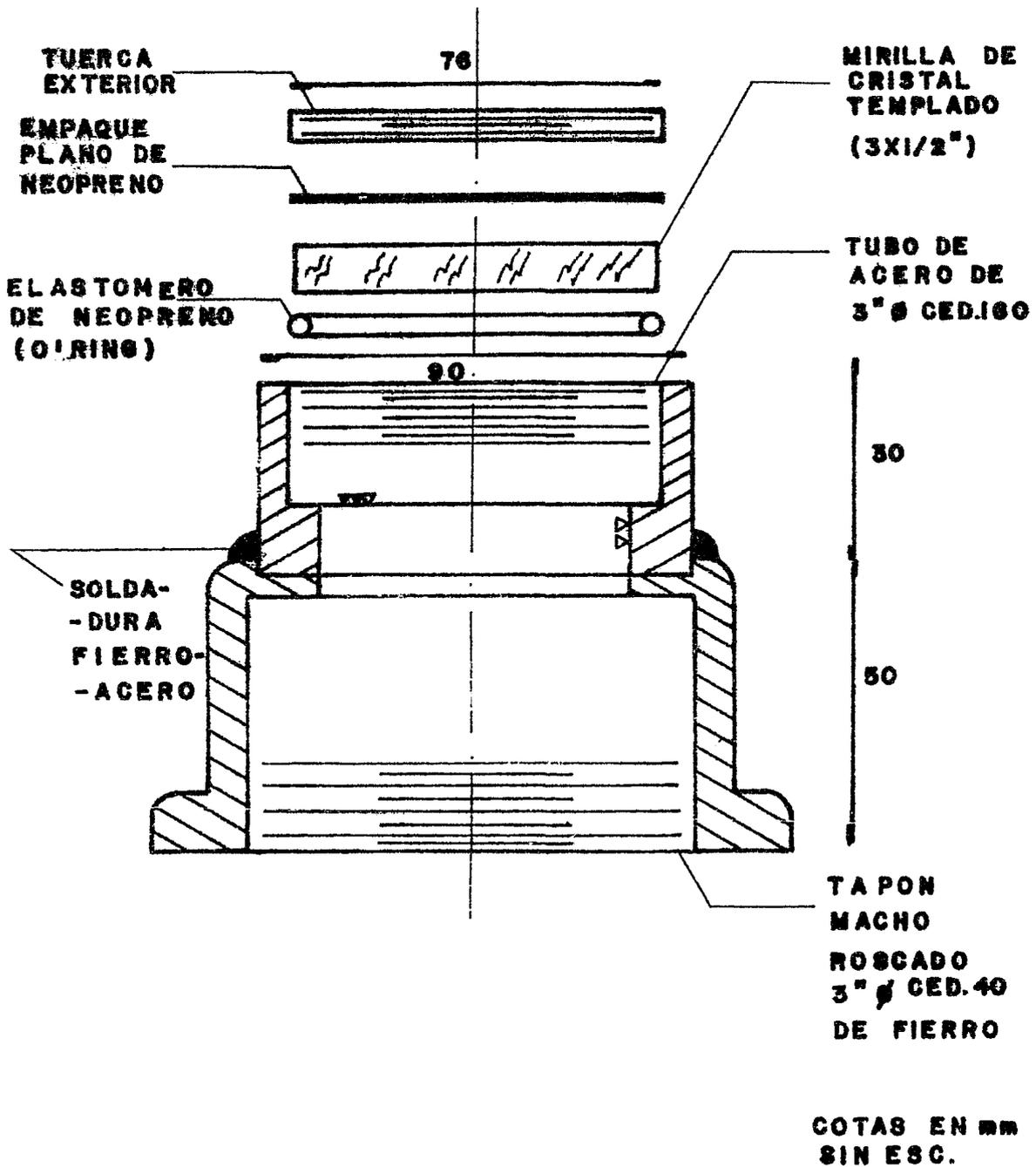
La fabricación de las mirillas se hizo de acuerdo al dibujo de la página 109.

8.2.3 OPERACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL.

Antes de iniciar con la toma de datos experimentales, se hicieron las siguientes operaciones, para comprobar el buen funcionamiento de la instalación y la confiabilidad de las mediciones y así detectar y corregir los errores.

8.2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA ESTABLECER EL CERO DEL MANOMETRO DIFERENCIAL ESTATICAMENTE (SIN PROCESO).

Dado que la medición manométrica se efectúa bajo agua, el líquido de medición se desplaza algunas veces, debido a la columna -estática que existe en los extremos del manómetro. Entonces pa-



MIRILLA DE OBSERVACION

-ra lograr igualar las columnas en ambos lados del manómetro diferencial se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Revisar si no existe aire atrapado en los tanques de cada uno de los arreglos de los medidores de presión diferencial, si es así, expulsar al aire por las purgas de los tanques y del manómetro. Reponer el agua perdida y tapar las purgas de aire con su correspondiente tapón macho.(Ver fig 8.7)
- 2.- Establecer el cero del manómetro abriendo únicamente la válvula igualadora teniendo las válvulas de paso del manómetro totalmente abiertas. Ver fig 8.7 y fig 8.11. La columna de líquido de medición se deberá igualar, quedando ambos lados del manómetro a la misma altura.
- 3.- Si el medidor no vuelve a cero seguramente ha atrapado aire, entonces volver a purgar.

8.2.3.2 PROCEDIMIENTO PARA ESTABLECER EL CERO DEL MANOMETRO CON EL CERO DEL PROCESO.

A) VAPOR(Manómetros para la medición de flujo de vapor y flujo en dos fases).

- 1.- Seguir las instrucciones para el precalentamiento de la tubería, inciso 8.2.3.4.
- 2.- Abrir totalmente las válvulas (VAP 2) y (VAP 3) cerrar la válvula (DF) . Cerciorarse de que todas las válvulas de los manómetros estén cerradas, así como las válvulas de la tubería de agua.
- 3.- Mantener una presión de 100psi en la tubería.

NOTA: Para la identificación y localización de las válvulas y accesorios, ver el diagrama de flujo para operación pág 125.

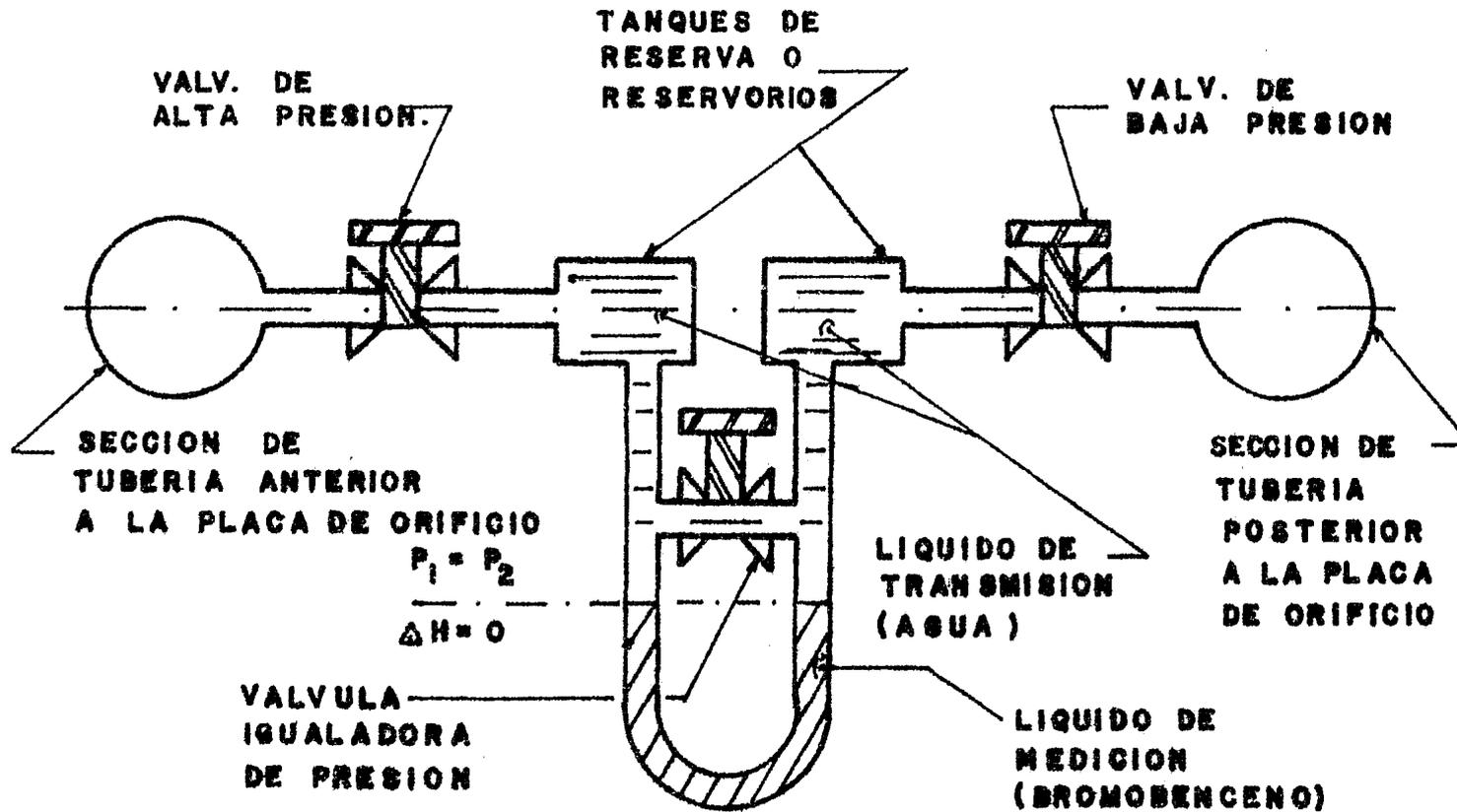


FIG 8. II ESTABLECIMIENTO ESTATICO DEL MANOMETRO DIFERENCIAL

- 4.- Abrir las válvulas de alta presión del medidor diferencial (valv. de proceso y de paso, ver fig 8.7. Teniendo cerrada la válvula igualadora abrir las válvulas de baja presión. El manómetro diferencial deberá marcar cero. Si no abrir la -- válvula igualadora y esperar a que el manómetro marque el - cero para después cerrarla. Abrase las válvulas lentamente para estabilizar gradualmente la temperatura del líquido de transmisión (tanques de reserva) con la del vapor (tubería - de proceso).
- 5.- Si el manómetro diferencial no regresa a cero. Seguramente hay aire en los tubos de conexión del arreglo del manómetro; entonces purgar el aire como en el inciso 8.2.3.1.
- 6.- Al finalizar cerrar todas las válvulas de los manómetros di ferenciales para no perder agua en los tanques de reserva, no permitir la entrada de aire al arreglo del medidor y no perder al líquido de medición al descender la presión.

B) AGUA (Manómetro para medición de flujo de agua).

- 1.- Sin vapor en la tubería de prueba y con los tubos fríos (por precaución de no causar esfuerzos térmicos en la tubería). Cerrar la válvula de paso de agua a la tubería de prueba - (AGUA 2) y abrir la válvula (AGUA 1) y conectar el interrup tor 3 del tablero del laboratorio para energizar la línea - de conexión a la bomba de agua (BBA).

Comprobar el cebado de la bomba de agua abriendo momentánea----

PRECAUCION: No intentar purgar el aire de los manómetros con va por a presión en la línea de proceso. Puede causar quemaduras.

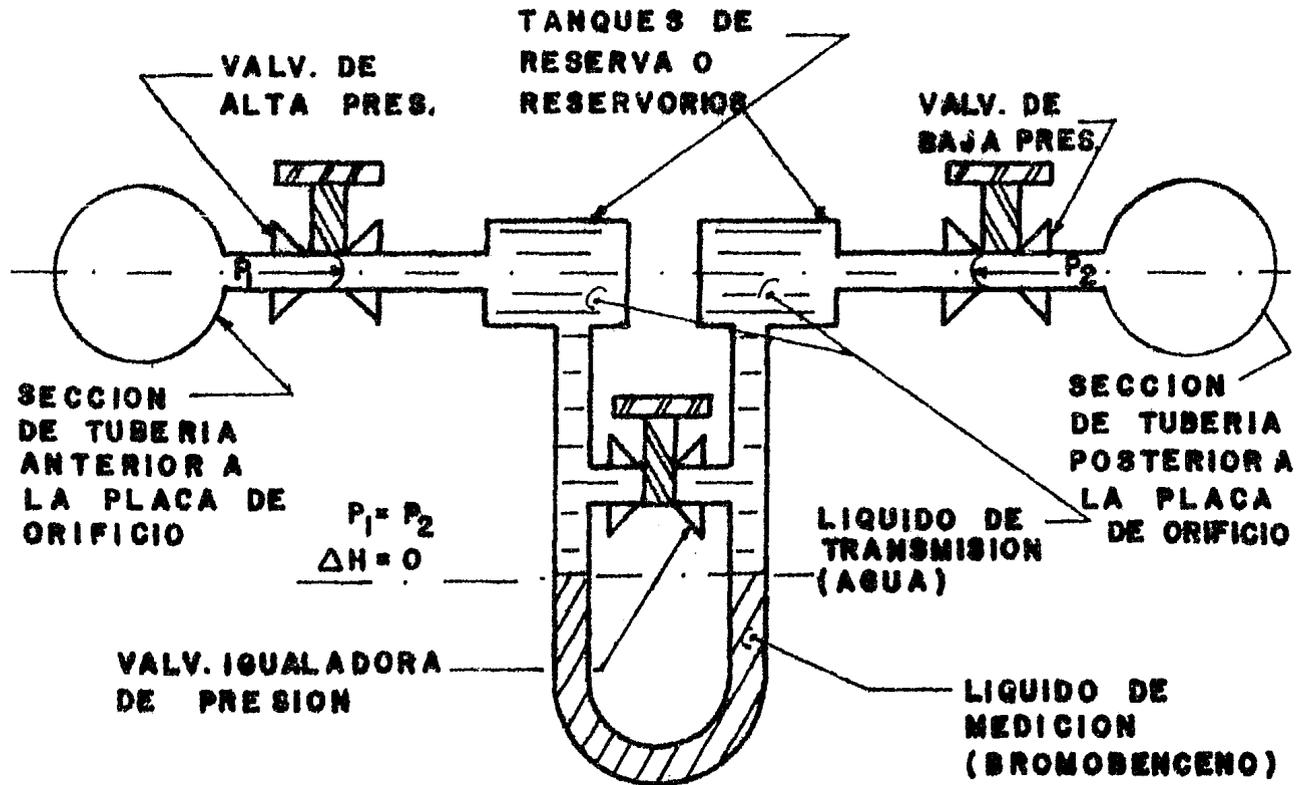


FIG 8.12 ESTABLECIMIENTO DEL CERO DEL PROCESO CON EL CERO DEL MANOMETRO DIFERENCIAL.

-mente la válvula(AGUA 2) y (DREN 3). Esperar a que salga el --
agua para después cerrar(AGUA 2).

2.- Abrir las válvulas de alta presión y las dos de baja pre--
sión del manómetro diferencial(Ver fig 8.7). Previamente -
haber establecido el cero estático como en el inciso 8.2.3.1

3.- Encender por muy breve tiempo(1 min) la bomba(BBA) con su -
interruptor en la base de la misma. Comprobar si la columna
diferencial del manómetro vuelve a cero después de la pri-
mera perturbación por encendido(transitorio). Apagar inme-
diatamente la bomba de agua, para evitar excesivo calenta-
miento en el motor eléctrico de ésta.

4.- Al finalizar cerrar todas las válvulas del manómetro dife--
rencial.

