CAPITULO 3

3. DESCRIPCIÓN DEL POROSÍMETRO

En el presente capitulo se describen las características de los componentes principales que conforman el porosimetro de helio, como son:

Indicador digital de presión,
Transductor de presión,
Pesos calibrados.

Además su calibración, necesaria para obtener un parámetro estándar de referencia en el desarrollo de la prueba.

3.1 Indicador digital de Presión.

Modelo 300G con representación visual por diodos emisores de luz (LED).

Características

☑ Provisto de un enchufe para conexión con el cable del transductor en su panel posterior.

☑ Caja pequeña de banco portátil.

☑ Proporciona excitación al transductor y lectura digital.

Configuración típica del sistema

El 300G incluye fuente de alimentación, medidor y ajuste del cero, así también una conexión a un **transductor de presión** cercanamente localizado y conexión a corriente AC, requeridos para su normal operación.

Especificaciones:

TABLA 3.1.1

DESPLIEGUE EN PANTALLA DPI

Tipo	LED (diodos emisores de luz)
Color	rojo
Estatura de dígitos	0.56 in
Máxima lectura del instrumento	±19999
Tasa de lectura del instrumento	2 por segundo
Señal de sobrecarga o carga	dígitos intermitentes
Señal de polaridad	negativa solamente
Brillo	constante

TABLA 3.1.2

PARÁMETROS FÍSICOS DPI

Temperatura de trabajo	32º a 130ºf (0º to 55°c)
Temperatura de almacenamiento	-40º a 185t (-40° to 85ºc)
Ancho	9.125 in
Altura	3.375 in
Profundidad (incluyendo conector)	9 in
Humedad relativa	0 a 80%

TABLA 3.1.3

PRECISIÓN (LECTURA SOLAMENTE)

a 73ºF (23ºc)	±0.01 %R ±1
de 60ºF hasta 95ºF (16°C a 35ºC)	±0.04%R ±1 dígitos

TABLA 3.1.4

ELÉCTRICO DPI

voltaje /frecuencia de corriente alterna (1)	115vac ±10%, 50/60 Hz
poder de corriente alterna	7 watts nominal
longitud del cordón de	5 pies (aprox.)
El montaje distanciado (2)	2 pies (longitud estándar del cable en la mayoría de Transductores de presión SETRA)

TABLA 3.1.5

RESULTADOS ANALÓGICOS DPI

Idéntico como el voltaje de salida del transductor. (Normalmente 0 a 5 vdc para la presión unidireccional o los rangos de vacío. 0 a ± 2.5 vdc para los rangos bidireccionales).