8.2.3.3 FUNCIONAMIENTO DEL ARREGLO DE MEDICION DEL MANOMETRO DIFERENCIAL.

A continuación se explica el funcionamiento del manómetro dife-
rencial:

1.- Los tanques de reserva o reservorios tienen como mínimo el
volumen de líquido de transmisión (agua) equivalente al vo-
lumen máximo desplazado de líquido de medición (bromobence-
-no) en el manómetro diferencial.

2.- Los tanques de reserva siempre están llenos de agua en todo
momento y están a la misma altura con respecto al suelo.

3.- Cuando se establece el cero estático del medidor no hay pro-
ceso en la tubería principal y todas las válvulas de proce-
so de conexión a la tubería principal están cerradas y ---
abriéndose las válvulas de paso al medidor y la válvula --

igualadora, el medidor se balancea estáticamente como en la --
figura 8.11.

En esta figura se puede apreciar que si la altura de los tan--
ques de reserva es la misma y están llenos de agua, entonces la
presión en ambas ramas del manómetro diferencial será la misma
 $P_1 = P_2$ y si la válvula igualadora está abierta comunica la misma
presión en sus extremos. Las secciones anterior y posterior a --
la placa de orificio se encuentran en el mismo eje de tubería, pe--
ro se han dibujado en desarrollo para una mejor apreciación para
la explicación.

4.- Cuando se establece el cero del manómetro con el cero del
proceso, las válvulas de alta y de baja están abiertas, --
estando la válvula igualadora cerrada, la presión en ambas
ramas es la misma así el manómetro mantiene el cero diferen-
cial. (Ver fig 8.12)

Si la válvula igualadora se abre o permanece cerrada el lí-
quido de medición no debe moverse porque la presión $P_1 = P_2$.

5.- Cuando se va a efectuar la medición y existe proceso en la
tubería principal, se abre la válvula de alta, después la --
de baja. El agua que es expulsada por la válvula de baja --
presión debido al desplazamiento del líquido de medición por
la diferencia de presión, será después recuperada por el me-
didor al condensarse en el tanque el vapor que entra por --
la válvula de baja presión al tener una diferencial de pre-
sión menor que la anterior. (Ver ésta secuencia en la fig
8.13).

6.- Los tanques están llenos de agua y parte con vapor en pe---
queñas cantidades, cuando el medidor está en uso.

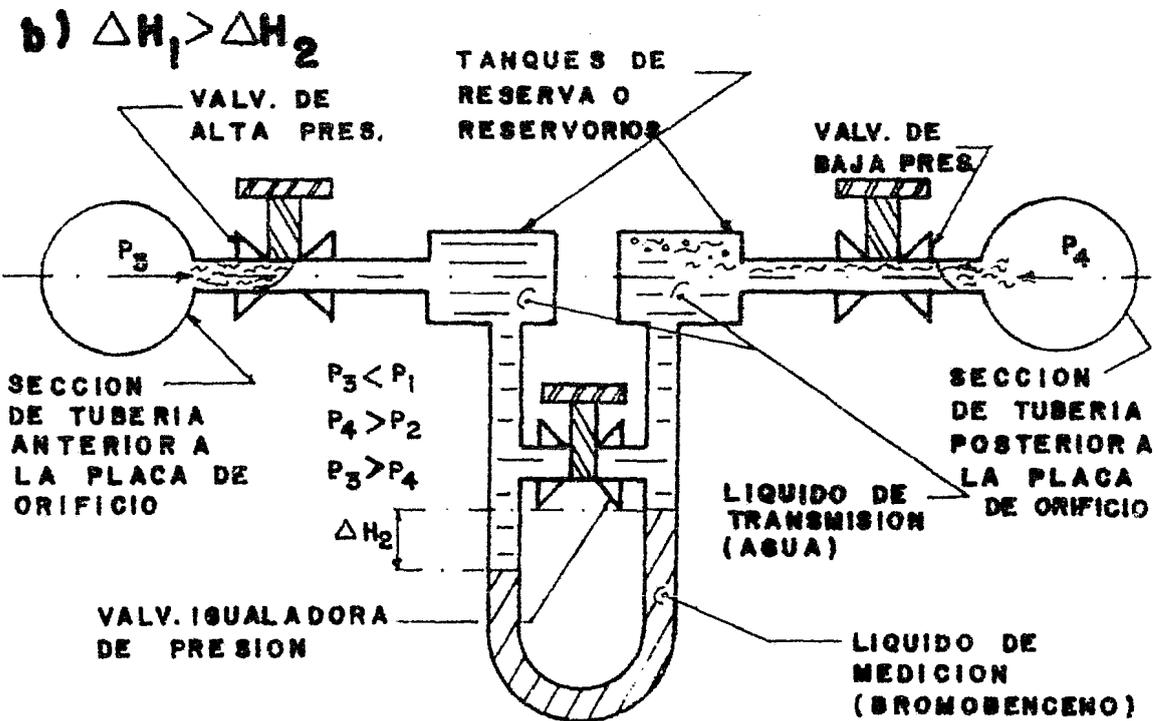
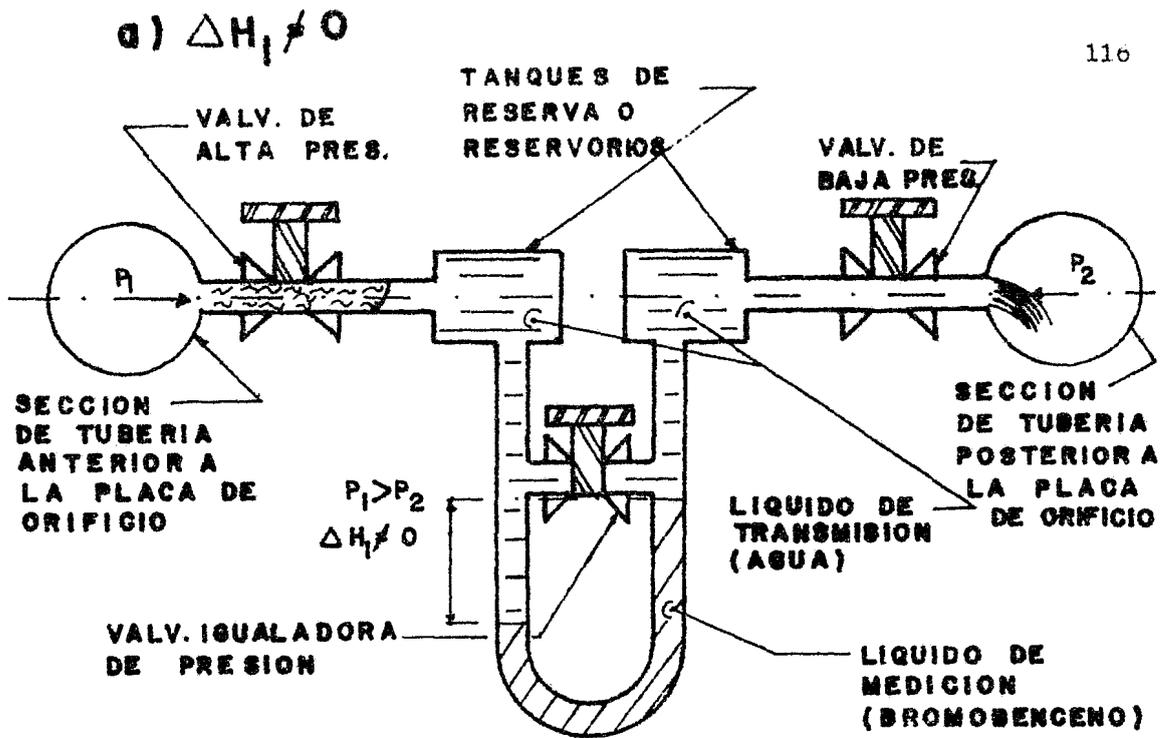


FIG 8.13 SECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DEL MANOMETRO DIFERENCIAL

8.2.3.4 CALENTAMIENTO DE LA TUBERIA ANTES DE HACER PASAR VAPOR.

Para no causar esfuerzos o choques térmicos al hacer pasar vapor por la tubería, esta debe ser calentada previamente para evitar daños a la misma. Para ello se sugiere seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Conectar el Termómetro Digital y cerrar todas las válvulas
- 2.- Comprobar los niveles de agua del domo del Generador de Vapor y del tanque de agua tratada de suministro.
- 3.- Abrir la válvula de purga que se encuentra en la parte superior de la caldera.
- 4.- Conectar los tres contactos del Generador de Vapor (General Bomba de Alimentación y Bomba de Combustible).
- 5.- Encender el Generador de Vapor con los dos primeros interruptores de control del tablero(Bomba de Combustible y Quemador).

A continuación se encenderá el quemador del Generador, después de aproximadamente 20 min comenzará a salir vapor por la válvula de purga localizada en la parte superior del Generador.

- 6.- Cuando se observe que el vapor de la purga sale seco, cerrar la válvula.

Después de aproximadamente 10 min la caldera subirá a su presión de trabajo (100 psi) y se apagará el quemador automáticamente.

- 7.- Abrir lentamente la válvula(VAP 1) suspendiéndose al escuchar pasar el vapor al cabezal. Drenar el cabezal de vapor, sacando el condensado por la válvula (DREN 1) y mantenerlo así durante 10min.

8.- Cerrar la válvula(DREN 1) y abrir lentamente la válvula - (VAP 1) hasta que el cabezal de vapor alcance una presión de 100psi. La trampa de vapor del cabezal eliminará al condensado acumulado en éste. Cerciorarse que la válvula de salida de la trampa de vapor se encuentre totalmente abierta. Abrir totalmente la válvula (VAP 1) menos 1/4 de vuelta para que la válvula no se atore al momento de querer cerrarla.

9.- Abrir totalmente las válvulas (VAP 3) y (DF). Abrir la válvula (VAP 2) lentamente hasta escuchar el paso del vapor. Abrir (DREN 2), calentar la tubería incrementando el flujo de vapor a intervalos de 15°C cada 10min por medio de abrir lentamente (VAP 2) y cerrar proporcionalmente (DF). Observar la temperatura en el canal T6 del Termómetro Digital.

8.2.3.5 CALIBRACION DE LA PLACA DE CRIFICIO DE AGUA.

El medidor diferencial de agua se calibró con respecto al gasto real medido en un recipiente aforado y un cronómetro para tomar el tiempo de llenado. A continuación se obtuvo un factor para obtener el gasto real. En la tabla 8.14 se muestran los datos obtenidos de la calibración para el orificio de agua.

NOTA: En caso de que se escuche la alarma sonora del Generador ó suceda algún accidente con el manejo del vapor desconectar los interruptores de control del tablero del Generador.

No. DE DATO	PESO-TARA (Kg)	t (seg)	ΔH_L (cm _{Br})	w _{CALC.}	w _{REAL}	FACTOR
1	40.0	283.0	1.9	0.1090	0.1413	1.30
2	40.2	104.0	20.5	0.2983	0.3865	1.30
3	39.2	103.0	20.7	0.2880	0.3806	1.32
4	38.9	154.0	9.5	0.1925	0.2526	1.31
5	38.8	221.0	4.6	0.1371	0.1766	1.29
6	38.4	128.0	12.5	0.2351	0.3000	1.28
7	38.7	127.0	14.2	0.2397	0.3047	1.27
8	39.3	256.0	4.0	0.1187	0.1535	1.29
9	38.6	211.0	5.9	0.1405	0.1829	1.30
10	38.8	179.0	8.0	0.1666	0.2168	1.30
11	39.7	122.0	12.6	0.2572	0.3254	1.27
12	38.4	133.0	14.2	0.2252	0.2887	1.28

TABLA 8.14 DATOS PARA LA CALIBRACION DE LA PLACA DE ORIFICIO DE AGUA.

8.2.3.6 COMPARACION ENTRE LAS LECTURAS DE LAS PLACAS DE ORIFICIO DE VAPOR Y DE DOS FASES.

Los arreglos de los medidores de vapor y de dos fases están -- hechos con respecto a las normas y recomendaciones de la ASME (8). Entonces se comparó la medición efectuada por cada uno -- de los medidores haciendo pasar solamente vapor. En la tabla 8.15 se muestran los datos tomados para esta comparación.

No. DE DATO	ΔH_G (cm _{Br})	ΔH_{DF} (cm _{Br})	w_G (Kg/s)	w_{DF} (Kg/s)	ERROR w (%)
1	2.6	2.9	0.0530	0.0541	2.08
2	8.9	9.2	0.0980	0.1000	2.04
3	16.4	16.7	0.1331	0.1343	0.90
4	26.9	28.0	0.1705	0.1740	2.05
5	21.0	21.6	0.1507	0.1528	1.40
6	17.2	17.7	0.1364	0.1383	1.39
7	7.4	7.8	0.0894	0.0912	2.01

TABLA 8.15 COMPARACION ENTRE LAS LECTURAS DE LAS PLACAS DE ORIFICIO DE VAPOR Y DE DOS FASES.

8.2.3.7 ERRORES ENCONTRADOS EN LOS MEDIDORES DIFERENCIALES Y CORRECCIONES EFECTUADAS.

Cuándo se compararon inicialmente las lecturas de los manómetros diferenciales de vapor y de dos fases el error entre uno y otro medidor era del 50% para el cálculo del flujo, haciendo pasar una sola fase(vapor). Con esto se procedió a encontrar las causas del error en la medición y para ello se siguió la secuencia que a continuación se describe:

- 1.- Se revisó y comprobó que los arreglos cumplieran con las normas y recomendaciones del ASME(S)
 - a) Que las tomas de presión estuviesen colocadas exactamente a 1D y 1/2D.
 - b) Que las placas de orificio estuviesen bien maquinadas y se aseguró que el diámetro del orificio fuese el indicado en la placa.

c) Se revisó que no existiesen obstrucciones o perturbaciones - cercanas a las tomas de presión del orificio en menos de 10 diámetros de tubería.

2.- Se instalaron dos placas de orificio idénticas con $\beta = 0.7$ tanto en el medidor de vapor como en el de dos fases, para tener dos arreglos idénticos y poder encontrar con mayor facilidad los errores.

Después de éstas correcciones el error bajó a 35% aproximadamente, entonces se prosiguió a hacer otras indagaciones:

3.- Se comprobó que las placas de orificio estuvieran centradas con respecto al eje medio de la tubería y se encontró que - estaban descentradas. Entonces se marcaron las placas de -- orificio en su brida respectiva y se centraron.

4.- Se comprobó la altura de los tanques de reserva de vapor y se encontró una ligera diferencia entre éstos. Se desarmó - el arreglo y se corrigió el error.

5.- Se analizó el comportamiento de los medidores diferenciales y la secuencia para manejar las válvulas de los arreglos de conexión de los mismos.(ver inciso 8.2.3.3.)

Después de haberse efectuado éstas correcciones se encontró que el mayor error en la medición entre los arreglos de vapor y de dos fases provenía del centrado incorrecto de las placas de orificio(porque con ello se desvía del centro de la tubería la vena contracta y consecuentemente hace variar la medición de presión en las tomas del medidor). El error de los medidores bajó al 2% aproximadamente con respecto al cálculo del flujo(Ver - tabla 8.15).

8.2.3.8. PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR LA EXPERIMENTACION CON
FLUJO EN DOS FASES.

- 1.- Establecer los ceros estáticos de los manómetros diferenciales(inciso 8.2.3.1)
- 2.- Encender el generador de vapor(GEN) y calentar gradualmente toda la tubería(inciso 8.2.3.4).
- 3.- Establecer los ceros del manómetro con el cero del proceso (inciso 8.2.3.2).
- 4.- Calentar el agua del tanque atmosférico(TQUE) hasta que su temperatura sea de 93°C , regulando con la válvula(DF).
- 5.- Con la bomba de agua cebada(BBA), encender el interruptor de la misma y abrir lentamente la válvula(AGUA 1), abriendo se lentamente la válvula (AGUA 2) 1/4 de vuelta hasta que la presión en el manómetro(P3) indique el equivalente a la presión del vapor leída en (P2). Verificar que existe flujo de agua lo cuál se hace con la válvula de purga(DREN 3).(Si no hay flujo de agua, cerrar las válvulas(AGUA 2),(AGUA 1) y apagar la bomba(BBA) porque puede estar pasando vapor en dirección contraria).

En este momento se tendrá flujo en dos fases que puede ser visto por las mirillas de observación(MI1 y MI2).(Ver inciso 8.2.5 Memoria Fotográfica).

- 6.- Con la válvula igualadora, la válvula de alta presión y la de baja presión del medidor abiertas, abrir la válvula de alta presión de proceso para luego abrir la de baja presión y cerrar finalmente la válvula igualadora del medidor (Ver fig 8.7). En este momento comienza a desplazarse el líquido de medición para indicar la caída de presión diferencial

existente a través de la placa de orificio. Repetir este procedimiento para los tres arreglos (Agua, Vapor y Dos Fases).

7.- Comenzar la experimentación controlando el flujo de vapor - con (VAP 3), el flujo de agua con la válvula (AGUA 2) y el - flujo en dos fases con la válvula (DF).

Hacer variar primero una válvula a la vez con las otras dos en la misma posición. Experimentar con las condiciones deseadas de presión y flujo.

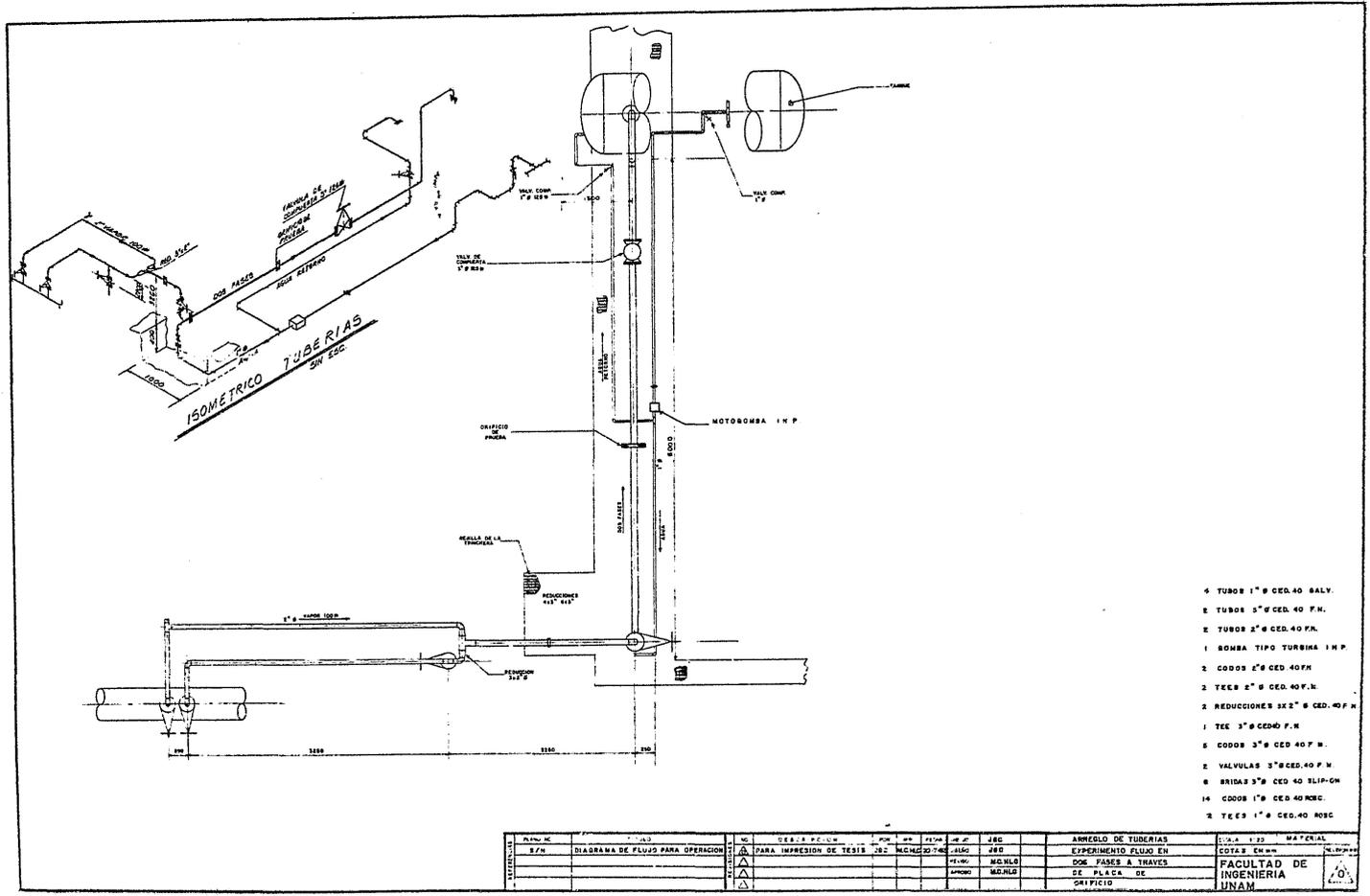
8.- Al finalizar apagar el Generador de Vapor, cerrar las válvulas de los arreglos de los manómetros diferenciales. Cerrar (AGUA 1), (AGUA 2) y apagar la bomba de agua (BBA). Cerrar - (VAP 1) y (VAP 2). Abrir totalmente (DF) y (VAP 3).

3.2.3.9. SEGURIDAD.

Para trabajar con mayor seguridad observar los siguientes puntos importantes:

- 1.- Revisar constantemente los niveles de agua en el Generador de Vapor y en el tanque de suministro. Si hace falta agua - abrir la válvula de paso de agua al tanque de suministro.
- 2.- Si se activa la alarma del Generador de Vapor:
 - a) Revisar si es por falta de suministro de agua.
 - b) Si no se está seguro de detectar el problema apagar los interruptores del tablero del Generador de Vapor(con esto se dejará de producir más vapor, y la presión decrecerá gradualmente).
- 3.- Cuando se apague el Generador de Vapor cierre las válvulas de los manómetros diferenciales para no perder el agua, líquido de medición o permitir la entrada de aire.
- 4.- Abrir lenta y totalmente las válvulas (DF), (VAP 3) y cerrar lentamente (VAP 1) y (VAP 2).

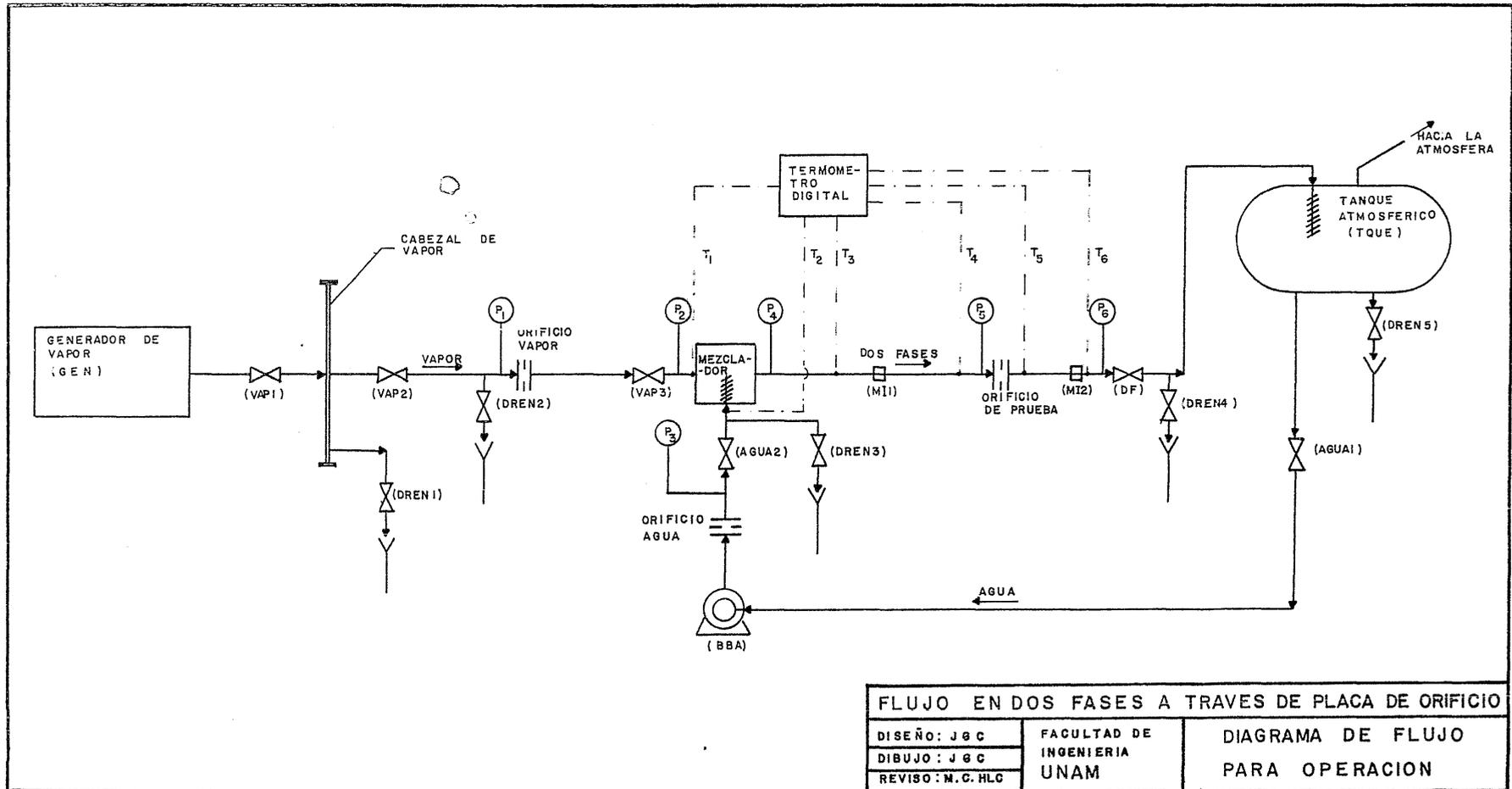
8.2.4 PLANO PARA LA INSTALACION Y
DIAGRAMA DE FLUJO PARA OPERACION.



- 4 TUBOS 1" Ø CED.40 SALV.
- 2 TUBOS 5" Ø CED.40 F.M.
- 2 TUBOS 2" Ø CED.40 F.M.
- 1 BOMBA TIPO TURBINA I.H.P.
- 2 CODOS 2" Ø CED.40 F.M.
- 2 TEEES 2" Ø CED.40 F.M.
- 2 REDUCCIONES 3x2" Ø CED.40 F.M.
- 1 TEE 3" Ø CED.40 F.M.
- 5 CODOS 3" Ø CED.40 F.M.
- 2 VALVULAS 3" Ø CED.40 F.M.
- 8 BRIDAS 3" Ø CED.40 311P-OM
- 14 CODOS 1" Ø CED.40 RSC
- 2 TEEES 1" Ø CED.40 RSC

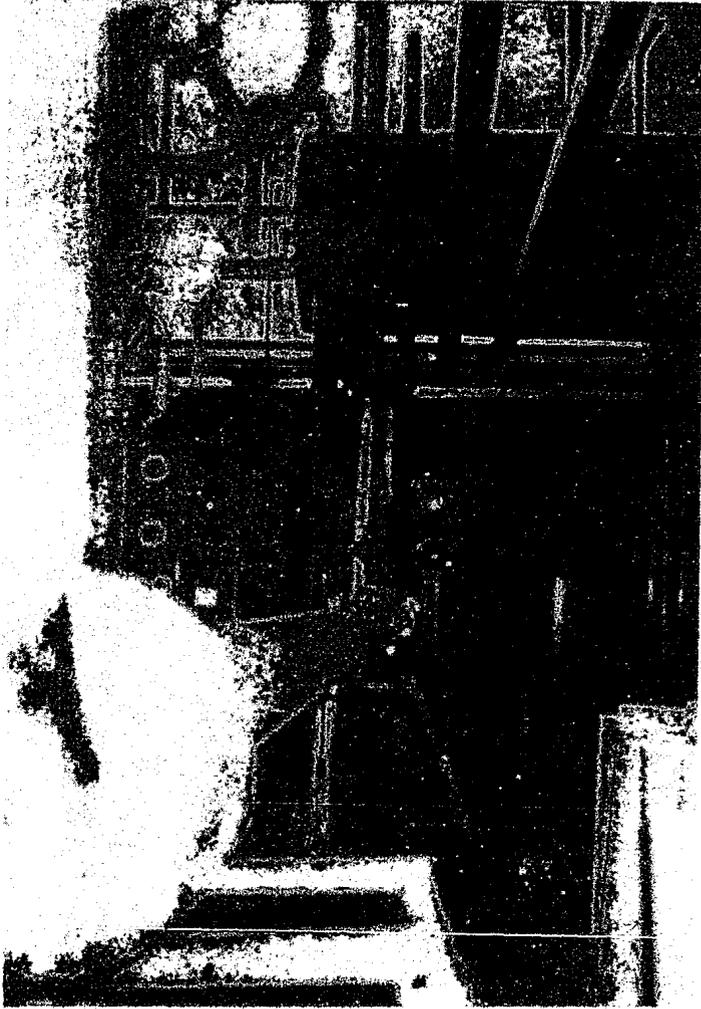
NO.	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	VALOR	TOTAL	UNID.	VALOR	TOTAL
1	DIAGRAMA DE FLUJO PARA OPERACION	1	HOJA	100.00	100.00			
2	PARA IMPRESION DE TESIS	20	HOJA	20.00	400.00			
3								
4								
5								

TITULO: ARREGLO DE TUBERIAS
 COTAS EN M.
 EXPERIMENTO FLUJO EN
 DOS FASES A TRAVES
 DE PLACA DE
 FACULTAD DE INGENIERIA
 UNAM

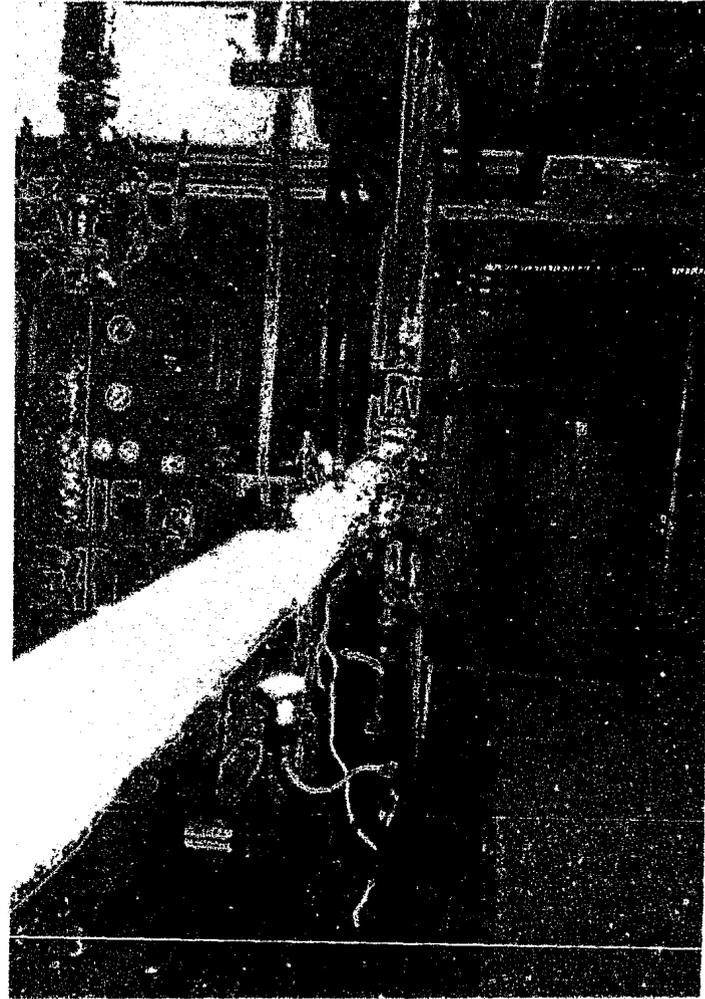


FLUJO EN DOS FASES A TRAVES DE PLACA DE ORIFICIO
 DISEÑO: JGC FACULTAD DE INGENIERIA UNAM
 DIBUJO: JGC
 REVISO: M.C.HLC
DIAGRAMA DE FLUJO PARA OPERACION