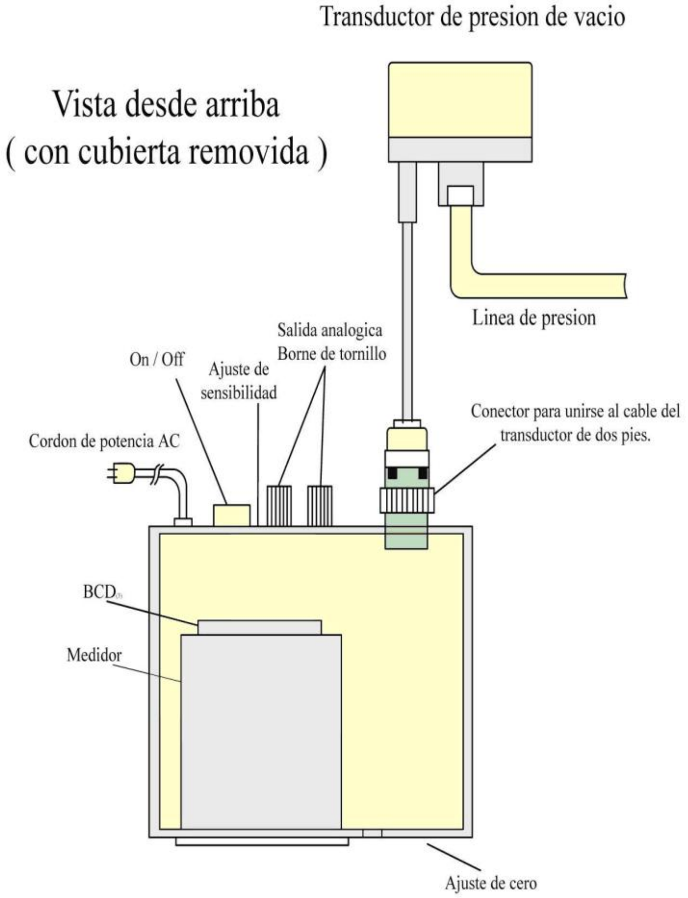

FIGURA. 3.1.1 VISTA DESDE ARRIBA DE CONEXIÓN DEL INDICADOR DIGITAL DE PRESIÓN CON EL TRANSDUCTOR.

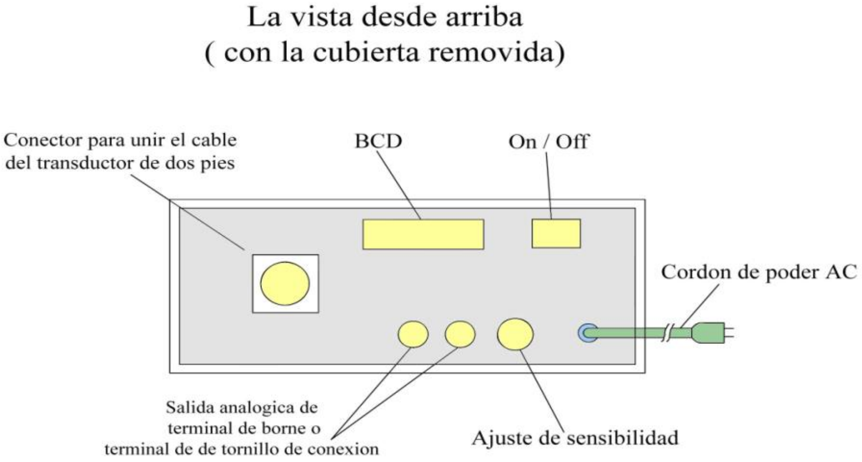

FIGURA. 3.1.2 VISTA DESDE ARRIBA DEL INDICADO DIGITAL DE PRESIÓN CON LA CUBIERTA REMOVIDA.

Instrucciones operativas.

1.- Instale el transductor de presión con el indicador digital de presión Modelo 300G.

2.- Enchufe el conector del cable del transductor en el receptáculo provisto en el panel trasero del DPI. Un cable extensión puede ser usado si es necesario. Advierta que el cable del transductor provee excitación para el transductor desde un suministro de poder provisto en el DPI.

3.- La información del conector es como sigue:

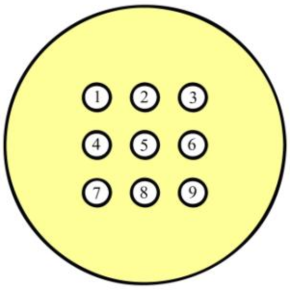

FIGURA. 3.1.3 DIAGRAMA DEL CONECTOR TRANSDUCTOR CON EL INDICADOR DIGITAL DE PRESIÓN.

TABLA 3.1.6

INFORMACION DEL CONECTOR "TRANSDUCTOR - DPI"

Pin No.	Función del cable	Modelo 204
1	salida negativa	Café
2	calibración remota	*rojo
3	excitación negativa / protector (shield)	negro /protector (shield)
4	cero remoto	Naranja
5	cero remoto	Verde
6	sensibilidad remota	*violeta
7	excitación positiva	Blanco
8	sensibilidad remota	*azul
9	salida positiva	Amarillo

*Utilizado si el transductor incluye la sensibilidad remota o las opciones de control de calibración. De lo contrario, estos pines pueden estar sin utilizar.