8.2.5 MEMORIA FOTOGRAFICA.



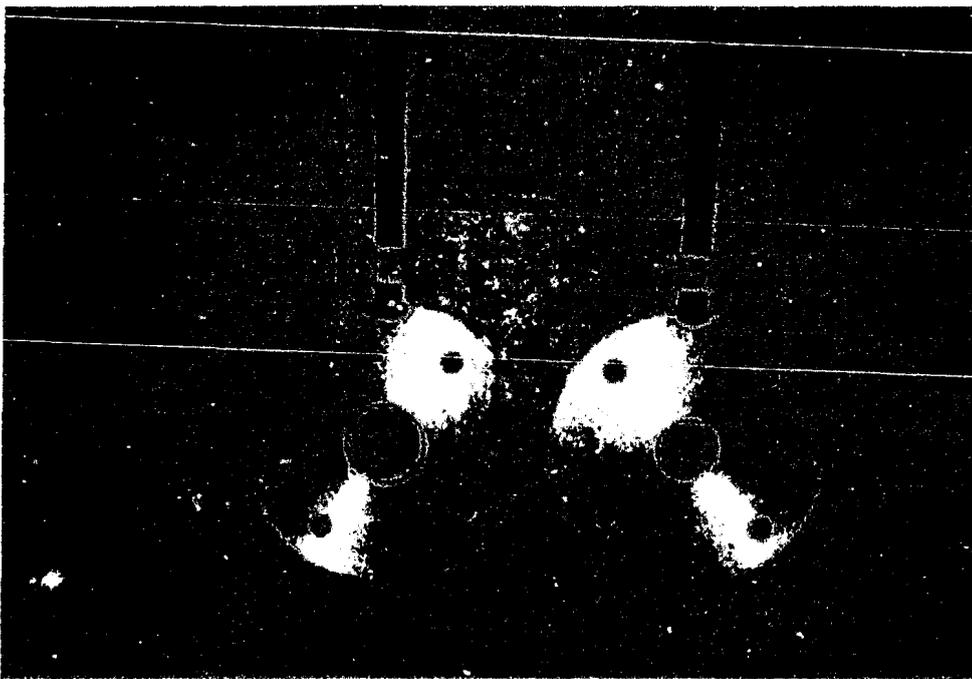
FOTOGRAFIA I
TUBERIA DE PRUEBA DURANTE SU
INSTALACION.



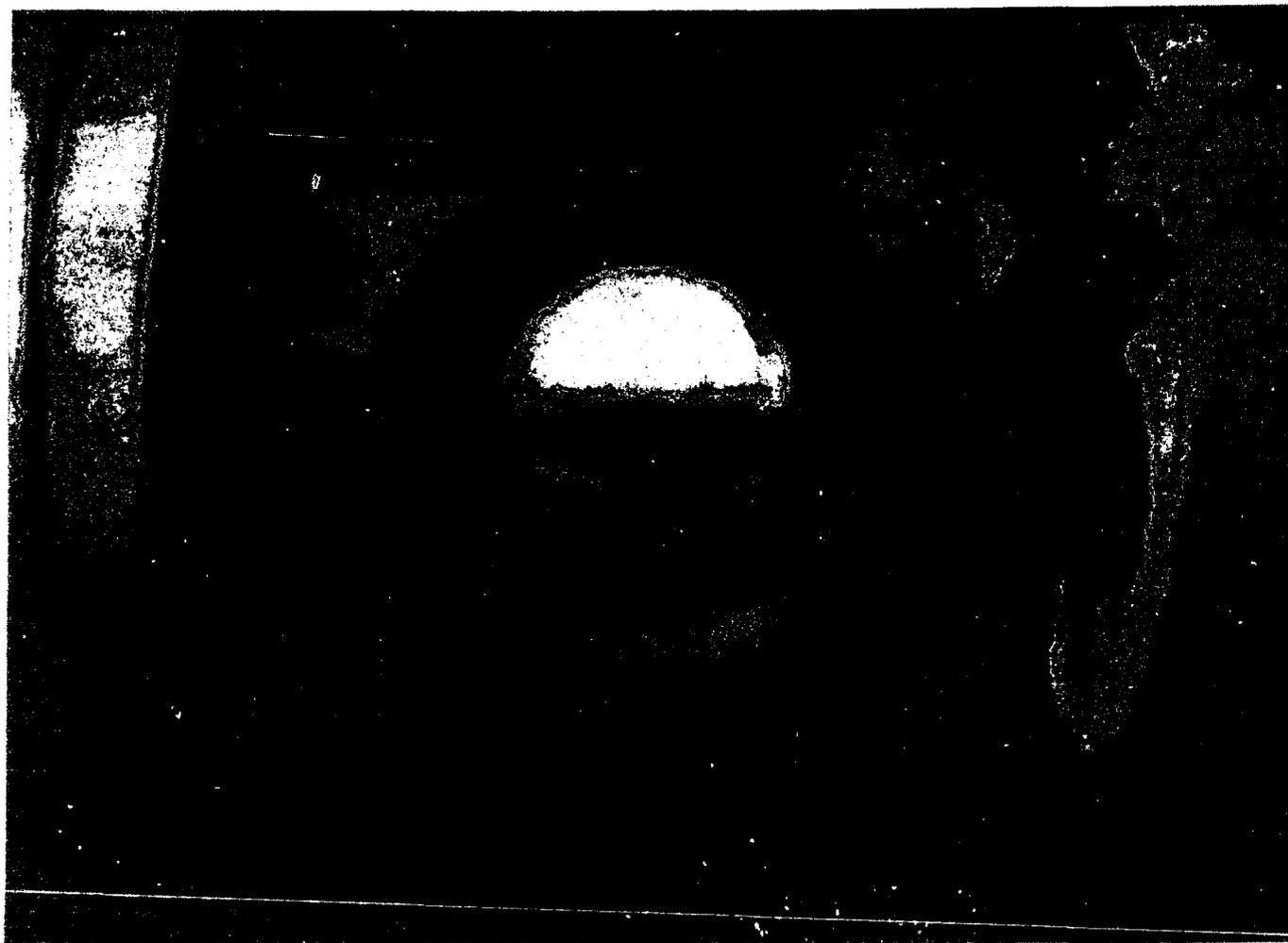
FOTOGRAFIA II
TUBERIA DE PRUEBA INSTALADA.



FOTOGRAFIA III ARREGLO DEL MEDIDOR
DIFERENCIAL PARA FLUJO EN DOS FASES.



FOTOGRAFIA IV PLACAS DE ORIFICIO PARA LA



FOTOGRAFIA V PATRON DE FLUJO ONDULADO OBSERVADO A TRAVES DE LA MIRILLA.
LA FASE LIQUIDA VIAJA POR LA PARTE INFERIOR DE LA TUBERIA
Y LA FASE GASEOSA POR ARRIBA A MAYOR VELOCIDAD PROVOCANDO
ONDULACIONES EN LA FASE LIQUIDA.



FOTOGRAFIA VI PATRON DE FLUJO ANULAR OBSERVADO A TRAVES DE LA MIRILLA.
LA FASE LIQUIDA VIAJA A ALTA VELOCIDAD EN PEQUEÑAS GOTAS
EN FORMA DE ANILLO Y EN PEQUEÑA CANTIDAD POR LA PARTE -
INFERIOR DEL TUBO, SIENDO ARRASTRADA POR LA FASE GASEOSA.

APENDICE

8.3 DATOS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS.

APÉNDICE 3.3 DATOS EXPERIMENTALES Y RESULTADOS.

En las páginas 136 y 137 se muestran los datos de las 37 lecturas efectuadas en las unidades en las que fueron tomadas en el laboratorio durante la experimentación de este trabajo de tesis. La nomenclatura utilizada esta numerada de acuerdo al diagrama de flujo para operación página 125 y es la siguiente:

- ΔH_G - Altura diferencial en el manómetro de vapor.
- ΔH_L - Altura diferencial en el manómetro de agua.
- ΔH_{DF} - Altura diferencial en el manómetro de dos fases.
- P_1 - Presión anterior al orificio de vapor.
- P_2 - Presión del vapor antes del mezclador.
- P_3 - Presión de agua antes del mezclador.
- P_4 - Presión en dos fases después del mezclador.
- P_5 - Presión anterior al orificio de dos fases.
- P_6 - Contrapresión.
- T_1 - Temperatura del vapor anterior al mezclador.
- T_2 - Temperatura del agua anterior al mezclador.
- T_3 - Temperatura de dos fases después del mezclador.
- T_4 - Temperatura de dos fases anterior al orificio de prueba.
- T_5 - Temperatura de dos fases posterior al orificio de prueba.
- T_6 - Temperatura correspondiente a P_6 .

De la pág 138 a la pág 145 se muestran las tablas de resultados - obtenidas por el cálculo de la computadora(ver Apéndice 3.4). La nomenclatura utilizada en éstas tablas se da a continuación:

TABLA GENERAL.

- NEXP Número de experimento o punto de prueba.
- PMV Presión anterior al orificio medidor de vapor.
- PM Presión a la salida del mezclador.

PO Presión anterior al orificio de prueba.

HWV Altura diferencial de vapor.

HWA Altura diferencial de agua.

HWDF Altura diferencial de dos fases.

X1 Calidad de vapor en el mezclador.

WGO Flujo de vapor antes del mezclador.

WLO Flujo de agua antes del mezclador.

WFO Flujo en dos fases en el mezclador.

MURDOCK

XDF1 Calidad de vapor calculada por el método de Murdock.

WDF1 Flujo en dos fases calculado por el método de Murdock.

ERR2F Error máximo al calcular el flujo en dos fases.

DEL2G1 Parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

DELLG1 Parámetro $\sqrt{\Delta P_L / \Delta P_G}$

EDM1 Error máximo al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

SSUM1 Error promedio al calcular el flujo en dos fases.

SSRMS1 Desviación fraccionaria media al calcular el flujo en dos fases.

SSUM4 Error promedio al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$.

SSRMS4 Desviación fraccionaria media al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

RUSSELL JAMES

XDF2 Calidad calculada por el método de Russell James.

WDF2 Flujo en dos fases calculado por el método de R. James.

ER2 Error máximo al calcular el flujo en dos fases.

DE2G2 Parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

DELG2 Parámetro $\sqrt{\Delta P_L / \Delta P_G}$

EDRJ2 Error máximo al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

SSUM2 Error promedio al calcular el flujo en dos fases.

SSRMS2 Desviación fraccionaria media al calcular el flujo en dos fases.

SSUM5 Error promedio al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

SSRMS5 Desviación fraccionaria media al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

BENJAMIN Y MILLER.

WDF3 Flujo en dos fases calculado por el método de Benjamín y Miller.

ERBM Error máximo al calcular el flujo en dos fases.

SSUM3 Error promedio al calcular el flujo en dos fases.

SSRMS3 Desviación fraccionaria media al calcular el flujo en dos fases.

CHISHOLM.

DDFG Parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

CCH Constante C para el método de Chisholm.

DDFL5 Parámetro $\Delta P_{DF} / \Delta P_L$

DCH Parámetro $\sqrt{\Delta P_L / \Delta P_G}$

EDCH4 Error máximo al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

SSUM6 Error promedio al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

SSRMS6 Desviación fraccionaria media al calcular el parámetro $\sqrt{\Delta P_{DF} / \Delta P_G}$

DATO No.	cm _{Br}			lb/in ² (psi)						°C						TIPO DE FLUJO OBSERV.
	H _G	H _L	H _{DF}	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
1	16.0	2.0	23.2	102.0	100.0	100.0	98.0	98.0	98.0	168.2	94.1	167.6	167.6	167.6	167.4	OND
2	10.2	0.5	14.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
3	21.5	1.0	27.3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
4	9.5	2.6	13.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
5	10.9	2.6	15.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
6	13.5	4.8	18.2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
7	14.8	2.8	20.2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
8	16.8	2.9	21.5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
9	20.9	5.6	25.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
10	23.0	3.5	29.5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
11	26.0	5.6	32.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
12	28.5	3.7	36.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A
13	9.6	2.1	13.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
14	10.7	2.7	14.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
15	10.3	1.0	13.4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
16	11.3	0.6	15.5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
17	11.0	2.7	14.3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
18	5.7	4.8	8.7	100.0	100.0	100.0	98.0	97.0	97.0	164.3	93.3	163.6	163.6	163.5	163.5	PULS.

DATO No.	cm _{Br}			lb/in ² (psi)						°C						TIPO DE FLUJO OBSRV.
	H _G	H _L	H _{DF}	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	
19	9.5	5.0	13.0	94.0	94.0	94.0	94.0	90.0	90.0	164.3	93.3	163.6	163.6	163.5	163.5	PULS.
20	10.7	4.8	15.0	100.0	100.0	99.0	98.0	97.0	97.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	PULS
21	12.3	2.3	16.9	100.0	100.0	99.0	98.0	97.0	97.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
22	11.5	1.9	18.0	102.0	100.0	100.0	98.0	93.0	98.0	168.2	94.1	167.6	167.6	167.6	167.4	OND
23	14.1	1.9	22.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
24	15.6	1.9	22.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
25	16.8	1.9	24.0	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
26	18.3	1.8	25.4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
27	20.9	1.9	23.4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
28	21.7	2.4	32.4	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
29	24.7	1.9	33.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
30	22.3	2.6	32.3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
31	7.3	2.0	13.1	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
32	11.8	2.3	17.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
33	13.7	2.7	20.3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
34	12.6	3.6	19.9	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	OND
35	21.9	3.4	32.3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
36	25.6	3.3	34.6	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	ANUL
37	23.2	1.5	34.7	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	DISP-A

HOJA NUMERO 1

TABLA GENERAL

NEXP	PHV (Pa abs)	PH (Pa abs)	PG (Pa abs)	HVV (m-H2O)	HVA (m-H2O)	HVD (m-H2O)	X1 (%)	WGO (Kg/s)	WLO (Kg/s)	WFO (Kg/s)
1	781176.00	743813.31	753596.94	0.0296	0.0100	0.1155	53.28	0.128	0.112	0.240
2	781176.00	743813.31	753596.94	0.1503	0.0105	0.0867	53.40	0.102	0.088	0.160
3	781176.00	743813.31	753596.94	0.1070	0.0053	0.1359	54.53	0.148	0.091	0.235
4	781176.00	743813.31	753596.94	0.0473	0.0122	0.0347	55.58	0.192	0.107	0.226
5	781176.00	743813.31	753596.94	0.0542	0.0129	0.0717	55.36	0.106	0.111	0.233
6	781176.00	743813.31	753596.94	0.0672	0.0232	0.0204	46.72	0.111	0.171	0.289
7	781176.00	743813.31	753596.94	0.0737	0.0132	0.1005	48.25	0.123	0.102	0.211
8	781176.00	743813.31	753596.94	0.0836	0.0144	0.1070	49.41	0.121	0.119	0.235
9	781176.00	743813.31	753596.94	0.1040	0.0272	0.1272	44.18	0.146	0.124	0.339
10	781176.00	743813.31	753596.94	0.1145	0.0174	0.1468	51.04	0.153	0.142	0.301
11	781176.00	743813.31	753596.94	0.1324	0.0272	0.1523	46.87	0.152	0.181	0.311
12	781176.00	743813.31	753596.94	0.1418	0.0184	0.1722	53.05	0.172	0.151	0.321
13	781176.00	743813.31	753596.94	0.0478	0.0105	0.0682	46.35	0.098	0.115	0.214
14	781176.00	743813.31	753596.94	0.0533	0.0134	0.0727	44.66	0.105	0.130	0.234
15	781176.00	743813.31	753596.94	0.0513	0.0050	0.0667	56.11	0.103	0.080	0.133
16	781176.00	743813.31	753596.94	0.0562	0.0030	0.0771	53.08	0.106	0.063	0.177
17	781176.00	743813.31	753596.94	0.0547	0.0134	0.0712	45.02	0.108	0.130	0.226
18	767386.44	743813.31	746702.19	0.0284	0.0232	0.0433	30.72	0.075	0.171	0.240
19	726017.94	716234.25	698438.88	0.0473	0.0242	0.0647	35.31	0.095	0.175	0.271
20	726017.94	716234.25	698438.88	0.0533	0.0212	0.0711	37.13	0.101	0.171	0.271
21	767386.44	743813.31	746702.19	0.0612	0.0114	0.0841	48.11	0.111	0.120	0.231
22	781176.00	757602.81	753596.94	0.0572	0.0095	0.0896	42.8	0.108	0.112	0.221
23	781176.00	757602.81	753596.94	0.0702	0.0095	0.1095	52.33	0.120	0.109	0.229
24	781176.00	757602.81	753596.94	0.0776	0.0095	0.1120	53.58	0.126	0.109	0.231
25	781176.00	757602.81	753596.94	0.0836	0.0095	0.1124	54.57	0.121	0.109	0.231

HOJA NUMERO 2

TABLA GENERAL

HEXP	PKV (Pa abs)	PK (Pa abs)	PG (Pa abs)	HWV (m-H2O)	HWA (m-H2O)	HWDF (m-H2O)	X1 (%)	WGO (Kg/s)	WLO (Kg/s)	WFO (Kg/s)
26	781176.00	757602.81	753596.94	0.0911	0.0090	0.1264	56.19	0.137	0.107	0.243
27	781176.00	757602.81	753596.94	0.1040	0.0095	0.1413	57.18	0.146	0.109	0.255
28	781176.00	757602.81	753596.94	0.1080	0.0119	0.1613	54.86	0.149	0.122	0.271
29	781176.00	757602.81	753596.94	0.1229	0.0095	0.1677	59.20	0.159	0.109	0.268
30	781176.00	757602.81	753596.94	0.1110	0.0129	0.1608	54.24	0.151	0.127	0.278
31	781176.00	757602.81	753596.94	0.0388	0.0100	0.0652	44.38	0.089	0.112	0.201
32	781176.00	757602.81	753596.94	0.0587	0.0114	0.0881	47.82	0.110	0.120	0.230
33	781176.00	757602.81	753596.94	0.0682	0.0134	0.1010	47.74	0.118	0.130	0.248
34	781176.00	757602.81	753596.94	0.0627	0.0179	0.0990	43.26	0.113	0.149	0.262
35	781176.00	757602.81	753596.94	0.1090	0.0169	0.1608	50.78	0.149	0.145	0.294
36	781176.00	757602.81	753596.94	0.1274	0.0164	0.1722	53.08	0.161	0.143	0.304
37	781176.00	757602.81	753596.94	0.1403	0.0075	0.1727	63.45	0.169	0.098	0.267

HOJA NUMERO 1

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO METODO DE ELECTROFILIA

NEXP	XDF1 (%)	WDF1 (Kg/s)	ERR2F (%)	DELE2F1	RELL2F1	ESM1
1	53.21	0.2675	11.50	1.0697	0.0553	-11.12
2	63.86	0.1776	11.10	1.0443	0.0352	-10.36
3	64.77	0.2444	7.01	1.0428	0.0316	-10.10
4	43.60	0.2375	5.15	1.1030	0.0618	-8.71
5	45.29	0.2470	6.08	1.0962	0.0763	-6.56
6	40.62	0.2975	3.09	1.1169	0.0928	-5.81
7	48.19	0.2717	6.65	1.0656	0.0679	-7.02
8	49.34	0.2747	3.65	1.0817	0.0647	-4.38
9	44.10	0.3299	-0.17	1.1013	0.0804	-0.68
10	50.97	0.3126	4.23	1.0766	0.0608	-4.54
11	46.80	0.3500	0.81	1.0908	0.0721	-1.67
12	52.96	0.3340	3.99	1.0707	0.0561	-4.73
13	46.28	0.2319	8.40	1.0923	0.0732	-8.57
14	44.61	0.2468	5.38	1.0989	0.0785	-5.93
15	56.04	0.1948	6.43	1.0619	0.0491	-6.90
16	63.02	0.1890	10.89	1.0460	0.0365	-10.69
17	44.95	0.2427	3.00	1.0975	0.0774	-3.74
18	30.69	0.2572	4.13	1.1802	0.1430	-4.47
19	35.47	0.2725	0.97	1.1403	0.1113	-2.52
20	37.29	0.2809	3.18	1.1296	0.1028	-4.60
21	48.10	0.2481	7.35	1.0854	0.0678	-7.41
22	49.83	0.2494	14.53	1.0799	0.0634	-13.68
23	52.36	0.2642	15.17	1.0721	0.0573	-14.17
24	53.61	0.2629	11.61	1.0686	0.0544	-11.41
25	54.53	0.2664	10.85	1.0661	0.0525	-10.89

HOJA NUMERO 2

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO METODO DE MURDOCK (01)

NEXP	XDF1 (%)	WDF1 (Kg/s)	ERR2F (%)	DEL2G1	DELLG1	EDM1
26	56.22	0.2668	9.73	1.0617	0.0490	-9.88
27	57.20	0.2778	8.82	1.0593	0.0470	-9.13
28	54.89	0.3074	13.39	1.0652	0.0518	-12.82
29	59.22	0.2935	9.52	1.0545	0.0433	-9.72
30	54.27	0.3100	11.51	1.0669	0.0531	-11.35
31	44.41	0.2348	16.51	1.0995	0.0789	-15.14
32	47.85	0.2560	11.44	1.0866	0.0688	-11.28
33	47.77	0.2744	10.72	1.0870	0.0690	-10.70
34	43.29	0.2951	12.48	1.1045	0.0829	-12.12
35	50.81	0.3280	11.46	1.0770	0.0611	-11.31
36	53.11	0.3267	7.40	1.0702	0.0557	-7.94
37	63.48	0.2802	4.94	1.0454	0.0361	-5.75

CALCULO ESTADISTICO

VALOR MEDIO DEL ERROR Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA

SSUM1= 7.93% SSRMS1= 1.09
 SSUM4= 8.14% SSRMS4= 0.09

HOJA NUMERO 1

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO EL METODO DE RUSSEL JAMES (02)

NEXP	XDF2 (%)	WDF2 (Kg/s)	ER2 (%)	DE2G2	DELG2	EDRJ2 (%)
1	38.82	0.2525	5.26	1.1747	0.0569	-2.45
2	51.03	0.1713	7.17	1.1209	0.0366	-4.32
3	52.13	0.2367	3.63	1.1168	0.0352	-0.89
4	28.79	0.2191	-2.97	1.2370	0.0837	5.74
5	30.48	0.2288	-1.70	1.2248	0.0782	4.41
6	25.89	0.2732	-5.36	1.2601	0.0946	8.53
7	33.45	0.2536	-0.46	1.2052	0.0696	3.16
8	34.66	0.2571	-3.00	1.1979	0.0665	5.89
9	29.29	0.3054	-7.57	1.2333	0.0820	11.22
10	36.39	0.2939	-2.01	1.1878	0.0623	4.88
11	32.01	0.3261	-6.07	1.2144	0.0736	9.47
12	38.54	0.3155	-1.76	1.1761	0.0575	4.65
13	31.49	0.2152	0.63	1.2179	0.0751	1.95
14	29.79	0.2283	-2.50	1.2296	0.0804	5.27
15	41.95	0.1847	0.93	1.1591	0.0508	1.62
16	50.03	0.1820	6.81	1.1247	0.0380	-3.97
17	30.14	0.2247	-4.64	1.2272	0.0793	7.63
18	17.00	0.2311	-6.43	1.3571	0.1455	9.85
19	21.12	0.2463	-8.74	1.3052	0.1134	11.57
20	22.77	0.2550	-6.35	1.2881	0.1049	8.79
21	33.36	0.2313	0.09	1.2057	0.0695	2.86
22	35.17	0.2336	7.23	1.1948	0.0652	-4.50
23	37.89	0.2489	8.50	1.1796	0.0589	-5.56
24	39.25	0.2484	5.45	1.1724	0.0560	-2.81
25	40.26	0.2522	4.96	1.1673	0.0540	-2.73

HOJA NUMERO 2

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO EL METODO DE RUSSEL JAMES (2C)

NEXF	XDF2 (%)	WDF2 (Ks/s)	ER2 (%)	DEZG2	DELG2	EDRJ2 (%)
26	42.15	0.2536	4.30	1.1582	0.0504	-1.69
27	43.26	0.2647	3.69	1.1530	0.0484	-1.09
28	40.66	0.2916	7.54	1.1653	0.0532	-4.63
29	45.57	0.2810	4.87	1.1428	0.0446	-2.16
30	39.99	0.2936	5.62	1.1688	0.0546	-2.89
31	29.60	0.2170	7.69	1.2311	0.0810	-5.01
32	33.10	0.2387	3.88	1.2075	0.0706	-1.41
33	33.01	0.2559	3.24	1.2080	0.0708	-0.76
34	28.48	0.2725	3.86	1.2393	0.0848	-1.39
35	36.22	0.3083	4.77	1.1898	0.0627	-2.11
36	38.70	0.3087	1.49	1.1753	0.0572	1.10
37	50.58	0.2708	1.42	1.1226	0.0372	1.20

CALCULO ESTADISTICO

VALOR MEDIO DEL ERROR Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA

SSUM2= 4.39% SSRMS2= 0.05

SSUM5= 4.32% SSRMS5= 0.05

HOJA NUMERO 1

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO LOS METODOS DE :

BENJAMIN & MILLER (03)			CHISHOLM (04)				
NEXP	WDF3 (Kd/s)	ERBM (%)	DDFG	CCH	DDFL5	DCH	EDCH4 (%)
1	0.2044	-14.78	1.1972	7.7725	468.02	0.0553	-0.58
2	0.1398	-12.57	1.1289	7.7725	1031.06	0.0352	-3.64
3	0.1932	-15.38	1.1248	7.7725	1095.69	0.0340	-0.18
4	0.1759	-22.11	1.2815	7.7725	245.62	0.0818	9.55
5	0.1840	-20.97	1.2645	7.7725	274.51	0.0763	7.79
6	0.2186	-24.25	1.3151	7.7725	201.02	0.0928	13.27
7	0.2045	-19.75	1.2379	7.7725	332.28	0.0679	5.96
8	0.2075	-21.72	1.2281	7.7725	358.58	0.0649	8.56
9	0.2453	-25.76	1.2773	7.7725	252.28	0.0804	15.19
10	0.2376	-20.80	1.2150	7.7725	399.49	0.0668	7.28
11	0.2626	-24.35	1.2512	7.7725	301.29	0.0721	12.76
12	0.2555	-20.46	1.1997	7.7725	457.09	0.0561	6.74
13	0.1732	-19.02	1.2548	7.7725	293.71	0.0732	5.04
14	0.1834	-21.67	1.2713	7.7725	262.39	0.0785	8.22
15	0.1498	-18.12	1.1765	7.7725	573.74	0.0491	3.15
16	0.1484	-12.91	1.1336	7.7725	963.96	0.0365	-3.21
17	0.1806	-23.36	1.2679	7.7725	268.27	0.0774	11.21
18	0.1828	-25.98	1.4619	7.8075	104.46	0.1430	18.33
19	0.1960	-27.37	1.3822	8.0670	154.13	0.1113	18.16
20	0.2033	-25.32	1.3565	8.0670	174.63	0.1028	14.57
21	0.1864	-19.32	1.2384	7.8075	334.07	0.0678	5.65
22	0.1885	-13.43	1.2234	7.7725	372.39	0.0634	-2.21
23	0.2013	-12.22	1.2034	7.7725	441.84	0.0573	-3.66
24	0.2012	-14.60	1.1942	7.7725	481.18	0.0544	-1.57
25	0.2044	-14.93	1.1876	7.7725	512.50	0.0525	-2.62

HOJA NUMERO 2

TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO LOS METODOS DE :

BENJAMIN & HILLER (03)			CHISHOLM (04)				
NEXP	WDF3 (Kg/s)	ERBM (%)	DDFG	CCH	DDFL5	BCH	EDCH4 (%)
26	0.2058	-15.36	1.1760	7.7725	577.10	0.0490	-0.18
27	0.2150	-15.78	1.1695	7.7725	618.21	0.0470	0.33
28	0.2364	-12.80	1.1853	7.7725	524.44	0.0518	-3.00
29	0.2286	-14.69	1.1568	7.7725	714.89	0.0433	-0.97
30	0.2379	-14.41	1.1898	7.7725	501.86	0.0531	-1.14
31	0.1743	-13.49	1.2727	7.7725	259.95	0.0789	-1.79
32	0.1923	-16.28	1.2406	7.7725	325.60	0.0688	1.30
33	0.2062	-16.80	1.2415	7.7725	323.39	0.0690	1.99
34	0.2187	-16.65	1.2850	7.7725	240.20	0.0829	2.25
35	0.2491	-15.33	1.2161	7.7725	395.56	0.0611	0.14
36	0.2500	-17.82	1.1985	7.7725	462.25	0.0557	3.09
37	0.2209	-17.25	1.1321	7.7725	985.33	0.0361	2.06

CALCULO ESTADISTICO

VALOR MEDIO DEL ERROR Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA

SSUM3= 10.32% SSRMS3= 0.19
 SSUM6= 5.55% SSRMS6= 0.08

APENDICE.

8.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

8.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

En las páginas 159 a 168 se muestran el diagrama de bloques - del programa de cálculo y el programa de computadora elaborado para efectuar los cálculos del flujo a través de placas de orificio.

A continuación se presenta un ejemplo numérico para los datos de la lectura 1(Ver Apéndice 8.3), utilizando los métodos - seleccionados para el cálculo del flujo en dos fases.