4.- Enchufe el cordón DPI dentro de 117Vac ± 10 % 60 Hz la fuente de poder y el interruptor de "poder" localizado en el panel trasero para aplicar poder al sistema. Permita al menos 15 minutos para que el transductor y el DPI puedan precalentarse antes de tomar lecturas. Después del precalentado, si en la pantalla aparece el valor de presión diferente de 0000, ajuste el cero determinando del transductor usando el "ajuste de cero" control en el panel frontal del DPI o usando el dispositivo de control correcto localizado en el panel de circuito del transductor (con el punto decimal en su posición fija preajustada).

5.- La sensibilidad del transductor puede ser ajustada usando el potenciómetro ubicado en la parte posterior del case del DPI.

6.- La salida analógica de voltaje del sistema está disponible para el uso con un indicador, registrador, u otra carga externa sin conexión a tierra teniendo una impedancia de 5000 ohms o mayor.

7.- La recalibración del sistema de medición de presión en el modelo 300G DPI puede ser realizado siguiendo el método esquematizado en estas instrucciones.

8.- Cada modelo 300G DPI es calibrado con un transductor de presión, dependiendo de las características para su uso. Otros transductores con el mismo rango y salida pueden ser reemplazados sin pérdida significativa de precisión.

Instalación y procedimiento de calibración del indicador digital de presión (0 hasta 5 VDC)

El DPI modelo 300G es un indicador versátil de presión y puede ser fácilmente remodificado a escala de lectura deseada. Quite el bisel (marco frontal) delantero y la cubierta de arriba del 300G. Aquí adentro usted verá un indicador con ajustes de precisión para; selección decimal, selección de rango, cero, controles gruesos y finos de intervalo (ver Figura 3.1.4).

A.) Ajuste de cero

1.) Asegure 0 voltios a través de pines 3 y 2 en la parte posterior del conector interno de la terminal del medidor.

2.) Ajuste a R10 (cero) para una lectura de "0000".

B.) Ajuste de intervalo

1.) Programe switch del DPI (**SW 1**) para la escala de lectura total deseada (**vea Tabla 3.1.7**), si la escala completa deseada de lectura fuera 5.546 (ignore punto decimal), el siguiente arreglo:

SW 1-1: Abajo, **SW 1-2:** Arriba, **SW 1-3:** Abajo, y **SW 1-4:** Abajo.

2.) Aplique energía de entrada +5.000 vdc a través de pines 3 y 2.

3.) Ajuste a R107 para un intervalo grueso leyendo la escala completa ± 20 conteos.

4.) Ajuste a R12 para un intervalo fino leyendo la escala completa ± 1 conteo.

C.) Selección decimal

1.- Seleccione punto decimal correcto con switch del DPI (**SW 2**).

Cuidado: No fije más de un punto decimal a la vez. Desactive punto decimal antes de seleccionar nuevo punto decimal.

Después de asegurar energía AC no aplique para medir, conecte transductor de presión en pines 2, 3, 4, 5.