8.4.1 MEMORIA DE CALCULO

1.- DATOS.

$$\Delta H_G = 16.0 \text{ cm}_{Br}$$

$$\Delta H_L = 2.0 \text{ cm}_{Br}$$

$$\Delta H_{DF} = 23.2 \text{ cm}_{Br}$$

$$P_1 = 102.0 \text{ psi (presión anterior al orificio de vapor)}$$

$$P_2 = 100.0 \text{ psi } T_1 = 167.7^\circ\text{C}$$

$$P_3 = 100.0 \text{ psi } T_2 = 94.1^\circ\text{C}$$

$$P_4 = 98.0 \text{ psi } T_3 = 167.6^\circ\text{C}$$

$$P_5 = 98.0 \text{ psi } T_4 = 167.6^\circ\text{C } T_5 = 167.6^\circ\text{C (anterior a dos fases)}$$

$$P_6 = 98.0 \text{ psi } T_6 = 167.4^\circ\text{C}$$

2.- CONVERSIONES AL SISTEMA INTERNACIONAL.

$$P_{atm} = 11.3 \text{ psia}$$

$$P_1 = 102.0 + 11.3 = 113.3 \text{ lb/in}^2 \times \text{kg}/2.20461 \text{ lb} \times \\ \times 9.80652 \text{ Nt/Kg} \times \text{in}^2 / (0.0254 \text{ m})^2 =$$

$$= 113.3 \times 6894.737 = 781\,173.70 \text{ Nt}$$

$$P_1 = 781\,173.70 \text{ Pa} = 7.81 \text{ bars}$$

$$P_4 = P_5 = 98.0 \text{ psi} + 11.3 = 109.3 \text{ psia}$$

$$P_4 = 109.3 \times 6894.737 = 753\,594.75 \text{ Pa} = 7.54 \text{ bars}$$

3.- CALCULO DE LAS PROPIEDADES TERMODINAMICAS.

$$P_1 = 7.81 \text{ bars}$$

$$T_1 = 169.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_{L1} = 0.001135 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_{G1} = 0.2463 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_{L1} = 716.57 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{G1} = 2768.036 \text{ Kj/Kg}$$

$$P_4 = P_5 = 7.54 \text{ bars}$$

$$T_4 = 167.8 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V_{L4} = 0.001117 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_{G4} = 0.2540 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$h_{L4} = 710.00 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_{G4} = 2767.00 \text{ Kj/Kg}$$

4.- CALCULO DEL FLUJO DE AGUA.

$$K_L = K_0 + b$$

$$\lambda = 1000 / \sqrt{R_D} = 1000 / \sqrt{\beta R_d}$$

Calculando las constantes K_0 y b con $D = 1.049 \text{ pulg}$ y $\beta = 0.7$

$$K_0 = (0.6014 - 0.01352 (1.049)^{-0.25}) + \\ + (0.3760 + 0.07257 (1.049)^{-0.25}) \times \\ \times \left[\frac{0.00025}{(1.049)^2 (0.7)^2 + 0.0025 \times 1.049} + (0.7)^4 + 1.5 (0.7)^{16} \right]$$

$$K_0 = 0.588 + 0.4477 \times 0.2456$$

$$K_0 = 0.6980$$

$$b = \left(0.0002 + \frac{0.0011}{1.049} \right) + \left(0.0038 + \frac{0.0004}{1.049} \right) \times \\ \times \left((0.7)^2 + (16.5 + 5 \times 1.049) (0.7)^{16} \right)$$

$$b = 0.00125 + 0.00413 \times 0.56227$$

$$b = 0.0036$$

Para el flujo :

$$w_L \text{ (Kg/s)} = 109.895 K_L d^2 F_a \sqrt{H_w \rho_1}$$

Donde:

$$d = 0.0136 \text{ m}$$

$$F_a = 1.005$$

Tomando a $K_L = 0.698$ como valor inicial:

$$\Delta H_w = \Delta H_{Br} \left[\frac{\rho_{Br} - \rho_A}{\rho_A} \right]$$

$$\Delta H_{Br} = \Delta H_L = 2.0 \text{ cm}_{Br}$$

$$\rho_{Br} = 1495 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_A = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\Delta H_w = 2.0 \text{ cm}_{Br} \times \frac{1495 - 1000}{1000} \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} = 0.0099 \text{ m}_{H_2O}$$

$$\rho_1 = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

Sustituyendo en w:

$$w_L = 109.895 \times 0.698 \times (0.0136)^2 \times 1.005 \times 0.0099 \times 1000$$

$$w_L = 0.0839 \text{ Kg/s}$$

Para encontrar el flujo es necesario resolver por iteraciones:

$$\text{Reynolds } R_D = 4w / \pi D \mu$$

$$\text{Para el agua } T = 90^\circ\text{C } \mu = 0.3 \times 10^{-2} \text{ poise} = 3 \times 10^{-4} \text{ Kg/m-s}$$

Con $D = 0.0266 \text{ m}$ (1.049"), sustituyendo:

$$R_D = \frac{4 \times 0.0839}{\pi \times 0.0266 \times 3 \times 10^{-4}} = 1.5955 \times 10^5 \times 0.0839$$

$$R_D = 1.3386566 \times 10^4$$

Iterando para K_L :

$$\lambda = \frac{1000}{\sqrt{R_D}} = \frac{1000}{\sqrt{1.3386566 \times 10^4}} = 8.64$$

$$K_L = 0.698 + 0.0036 \times 8.64 = 0.73$$

Ahora para el cálculo del flujo con $K_L = 0.73$

$$w_L = 109.895 \times 0.73 \times (0.0186)^2 \times 1.005 \times \sqrt{0.0099 \times 1000}$$

$$w_L = 0.0878 \text{ Kg/s}$$

Volviendo a calcular R_D :

$$R_D = 1.5955 \times 10^5 \times 0.0878 = 1.400849 \times 10^4$$

Para K_L :

$$\lambda = \frac{1000}{\sqrt{1.4008449 \times 10^4}} = 8.45$$

$$K_L = 0.698 + 0.0036 \times 8.45 = 0.73$$

Como el coeficiente de flujo K_L no varía se toma w_L como:

$$w_L = 0.0878 \text{ Kg/s}$$

Corrigiendo este valor por el coeficiente calculado prácticamente (ver tabla 8.14) :

$$w_L = 0.1141 \text{ Kg/s}$$

5.- CALCULO DEL FLUJO DE VAPOR.

Calculando las constantes K_0 y b con $D = 3.068$ pulg y $\beta = 0.7$:

$$K_0 = (0.06014 - 0.01352 (3.068)^{-0.25}) + \\ + (0.3760 + 0.07257 (3.068)^{-0.25}) \times \\ \times \left[\frac{0.00025}{(3.068)^2 (0.7)^2 + 0.00025 \times 3.068} + (0.7)^4 + \right. \\ \left. + 1.5(0.7)^{16} \right]$$

$$K_0 = 0.6968$$

$$b = (0.002 + \frac{0.0011}{3.068}) + (0.0038 + \frac{0.0004}{3.068}) \times$$

$$\times ((0.7)^2 + (16.5 + 5 \times 3.068) (0.7)^{16})$$

$$b = 0.0029$$

PARA EL FLUJO:

$$w_G \text{ (Kg/s)} = 109.895 K_G d^2 Y F_a \sqrt{H_w P_1}$$

Donde:

$$d = 0.0545 \text{ m}$$

Tomando a $K_G = 0.6968$ como valor inicial:

$$F_a = 1.005$$

$$Y = 1 - (0.41 + 0.35^4) r/k$$

$$r = \Delta P / P_1$$

$$k = 1.3$$

$$\Delta P = \Delta H_G \times P_A = 16.0 \text{ cm}_{Br} \times \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}_{Br}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{Nt}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta P = 160 \text{ Nt/m}^2 = 0.0016 \text{ bar}$$

$$P_1 = 7.81 \text{ bar}$$

$$r = 0.00160 / 7.81 = 0.0002$$

Sustituyendo en Y:

$$Y = 1 - (0.41 + 0.35(0.7)^4) \frac{0.0002}{7.81} = 0.9999 \rightarrow 1.0$$

$$\Delta H_{Br} = \Delta H_G = 16.0 \text{ cm}_{Br}$$

$$\Delta H_w = 16 \text{ cm} \times \left[\frac{1495 - 1000}{1000} \right] \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} = 0.0792 \text{ m}_{H_2O} \text{ (efectiva)}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{V_{G1}} = \frac{1}{0.2463 \text{ m}^3/\text{Kg}} = 4.0601 \text{ Kg/m}^3$$

Sustituyendo en la ecuación para flujo:

$$w_G = 109.895 \times 0.6968 \times (0.0545)^2 \times 1.0 \times 1.005 \times \sqrt{0.0792 \times 4.0601}$$

$$w_G = 0.136 \times 0.6968 = 0.1296 \text{ Kg/s}$$

Para el No. de Reynolds con:

$$\mu = 0.009 \times 10^{-3} \text{ lb}_m/\text{s-ft} = 1.3394 \times 10^{-5} \text{ Kg/s-m}$$

$$D = 0.0779 \text{ m} (3.063'')$$

Sustituyendo para R_D :

$$R_D = \frac{4 \times 0.1296}{\pi \times 0.0779 \times 1.3394 \times 10^{-5}} = 1.5814933 \times 10^5$$

Iterando para K_G :

$$\lambda = \frac{1000}{\sqrt{1.5814933 \times 10^5}} = 2.52$$

$$K_G = 0.6968 + 0.0029 \times 2.52 = 0.70$$

Calculando nuevamente el flujo con K_G :

$$K_G = 0.70$$

$$w_G = 0.136 \times 0.70 = 0.1302 \text{ Kg/s}$$

Volviendo a calcular el R_D :

$$R_D = 1.2202391 \times 10^5 \times 0.1302 = 1.5888151 \times 10^5$$

Iterando para K_G :

$$\lambda = \frac{1000}{\sqrt{1.5888151 \times 10^5}} = 2.51$$

$$K_G = 0.6968 + 0.0029 \times 2.51 = 0.70$$

El coeficiente de flujo K_G no varía por tanto se toma como w_G a:

$$w_G = 0.1302 \text{ Kg/s}$$

6.- CALCULOS PRELIMINARES.

Flujo en dos fases experimental:

$$w_{DF} = w_G + w_L = 0.1302 + 0.1141 = 0.2443 \text{ Kg/s}$$

Calidad de vapor antes del mezclador:

$$X = \frac{w_G}{w} = \frac{0.1302}{0.2443} = 0.5330$$

7.- CALCULOS CON LOS METODOS PARA FLUJO EN DOS FASES.

Método de Murdock(3).

Constantes y valores iniciales:

$$\Delta H_{wDF} = \Delta H_{BrDF} \left[\frac{\rho_{Br} - \rho_A}{\rho_A} \right]$$

$$\Delta H_{BrDF} = \Delta H_{DF} = 23.2 \text{ cm}_{Br}$$

$$\Delta H_{wDF} = 23.2 \text{ cm} \left[\frac{1495 - 1000}{1000} \right] \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} = 0.1148 \text{ m}_{H_2O}$$

$$F_a = 1.005, \beta = 0.7, X = 0.53, y = 1 - X = 0.47$$

$$\text{Para } D = 0.0779 \text{ m (3.068") } \text{ y } \beta = 0.7 : K_0 = 0.6968 \text{ y } b = 0.0029$$

$$\mu_{G_{160^\circ C}} = 1.3394 \times 10^{-5} \text{ Kg/s-m}$$

$$\mu_{L_{160^\circ C}} = 0.175 \times 10^{-3} \text{ Kg/s-m}$$

$$V_{L5} = 0.001117 \text{ m}^3/\text{Kg} ; \gamma_{L1} = \frac{1}{V_{L5}} = 900.09 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{G5} = 0.2540 \text{ m}^3/\text{Kg} ; \gamma_{G1} = \frac{1}{V_{G5}} = 3.89 \text{ Kg/m}^3$$

$$R_{DL} = \frac{4 w_L}{\pi \times 0.0779 \times 0.175 \times 10^{-3}} = 1.1786747 \times 10^4$$

$$\lambda_G = \frac{1000}{\sqrt{R_{DG}}} = \frac{1000}{\sqrt{1.7291482 \times 10^5}} = 2.41$$

$$\lambda_L = \frac{1000}{\sqrt{R_{DL}}} = \frac{1000}{\sqrt{1.1786747 \times 10^4}} = 9.21$$

$$K_G = 0.6968 + 0.0029 \times 2.41 = 0.70$$

$$K_L = 0.6968 + 0.0029 \times 9.21 = 0.72$$

2ª Iteración :

$$\sqrt{\Delta H_{wG}} = \frac{0.3388}{1 + 1.1174 \times \frac{0.70 \times 0.99}{0.72} \times 0.066} = 0.3163$$

$$\sqrt{\Delta H_{wL}} = \frac{0.3388 - 0.3163}{1.26} = 0.0179$$

Calculando los flujos w_G y w_L :

$$w_G = 110 \times 0.7 \times 0.99 \times 1.005 \times (0.545)^2 \times 0.3163 \times 1.9723 = 0.1420 \text{ Kg/s}$$

$$w_L = 110 \times 0.72 \times 1.005 \times (0.0545)^2 \times 0.0179 \times 30.0 = 0.1269 \text{ Kg/s}$$

Calculando los Reynolds:

$$R_{DG} = 1.2202831 \times 10^6 \times 0.1420 = 1.7328091 \times 10^5$$

$$R_{DL} = 9.3397363 \times 10^4 \times 0.1269 = 1.852125 \times 10^4$$

Calculando los coeficientes de flujo:

$$\lambda_G = \frac{1000}{\sqrt{1.7328091 \times 10^5}} = 2.40$$

$$\lambda_L = \frac{1000}{\sqrt{1.852125 \times 10^4}} = 9.19$$

$$K_G = 0.6968 + 0.0029 \times 2.40 = 0.70$$

$$K_L = 0.6968 + 0.0029 \times 9.19 = 0.72$$

Los coeficientes de flujo no varían, por tanto w_G y w_L son:

$$w_G = 0.1420 \text{ Kg/s}$$

$$w_L = 0.1269 \text{ Kg/s}$$

Con K_G y K_L calculados se utiliza la ecuación(2) del Apéndice 8.1 para calcular el flujo en dos fases:

$$w_{DF} = \frac{110 \times 0.7 \times 0.99 \times 1.005 \times (0.0545)^2 \times \sqrt{0.1148} \sqrt{3.89}}{0.53 + 1.26 \times 0.47 \times \frac{0.7 \times 0.99}{0.72} \times 0.066}$$

$$w_{DF} = 0.2679 \text{ Kg/s}$$

Para calcular los parámetros de Lockhart-Martinelli(2):

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{\sqrt{\frac{\Delta H_{wDF}}{\Delta H_{wG}}}}{\sqrt{\frac{\Delta H_{wG}}{\Delta H_{wG}}}} = \frac{0.3388}{0.3163} = 1.0711$$

y

$$\sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{\sqrt{\frac{\Delta H_{wL}}{\Delta H_{wG}}}}{\sqrt{\frac{\Delta H_{wG}}{\Delta H_{wG}}}} = \frac{0.0179}{0.3163} = 0.0566$$

Comprobando la ecuación(1) del Apéndice 8.1 que relaciona los parámetros de Lockhart-Martinelli(2):

$$\sqrt{\frac{\Delta H_{wDF}}{\Delta H_{wG}}} = 1.26 \sqrt{\frac{\Delta H_{wL}}{\Delta H_{wG}}} + 1.0$$

$$\sqrt{\frac{\Delta H_{wDF}}{\Delta H_{wG}}} = 1.26 \times 0.0566 + 1.0 = 1.0713$$

- Método de Russell James(4)

Constantes y valores de los parámetros:

$$d = 0.0545\text{m}$$

$$Y_{DF} = 0.99$$

$$\beta = 0.7$$

$$\Delta H_{DF} = 23.2\text{cm}_{Br} \text{ (Bajo agua)}$$

$$\Phi_{DF} = \rho_{Br} \times \Delta H_{DF} / \rho_{Hg} = \frac{1.495}{13.57} \times 23.2\text{cm} \times \frac{1}{100\text{cm}} =$$

$$\Phi_{DF} = 0.0256 \text{ m}_{Hg} \text{ (Bajo agua)}$$

$$V_{L5} = 0.001117 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_{G5} = 0.2540 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$X = 0.53$$

La ecuación para flujo en dos fases de Russell James(4) (Ver Apéndice 8.1) es:

$$w = \frac{149.79 d^2 Y_{DF}}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{\frac{\Phi_{DF}}{X^{1.5}(V_G - V_L) + V_L}}$$

Sustituyendo:

$$w = \frac{149.79 \times (0.0545)^2 \times 0.99}{\sqrt{1 - (0.7)^4}} \sqrt{\frac{0.0256}{(0.53)^{1.5}(0.2540 - 0.001117) + 0.001117}}$$

$$w = 0.2563 \text{ Kg/s}$$

Para los parámetros de Lockhart-Martinelli(2):

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{1}{X} \sqrt{\frac{X^{1.5} V_G + (1 - X^{1.5}) V_L}{V_G}} \quad (+)$$

$$y: \sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{1 - X}{X} \sqrt{\frac{V_L}{V_G}} \quad (+)$$

(+) Ecs. (4) y (5) Apéndice 8.1.

Sustituyendo:

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = \frac{1}{0.53} \sqrt{\frac{(0.53)^{1.5} \times 0.254 + (1-0.533)^{1.5} \times 0.001117}{0.254}}$$

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_G}} = 1.1744$$

$$\sqrt{\frac{\Delta P_L}{\Delta P_G}} = \frac{1 - 0.53}{0.53} \times \frac{0.001117}{0.254} = 0.0581$$

- Método de Benjamín y Miller(6)

Constantes y valores de los parámetros:

$$V_L = 0.001117 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_G = 0.2540 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$X = 0.533$$

$$a_0 = \frac{d^2}{4} = \frac{X (0.0545)^2}{4} = 0.00233 \text{ m}^2$$

$$\Delta H_{DF} = 23.2 \text{ cm}$$

$$\Delta H_{wDF} = \Delta H_{DF} \left[\frac{\rho_{Br} - \rho_A}{\rho_A} \right]$$

$$\Delta H_{wDF} = 23.2 \text{ cm} \times \frac{1495 - 1000}{1000} \times \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} = 0.1148 \text{ m}_{H_2O} \text{ (efectiva)}$$

$$P = \rho_H = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 0.1148 \text{ m} = 114.8 \text{ Kg/m}^2$$

$$\Delta P_{DF} = 114.8 \text{ Kg/m}^2 \times 9.8 \text{ Nt/Kg} = 1125.04 \text{ Pa}$$

Utilizando la ecuación de Benjamín y Miller(6) para cálculo del flujo en dos fases(ver Apéndice 8.1):

$$w = 0.876752 a_c \sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{X (V_G - V_L) + V_L}}$$

$$\psi = 1.413707 - 3.534576 \times 10^{-7} \Delta P_{DF}$$

Sustituyendo:

$$\psi = 1.413707 - 3.534576 \times 10^{-7} \times 1125.04 = 1.4133$$

$$w = 0.876752 \times 0.00233 \times \sqrt{\frac{1125.04}{(0.53)^{1.4133} (0.254 - 0.001117) + 0.001117}}$$

$$w = 0.2114 \text{ Kg/s}$$

- Método de Chisholm(5).

La constante para orificios está dada por: (ver Apéndice 8.1)

$$C = \left[(1 + (C_2 - 1) \sqrt{\frac{V_G - V_L}{V_G}}) \left[\sqrt{\frac{V_G}{V_L}} + \sqrt{\frac{V_L}{V_G}} \right] \right]$$

Donde:

$$C_2 = 0.5$$

$$V_G = 0.2540 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$V_L = 0.001117 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

Sustituyendo:

$$C = \left[1 + (0.5 - 1) \sqrt{\frac{0.254 - 0.001117}{0.2540}} \right] \left[\sqrt{\frac{0.2540}{0.001117}} + \sqrt{\frac{0.001117}{0.2540}} \right]$$

$$C = 7.59$$

Para calcular las diferenciales de presión: (Apéndice 8.1 ec.(6))

$$\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L} = 1 + C \sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} + \frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}$$

$$\sqrt{\frac{\Delta P_G}{\Delta P_L}} = \frac{1}{0.0566} = 17.67$$

Sustituyendo:

$$\sqrt{\frac{\Delta P_{DF}}{\Delta P_L}} = 1 + 7.59 \times 17.67 + (17.67)^2 = 447.34$$

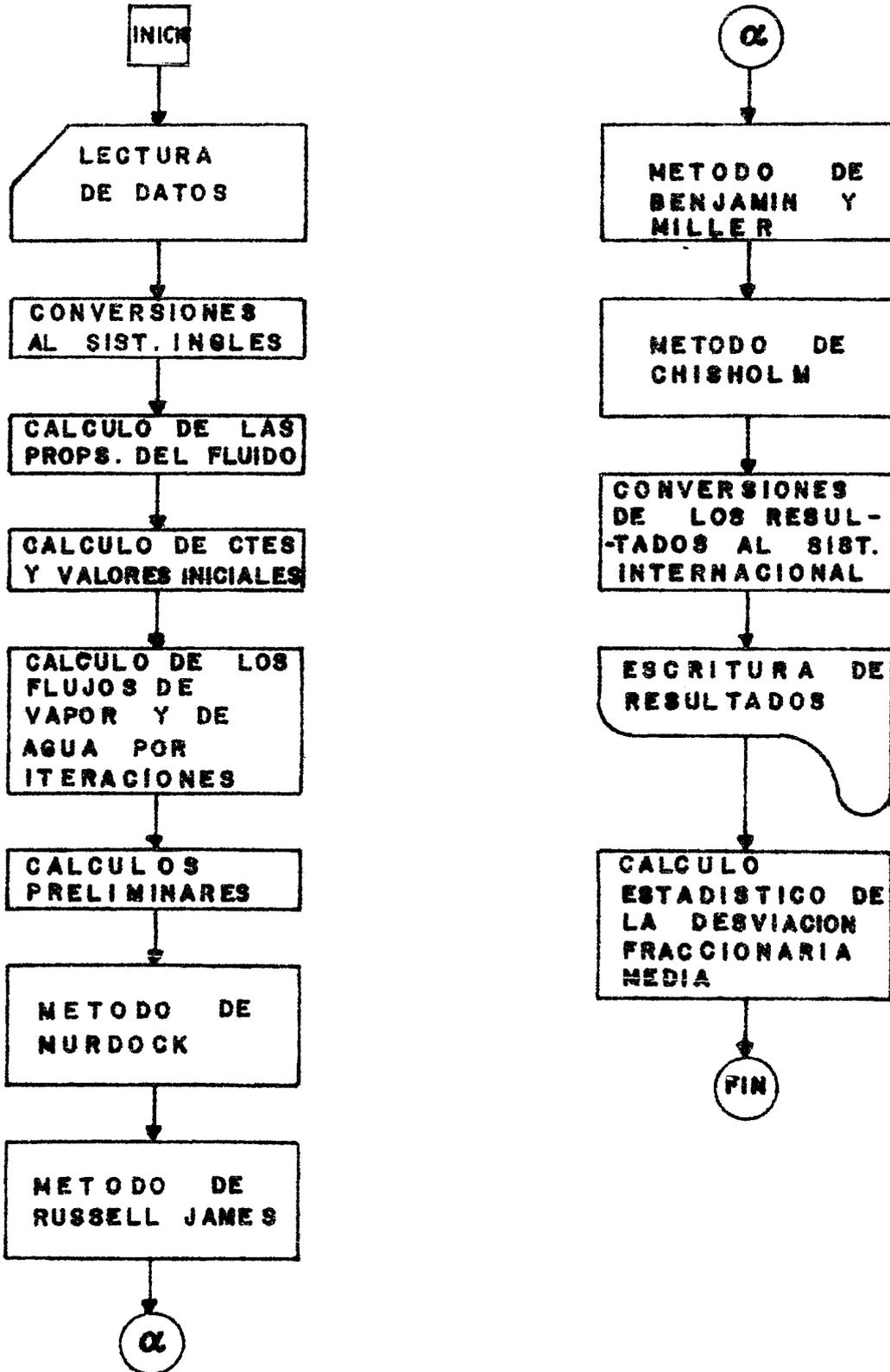


FIG 8.16 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA DE CALCULO.

C EL PROGRAMA "EXP" SIRVE PARA CALCULAR LOS FLUJOS DE VAPOR,
 C DE AGUA Y DE DOS FASES EN SUS TUBERIAS RESPECTIVAS, ASI COMO
 C LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO Y CALCULOS PRELIMINARES PARA LAS
 C ECUACIONES DE FLUJOS EN DOS FASES A TRAVES DE ORIFICIOS
 C CONVIRTIENDO LOS RESULTADOS AL SISTEMA INTERNACIONAL

C EL PROGRAMA NECESITA DE LOS SIGUIENTES DATOS:

- C - NUMERO DE IDENTIFICACION (ADIMENSIONAL)
- C 0 - SIGNIFICA QUE LEERA UN DATO
- C 1 - SIGNIFICA QUE CALCULE EL ERROR
- C Y LA DESVIACION ESTANDAR,
- C 2 - SIGNIFICA QUE HA TERMINADO DE
- C LEER LOS DATOS, MARCA EL FINAL.
- C - NUMERO DE EXPERIMENTO O PUNTO DE
- C PRUEBA (NEXP) (ADIMENSIONAL)
- C - PRESION ANTERIOR AL ORIFICIO
- C MEDIDOR DE VAPOR (PMV) (Psi)
- C - CAIDA DE PRESION DIFERENCIAL EN EL
- C ORIFICIO MEDIDOR DE VAPOR (HVV) (cm de Br)
- C - CAIDA DE PRESION DIFERENCIAL EN EL
- C ORIFICIO MEDIDOR DE AGUA (HVA) (cm de Br)
- C - PRESION A LA SALIDA DEL CODO DE
- C MEZCLA (PM) (Psi)
- C - DIAMETRO INTERIOR DE LA TUBERIA DE
- C DOS FASES (DT) (pulg)
- C - DIAMETRO DEL ORIFICIO DE PRUEBA
- C EXPERIMENTAL (DE) (pulg)
- C - PRESION ANTERIOR AL ORIFICIO DE
- C PRUEBA (PD) (Psi)
- C - CAIDA DE PRESION DIFERENCIAL EN EL
- C ORIFICIO DE PRUEBA (HWD) (cm de Br)

C ESTE PROGRAMA UTILIZA LAS SIGUIENTES SUBROUTINAS:

C * TSATP * PTST
 C * HSATM * VSATW
 C * SSATW

C PROGRAMA
 REAL KOL,K06,KO,KG,KL,K61,KL1,LANCAL,LANDA6,LANDA1,
 ILANDA2,KLM,KGM,KGM1,KLM1,KE,NUM1
 OPEN(UNIT=5,NAME='EXP.DAT',TYPE='OLD')
 OPEN(UNIT=7,NAME='EXP.RES',TYPE='NEW')
 OPEN(UNIT=1,NAME='EXP.RE1',TYPE='NEW')
 OPEN(UNIT=2,NAME='EXP.RE2',TYPE='NEW')
 OPEN(UNIT=3,NAME='EXP.RE3',TYPE='NEW')
 OPEN(UNIT=4,NAME='EXP.RE4',TYPE='NEW')

```

IHOJA=0
1  NEXP=0
    IRENGLON=0
    SUM1=0.0
    SUM2=0.0
    SUM3=0.0
    SUM4=0.0
    SUM5=0.0
    SUM6=0.0
    SRH1=0.0
    SRH2=0.0
    SRH3=0.0
    SRH4=0.0
    SRH5=0.0
    SRH6=0.0

5  READ(5,10)N,NEXP,DT,DE,PMV,PM,PO,HWV,HWA,HWF
10  FORMAT(I1,I4,2F7.4,3F11.2,3F7.4)
    IF(N.EQ.1)GO TO 1010
    IF(N.EQ.2)GO TO 1050
    IF(IRENGLON.EQ.0)GO TO 1000
    IF(IRENGLON.GE.25) GO TO 1000
    GO TO 25

1000 IHOJA=IHOJA+1
    IRENGLON=0
    WRITE(7,15)IHOJA
15  FORMAT(IH1,/,T54,'HOJA NUMERO ',I2,///,T54,
1'TABLA GENERAL',/,T10,'NEXP',T21,'DT',T30,'DE',
1T39,'BETA',T49,'PMV',T50,'PM',T71,'PO',T80,'HWV',T93,'HWA',T96,
1'HWF',T106,'X1',T113,'UGO',T119,'WLO',T126,'WDF0',/,
1T21,'(m)',T29,'(m)',T46,'(Pa abs)',T57,'(Pa abs)',T68,'(Pa abs)',
1T78,'(m-H2O)',T86,'(m-H2O)',T94,'(m-H2O)',T105,'(Z)',T111,'(Kg/s)',
1T119,'(Kg/s)',T125,'(Z)',/)
    WRITE(1,17)IHOJA
17  FORMAT(IH1,/,T25,'HOJA NUMERO ',I2,///,T3,'TABLA DE RESULTADOS UTILI
1ZANDO METODO DE MURDOCK (01)',/,T3,'NEXP',T10,'XDF1',T18,'WDF1',
1T26,'ERR2F',T33,'DEL2G1',T41,'DELLG1',T50,'EDH1',/,T10,'(Z)',
1T17,'(Kg/s)',T26,'(Z)',T51,/)
    WRITE(2,20)IHOJA
20  FORMAT(IH1,/,T25,'HOJA NUMERO ',I2,///,T3,
1'TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO EL METODO DE RUSSEL JAMES (02)',
1/,T3,'NEXP',T10,'XDF2',T18,'WDF2',T27,'ERR2',T33,'DEL2G2',T41,
1'DELG2',T50,'EDR2',/,T10,'(Z)',T17,'(Kg/s)',T27,'(Z)',T51,'(Z)',/)
    WRITE(3,23)IHOJA
23  FORMAT(IH1,/,T39,'HOJA NUMERO ',I2,///,T10,
1'TABLA DE RESULTADOS UTILIZANDO LOS METODOS DE ',/,/,
1T2,'BENJAMIN & MILLER (03)',T60,
1'CHISHOLM (04)',/,T2,'NEXP',T8,'WDF3',T17,'ERRM',T47,'DBFG',
1T57,'CCH',T67,'DBFL5',T76,'DCH',T82,'FDCHA',
1/,T7,'(Kg/s)',T20,'(Z)',T83,'(Z)',/)

```

```

WRITE(4,24)
24  FORHAT(1H1,T21,'No',/,T20,'DATO',/,T47,'RUSSEL',
    1/,T27,'EXP',T37,'MURDOCK',T47,'JAMES',T57,'CHISHOLM',/)

25  CONTINUE

C    ECUACION PARA CORREGIR EL ERROR DE LA LECTURA MANOMETRICA ( PH ).

    PH1=PH-1,419

C    CONVERSIONES.

    P1=PH1+11,3
    P2=PO+11,3
    P3=PHV+11,3
    HW=HWDF/2,54
    HWG=HWV/2,54
    HwL=HWA/2,54

C    CALCULO DE LAS PROPIEDADES DEL FLUIDO

    T1=TSATP(P1)
    HL1=HSATW(T1)
    CALL PTST(P1,T1,HV1,UV1,SV1)
    T2=TSATP(P2)
    HL2=HSATW(T2)
    CALL FTST(P2,T2,HV2,UV2,SV2)
    VL2=VSATW(T2)
    HL2=HV2-HL2
    SL2=SSATW(T2)
    DV=1,0/UV2
    DENL=1,0/VL2
    VISC0V2=0,0006*(2,59*1,0E-5*T2)
    VISC0L2=0,0239*10,0**((447,07/(T2+207,067)))
    VISC0V=VISC0V2*2,09*1,0E-5
    VISC0L=VISC0L2*2,09*1,0E-5
    T3=TSATP(P3)
    CALL PTST(P3,T3,H3,V3,S3)
    D3=1,0/V3
    VISC0G3=0,0006*(2,59*1,0E-5*T3)
    VISC0G=VISC0G3*2,09*1,0E-5

C    CALCULO DE LOS FLUJOS DE VAPOR Y AGUA.

C    CALCULO DE CONSTANTES Y VALORES INICIALES.

    DO=93,33
    DA=62,316
    HW1=HWG*((DO-EP)/DA)