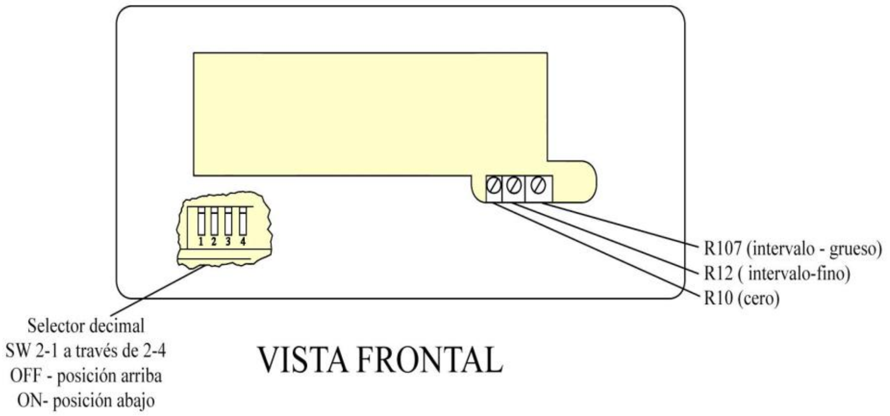

FIGURA 3.1.4. VISTA FRONTAL DEL INDICADOR DE PRESION DIGITAL CON LA CUBIERTA REMOVIDA

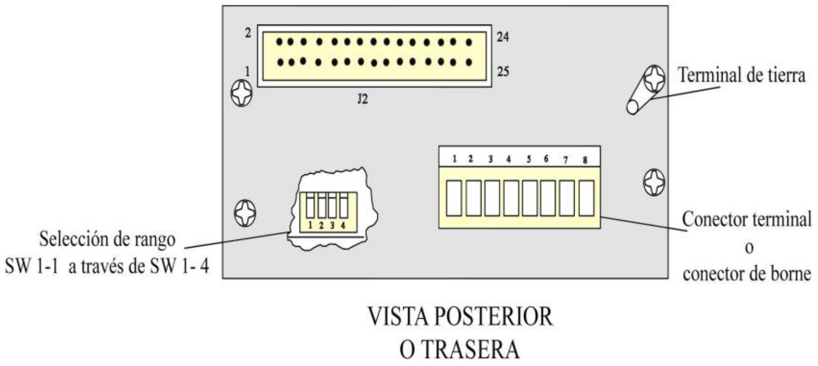

FIGURA 3.1.5. VISTA POSTERIOR DEL INDICADOR DE PRESION DIGITAL CON LA CUBIERTA REMOVIDA

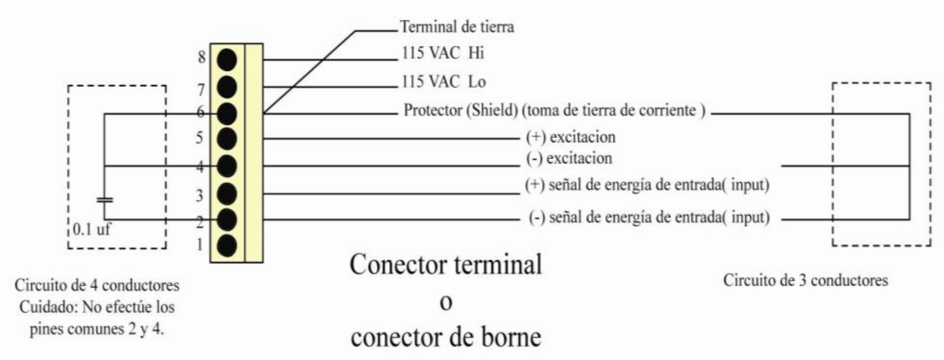

FIGURA 3.1.6. CONEXIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Procedimiento de conexión del transductor (4 conductores):

Conecte el cable del protector del transductor a la (-) excitación, el pin 4. Conecte a tierra la (-) excitación a la tierra de poder conectando un alambre del puente entre pines 4 y 6.

Para la supresión mejorada de ruido, conecte un capacitor de 0.1 uf a través de pines 2 y 4. (Estos son ahora preinstalado en la fábrica).

Cuidado:(-) excitación y (-) señal (pines 2 y 4) no debe ser común sobre un circuito de 4 conductores. El daño para el transductor u operación poco satisfactoria resultaría.

TABLA 3.1.7

SELECCIÓN DE RANGO PARA EL INDICADOR DIGITAL DE PRESIÓN

				Lectura		
				R-12 completo CCW		
				R-107		R-107
				Completo		Completo
SW 1-1	SW 1-2	SW 1-3	SW 1-4	CCW		CW
down	down	down	down	0	→	2200
up	down	down	down	2200	→	4200
down	up	down	down	4200	→	6000
up	up	down	down	6000	→	7600
down	down	up	down	7600	→	9200
up	down	up	down	9200	→	10600
down	up	up	down	10600	→	12000
up	up	up	down	12000	→	13400
down	down	down	up	13400	→	14400
up	down	down	up	14400	→	15500
down	up	down	up	15500	→	16500
up	up	down	up	16500	→	17500
down	down	up	up	17500	→	18400
up	down	up	up	18400	→	19200
down	up	up	up	19200	→	20100

Estos valores son únicamente para ajustes gruesos de sensibilidad únicamente. Debería usarse para ponerle cerca a su resultado completo de escala.

3.2 Transductor de presión.

La palabra "transductor" en el sentido de metrología significa "elemento sensor", en Acústica significa "elemento excitador".