```

```

HW2=HHL*(DD-DA)/DA
GR=32.2
BL=1.049
PG=3.068
DLEXP=0.7323
DGEXP=2.1457
KG=1.0
KL=1.0
EG=HW1*.036/P3
BETAG=DGEXP/DG
BETAL=DLEXP/BL
A0G=(3.1415926*DGEXP**2)/576.0
A0L=(3.1415926*DLEXP**2)/576.0
Y3=1.-(0.41+0.35*BETAG**4)*EG/1.3
A1=0.6014-(0.01352/DG**0.25)
B1=0.376+(0.07257/DG**0.25)
C1=0.00025/((DG**2*BETAG**2)+0.0025*DG)+BETAG**4+(1.5*BETAG**16)
K0G=A1+(B1*C1)
F1=0.0002+(0.0011/DG)
G1=0.0038+(0.0004/DG)
H1=BETAG**2+(16.5+(5.0*DG))*BETAG**16
B0G=F1+(G1*H1)
A2=0.6014-(0.01352/DG**0.25)
B2=0.376+(0.07257/DG**0.25)
C2=0.00025/((DG**2*BETAL**2)+0.0025*DL)+BETAL**4+(1.5*BETAL**16)
K0L=A2+(B2*C2)
F2=0.0002+(0.0011/DL)
G2=0.0038+(0.0004/DL)
H2=BETAL**2+(16.5+(5.0*DL))*BETAL**16
B0L=F2+(G2*H2)
VISC0A=2.09*1.0E-5

```

C a). - VAPOR.

```

JCG=0
100 KGI=KG
WG=358.9272*KG*Y3*DGEXP**2.*SQRT(HW1*DG)
RDG=0.004244*WG/(DG*GR*VISC0G)
LANDAG=1000.0/SQRT(RDG)
KG=K0G+B0G*LANDAG
JCG=JCG+1
IF(JCG,EQ,50)GO TO 105
Q1=ABS(KGI-KG)
IF(Q1.GT,0.005)GO TO 100

```

C b). - AQUE.

```

105 CONTINUE
JCL=0
110 KLI=KL
WL=358.9272*KL*DLEXP**2 *SQRT(HW2*DL*PG)

```

```

RDL=0.004244*WL/(DL*GR*VISCDA)
LANDAL=1000.0/SQRT(RDL)
KL=KOL+BOL*LANDAL
JCL=JCL+1
IF(JCL.EQ,50)GO TO 120
Q2=ABS(KL1-KL)
IF(Q2.GT,0.005)GO TO 110

```

C CALCULOS PRELIMINARES

```

120 WL=WL*1.3
    BETA=DE/DT
    W=WL+WG
    X1=WG/W
    AO=(3.1415926*DE**2)/576.0
    HW3=HW*((DO-DA)/DA)

```

C METODOS DE CALCULO PARA FLUJO EN DOS FASES (CLAVE)

C METODO DE MURDOCK (01)

C CALCULO DE LA CALIDAD DEL VAPOR POR EL METODO ISOENTALPICO,
C Y CONSTANTES INICIALES.

```

WGI=WG
WLI=WL
FA=1.005
HLV1=HV1-HL1
H1=HL1+X1*HLV1
XDFI=(H1-HL2)/HLV2
Y=1.0-XDFI
YG=0.999
A=0.6014-(0.01352/DT**0.25)
B=0.376+(0.07257/DT**0.25)
C=0.00025/((DT**2*BETA**2)+0.0025*DT)+BETA**4+(1.5*BETA**16)
K0=A+(B*C)
F=0.0002+(0.0011/DT)
G=0.0038+(0.0004/DT)
H=BETA**2+(16.0+(5.0*DT))*BETA**16
BO=F+(G*H)
KLM=1.0
KGM=1.0

```

C CALCULO DE LOS FLUJOS BASICOS DE VAPOR Y AGUA.

```

    JLI=0
    JGI=0
230 KGM1=KGM
    RDGI=0.004244*WGI/(DT*GR*VISCOV)
    LANDA1=1000.0/SQRT(RDGI)
    KGM=K0+(BO*LANDA1)
    S=(1.26*Y*KGM*YG/KLM)*SQRT(DV/DENL)

```

```

RHWG=SQRT(HW3)/(1.0+S/(1.0-Y))
WGI=359.0*KGM*YG*FA*DE**2*RHWG*SQRT(DV)
EI=RHWG**2*0.036/P2
YG=1.0-(0.41+0.35*BETA**4)*EI/1.3
JGI=JGI+1
QI1=ABS(KGM1-KGM)
RHWL=(SQRT(HW3)-RHWG)/1.26
KLM1=KLM
RDLI=0.004244*WLI/(DT*GR*VISCOL)
LANDA2=1000.0/SQRT(RDLI)
KLM=K0+(B0*LANDA2)
WLI=359.0*KLM*FA*DE**2*SQRT(DENL)*RHWL
JLI=JLI+1
IF(JGI,EQ,50)GO TO 260
IF(JLI,EQ,50)GO TO 260
QI2=ABS(KLM1-KLM)
IF(QI1,GT,0.005)GO TO 230
IF(QI2,GT,0.005)GO TO 230

```

260 CONTINUE

C CALCULO DEL FLUJO MASICO EN DOS FASES.

```

NUM1=359.0*KGM*YG*FA*DE**2*SQRT(HW3*DV)
WDFI=NUM1/((1.0-Y)+S)

```

C CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LOCKHART-MARTINELLI.

```

DEL2G1=SQRT(HW3)/RHWG
DELLG1=RHWL/RHWG

```

C CALCULO DE ERRORES.

```

ERR2F=((WDFI-W)/W)*100.0
DDFREG=SQRT(HWDF/HWV)
EDM1=(DEL2G1-DDFREG)/DDFREG*100.0

```

C METODO DE RUSSEL JAHES (02)

```

PHITP=HW*1.102
E3=HW3*0.036/P2
XM=XDFI**1.5
YTP=1.0-(0.41+0.35*BETA**4)*E3/1.3
Z1=154.3*DE**2*YTP/SQRT(1.-BETA**4)
Z2=PHITP/(XM*(VV2-VL2)+VL2)
WRJ=Z1*SQRT(Z2)

```

C CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LOCKHART-MARTINELLI.

```

DE2G2=(1.0/WDFI)*SQRT((XM**VV2+(1.0-XM)*VL2)/VV2)
DELG2=((1.0-XDFI)/XDFI)*SQRT(VL2/VV2)

```

C CALCULO DE ERRORES.

ER2=((WRJ-W)/W)*100,0
EDR2=((DE262-DDFREG)/DDFREG)*100,0

C METODO DE BENJAMIN & MILLER (03)

DELP=HW3*.036
AA=1,413797-(0,002437*DELP)
FI=SQRT(DELP/((XDFI**AA*(V2-VL2))+VL2))
WBW=58,7427*FI*3500,0

C CALCULO DEL ERROR.

WBW1=WBW*10
ERBW=((WBW1-W)/W)*100,0

C METODO DE CHISHOLM (04)

ACH=(VL2/VV2)**0,5
DCH=(1,0-0,5*(1,0-ACH**2)**0,5)*(ACH+1,0/ACH)
DCH=DELLG1
DEFL5=1,0+DCH/DCH+1,0/DCH**2
DRFG=DCH*SQRT(DEFL5)

C CALCULO DEL ERRORES.

EDCH4=((DRFG-DDFREG)/DDFREG)*100,0

C CONVERSIONES DE LOS RESULTADOS.

C A) GENERALES.

W60=WC*0,000126
WL0=WL*0,000126
WF0=WF*0,000126
FH0=PI*6894,757
PE0=PE*6894,757
FHV0=PI*6894,757
X10=X1*100,0
DT0=DT*0,0254
DEX0=EX*0,0254
HVD=HV*0,0254
HAF=HA*0,0254
HVD0=HV*0,0254
FHU1=SQRT(FH1)

C E) MURDOCK

XDF1=XDFI*100,0
WB1=WB*0,000126

U11=ULI#0,000126
 U051=UDF#0,000126
 F001=(R#V0#0),0,0254
 F011=(R#U0#0),0,0254
 F021=H#U#0,0254
 T001=300T,UV3

C C1 SUBSEEL JAMES.

U001=ULI#0,000126
 U002=ULI#0,000126
 U003=ULI#0,000126
 U004=ULI#0,000126

C C2 BERNARD E. HILLER.

U007=ULI#0#0,000126

C C3 CONTIENS DE LAS TABLAS DE RESULTADOS.

WRITE(7,4,1)ANTYF,BTO,DEXO,BETA,PHV0,PK0,P00,
 100=H#0,UDF#0,X10,W30,WL0,UDF0
 400 FORMAT(1X,10,1,3F9.4,3F11.2,3F8.4,F9.2,3F7.3,/)

410 WRITE(7,4,2)XEF1,UDF1,ERR2F,DEL2G1,DELLG1,EDM1
 410 FORMAT(1X,10,1,3F9.4,2F8.4,F8.2,/)

420 WRITE(7,4,3)XDF2,UDF2,ER2,DE2G2,DELG2,EDRJ2
 420 FORMAT(1X,10,1,3F9.4,2F8.4,F8.2,/)

430 WRITE(7,4,4)XDF3,ERR3,DDFG,CCH,DDFL5,DCH,EDCH4
 430 FORMAT(1X,10,1,3F9.4,2F8.4,2X,F8.4,
 1F8,1X,2F8.4,2F8.4,F8.2,/)

440 WRITE(4,1)XDF2,DE2G2,DDFG
 440 FORMAT(1X,21,1F10.4)

C C4 CALCULO DE DERIVADAS.

~~BA1=UDF1-UDF0~~
~~BA2=UDF2-UDF0~~
~~BA3=UDF3-UDF0~~
 BA4=ERR1/100.0
 BA5=ERR2/100.0
 BA6=ERR3/100.0
 ERR1=ABS(BA1*100.0)
 ERR2=ABS(BA2*100.0)
 ERR3=ABS(BA3*100.0)
 ERR4=ABS(P#0#0,00)
 ERR5=ABS(P#0#0,00)
 ERR6=ABS(BA6*100.0)
 SUM1=SUM1+ERR1
 SUM2=SUM2+ERR2
 SUM3=SUM3+ERR3

```

SUM4=SUM4+ERR4
SUM5=SUM5+ERR5
SUM6=SUM6+ERR6
AA1=BA1**2
AA2=BA2**2
AA3=BA3**2
AA4=BA4**2
AA5=BA5**2
AA6=BA6**2
SRM1=SRM1+AA1
SRM2=SRM2+AA2
SRM3=SRM3+AA3
SRM4=SRM4+AA4
SRM5=SRM5+AA5
SRM6=SRM6+AA6
IRENGLON=IRENGLON+1
NEX=NEXP
GO TO 5

```

1010 CONTINUE

C CALCULO ESTADISTICO DE LA DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA
C Y VALOR MEDIO DEL ERROR.

```

SSRMS1=SQRT(SRM1/NEX)
SSRMS2=SQRT(SRM2/NEX)
SSRMS3=SQRT(SRM3/NEX)
SSRMS4=SQRT(SRM4/NEX)
SSRMS5=SQRT(SRM5/NEX)
SSRMS6=SQRT(SRM6/NEX)
SSUM1=SUM1/NEX
SSUM2=SUM2/NEX
SSUM3=SUM3/NEX
SSUM4=SUM4/NEX
SSUM5=SUM5/NEX
SSUM6=SUM6/NEX

```

```

WRITE(1,1020)SSUM1,SSRMS1,SSUM4,SSRMS4
1020 FORMAT(//,T22,'CALCULO ESTADISTICO',//,T10,'VALOR MEDIO DEL ERROR
1 Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA',//,T15,'SUMA= ',F6.2,'/ ',T15,'
SSRMS1= ',F6.2,'/ ',T15,'SSUM4= ',F6.2,'/ ',T15,'SSRMS4= ',F6.2,'/
WRITE(2,1035)SSUM2,SSRMS2,SSUM5,SSRMS5
1035 FORMAT(//,T22,'CALCULO ESTADISTICO',//,T10,'VALOR MEDIO DEL
1 ERROR Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA',//,T15,'SUMA= ',F6.2,'/ ',
T15,'SSUM2= ',F6.2,'/ ',T15,'SSUM5= ',F6.2,'/ ',T15,'SSRMS2= ',F6.2,'/
WRITE(3,1045)SSUM3,SSRMS3,SSUM6,SSRMS6
1045 FORMAT(//,T22,'CALCULO ESTADISTICO',//,T10,'VALOR MEDIO DEL
1 ERROR Y DESVIACION FRACCIONARIA MEDIA',//,T15,'SUMA= ',F6.2,'/ ',
T15,'SSUM3= ',F6.2,'/ ',T15,'SSUM6= ',F6.2,'/ ',T15,'SSRMS3= ',F6.2,'/
1F6.2)
GO TO 1

1050 STOP
END

```

8.4.3 RECOMENDACIONES PARA LA EXPERIMENTACION FUTURA.

- 1.- Se recomienda medir en el punto máximo de la fluctuación y verificar tres veces o más la lectura efectuada cuando se experimenta con flujo pulsante.
- 2.- La relación β para orificios de medición debe encontrarse entre los valores $0.5 < \beta > 0.8$ procurando no utilizar los límites.
- 3.- Es preferible que la experimentación y la lectura de datos se efectúe con tres personas, para agilizar los movimientos de las válvulas, minimizar errores y poder efectuar la medición en el mismo instante reduciendo el tiempo para cada experimento.
- 4.- Se recomienda experimentar con presiones de $30\text{psi} < P > 100\text{psi}$ para obtener información en una región donde no existe en la literatura. (Esto se logra abriendo lo más posible la -- válvula que controla al vapor.)
- 5.- Cada vez que se cambie de placa de orificio o de diámetro de tubería, se recomienda calibrar y probar los medidores. Esto se puede ver en el capítulo 8 inciso 8.2.3.
- 6.- Si se quiere trabajar con flujos mayores de vapor (utilizando los dos generadores de vapor existentes en el laboratorio) y de dos fases, cambiar el bromobenceno de los medidores por mercurio para poder medir diferenciales mayores.
- 7.- En caso de pretender utilizar el generador de vapor marca-Clayton para la experimentación indagar si ya le ha sido -- instalada la bomba de alta presión que requiere para su -- buen funcionamiento, ya que la descarga de la mezcla de -- dos fases se hace en el tanque de agua atmosférico que ---

---suministra el agua tratada a dicho generador.

8.- Para obtener mayor variación en la calidad de la mezcla se puede probar como diámetro para la tubería de prueba de 2-pulgadas restringiendo al flujo en dos fases, reduciendo el área que tendrán que llenar el vapor y el agua.

Otra solución sería instalar una bomba de mayor capacidad 2 pulgadas de diámetro, pero esto provocaría un mayor costo al proyecto.