Un transductor es un equipo que traduce una señal mecánica (presión, velocidad, posición, etc) a una eléctrica (tensión, corriente o impedancia), por lo que puede entenderse como un convertidor.

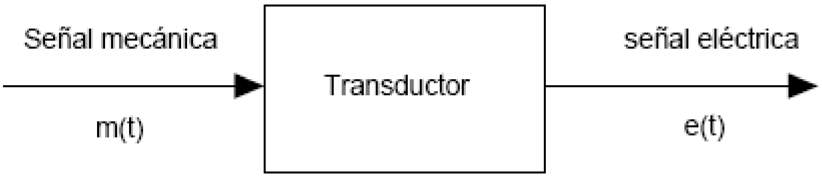

FIGURA 3.2 ESQUEMA DE UN TRANSDUCTOR

Los transductores de presión son sensores que transforman la presión de un medio en señal eléctrica para su posterior análisis. La medición de la presión puede realizarse empleando diversos principios físicos, algunos de ellos son:

Bombardeo molecular sobre lámina muy fina.

Chips sensores de presión.

Acelerómetros de tecnología integrada.

Tecnología integrada piezoresistiva.

El transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivos de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida.

Los transductores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son:

Transductores analógicos

Transductores digitales

Los **transductores analógicos** proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los **transductores digitales** producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos.

Características deseables de los transductores

Exactitud

La exactitud de la medición debe ser tan alta como fuese posible. Se entiende por exactitud que el valor verdadero de la variable se pueda detectar sin errores sistemáticos positivos o negativos en la medición. Sobre varias mediciones de la variable, el promedio de error entre el valor real y el valor detectado tendera a ser cero.

Precisión

La precisión de la medición debe ser tan alta como fuese posible. La precisión significa que existe o no una pequeña variación aleatoria en la medición de la variable. La dispersión en los valores de una serie de mediciones será mínima.

Rango de funcionamiento

El sensor debe tener un amplio rango de funcionamiento y debe ser exacto y preciso en todo el rango.

Velocidad de respuesta

El transductor debe ser capaz de responder a los cambios de la variable detectada en un tiempo mínimo. Lo ideal sería una respuesta instantánea.

Calibración

El sensor debe ser fácil de calibrar. El tiempo y los procedimientos necesarios para llevar a cabo el proceso de calibración deben ser mínimos. Además, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se aplica con frecuencia para indicar la pérdida gradual de exactitud del sensor que se produce con el tiempo y el uso, lo cual hace necesaria su recalibración.

Fiabilidad

El sensor debe tener una alta fiabilidad. No debe estar sujeto a fallos frecuentes durante el funcionamiento.

Este transductor de presión tiene un rango de 0 a 5 VDC de salida, funciona en conjunto con su propio transmisor de presión a un rango de 4 a 20 mA de salida

Instalación e información general.

El transductor/transmisor, fue calibrado en conjunto con el medidor digital de presión para obtener una óptima lectura, por lo tanto debe ser manipulado con el mismo cuidado dado como a cualquier instrumento de precisión.

Condiciones del ambiente

No sumerja en líquidos, no use en condiciones de ambiente corrosivo para aluminio anodizado, sometido a aerosol o goteado, o use en un ambiente de alta vibración. El transductor/transmisor es muy sensitivo a la aceleración respecto a su eje de ajuste de presión. Se recomienda la instalación en posición vertical, con el puerto de presión hacia abajo. Esta posición minimiza daño de escurrimiento - goteo (drippage) de sistema de presión de la tubería.

Instalación y ajustes de presión

El transductor está diseñado para una operación más precisa cuándo es utilizado a presiones dentro del rango designado.

Recuerde no efectúe sobre presión.

Información eléctrica para transductores de presión de excitación estándar 24 VDC (nominal).

TABLA 3.2.1

CONEXIONES DEL TRANSDUCTOR

Cable conductor	Función
Blanco	Excitación positiva
Amarillo	Salida positiva
Cafe	Salida negativa
Negro	Excitación negativa - (hacia tierra del circuito)
Case	Protector **(Cubierta metálica que encierra al circuito) (shield)**

Eléctrico.- El circuito eléctrico es equivalentes para una red de 4 conductores, la cual puede ser conectado a tierra en solamente un punto, ya sea en la excitación o el cable de señal negativa de salida, no debe ser conectado a tierra en más de un punto.

El transductor de presión debe ser operado con el case conectado ya sea para la terminal negativa de excitación o para la terminal de salida negativa. El fracaso en hacer esto puede resultar en daño o la operación poco satisfactoria de la unidad. Esta conexión puede estar hecha conectando el shield y conductores negros (excitación negativa) o alternativamente por conectar el shield y conductores cafés (salida negativa) juntos.

La óptimo protección (Shielding) contra el ruido será obtenido conectando el protector (shield) y conductores de excitación negativa (negro) .

Ajustes para transductores de presión y transmisores en cero y sensibilidad (cubierta debe ser removida)

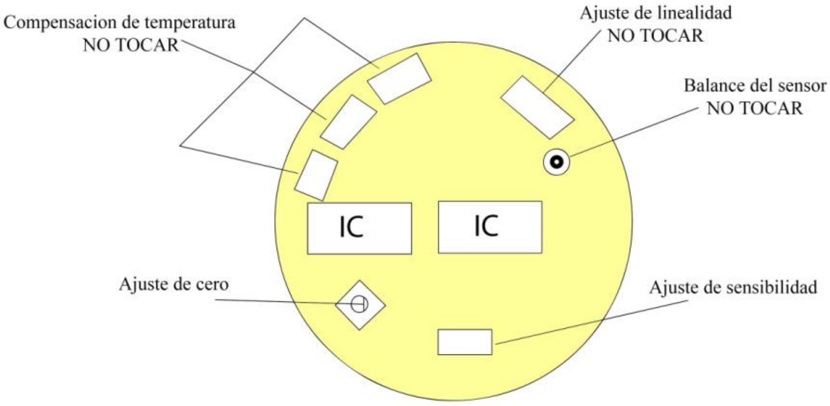

FIGURA 3.2.1 DIAGRAMA DE AJUSTE PARA EL TRANSDUCTOR CON LA CUBIERTA REMOVIDA.

Cuidado: Desactive energía de excitación durante la extracción de la cubierta o reemplazo

La salida de presión de cero - Puede ser ajustada para poner en cero con el potenciómetro como se muestra en la Tabla 3.1.7. La fábrica ajustó la unidad a una salida de cero (± 10 mV).

La sensibilidad (intervalo) - Puede ser ajustado por potenciómetro como es mostrado en la Tabla 3.1.7.

La linealidad - **NO TOQUE**

La fábrica ajustó para la mejor linealidad. El cambio de cualquier ajuste fuera de la salida cero o la sensibilidad puede necesitar recalibración.

Nota: La corrección de sensibilidad (probador de peso muerto, etc. (el intervalo) no es recomendada salvo un estándar primario de presión.) Está disponible para el uso como una referencia.

Los ajustes para transmisores de presión de salida (la cubierta debe ser removida).

La salida de presión de cero - la salida de cero puede estar ajustada ± 0.2 mA alrededor de 4 mA nominal. El ajuste del cero es el potenciómetro mostrado en el diagrama. Cambiar cero no se modificará el intervalo.

La sensibilidad (el intervalo) - La sensibilidad puede estar ajustada aproximadamente ±5mA de 16mA nominal del intervalo completo de escala.

3.3 Pesos calibrados

Los pesos calibrados son discos de acero cuyas dimensiones son conocidas, se utilizan en la calibración del volumen de referencia, valor que esta incluido durante la expansión del gas Helio en el sistema del porosímetro, este valor servirá posteriormente en los cálculos de la porosidad.

El diámetro de los discos a utilizarse depende de la cámara porta núcleo (1 in o 1.5 in), cada uno tiene diferentes longitudes, por lo cual en conjunto llenan por completo la cámara porta núcleo, pues se efectúa una expansión de gas Helio en conjunto con el núcleo muestra, esto se realiza variando la combinación de núcleo muestra con los discos, siempre procurando tener lleno casi por completo la cámara porta núcleo, para posteriormente realizar la correspondiente expansión.

Existen dos tipos de discos dependiendo del diámetro de la cámara porta núcleo, en este caso existen dos cámaras porta núcleo, de 1 y 1.5 in de diámetro, para determinar la porosidad de estos dos tipos de núcleos muestra.

Dimensiones:

TABLA 3.3.1

CARACTERÍSTICAS DISCOS 1 IN DE DIÁMETRO

Nombre	Longitud (cm.)	Peso (g)	Volumen(cc)
A	0.3	13,1	1.5201224
B	0.65	26,4	3.2935986
C	1	39,5	5.0670748
D	1.3	52,7	6.5871972
E	3.2	131,4	16.2146397

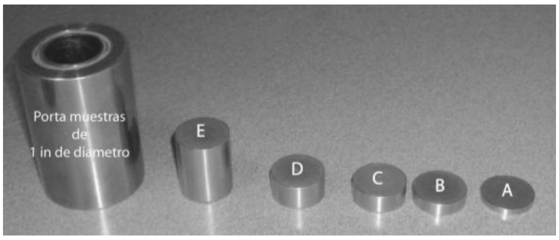

FIGURA 3.3.1 DISCOS DE CALIBRACION DE 1in

TABLA 3.3.2

CARACTERÍSTICAS DISCOS DE 1.5 IN DE DIÁMETRO

Nombre	Longitud (cm.)	Peso(g)	Volumen(cc)
A	0.3	29,4	3.4202754
B	0.65	58,6	7.4105968
C	1	88	11.4009182
D	1.3	117,2	14.8211937
E	3.2	293,7	36.4829384

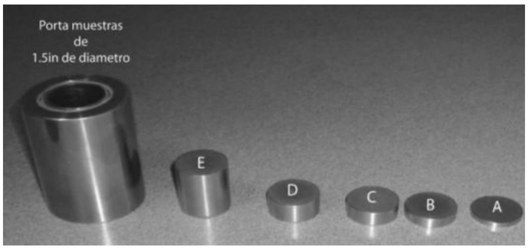

FIGURA 3.3.2 DISCOS DE CALIBRACION DE 1.5 in

TABLA 3.3.3

DIMENSIONES DE LAS CÁMARAS PORTA NÚCLEO

Cámara porta núcleo	Diámetro interno (in)	Diámetro externo (in)	Longitud interna (in)	Longitud externa (in)
# 1	1	2	2.51	2.87
# 2	1.5	2	2.51	2.87

FIGURA 3.3.3 CÁMARA PORTA NÚCLEO #1

FIGURA 3.3.4 CÁMARA PORTA NÚCLEO # 2

3.4 Calibración del Equipo.

La muestra del núcleo es colocada en una cámara de retención de acero (cámara porta núcleo) y luego presurizada con gas (usualmente helio, nitrógeno, o aire) a una presión conocida y registrada por un sistema de medición de presión digital.

Se permite al gas expandirse dentro de un volumen que será calibrado (volumen referencia), el cual se efectúa en las dos primeras expansiones.

Esto es ejecutado mediante la combinación del núcleo muestra con los discos de calibración dentro de la cámara porta núcleo, cada vez registrando la presión de ingreso al sistema y de la presión de equilibro al expandirse el gas dentro del sistema.

A partir de la tercera expansión del gas se procede a la determinación del volumen de los granos, cuyo procedimiento se basa en la ley de Boyle y se usa el gas para penetrar en los poros más finos del núcleo muestra de roca.

Este volumen es determinado por la expansión del Helio a temperatura constante.

La Ley de Boyle indica lo siguiente:

$$PV = \text{Constante} \quad \text{Ec.}(3.4.0)$$ (a temperatura constante)

El helio es un gas que tiene un tamaño muy pequeño y una gran capacidad de penetración en la gran mayoría de poros y micro-fisuras de la roca, aproximadamente de 10^{-10} m, a bajas actúa como un gas ideal presiones (bajo 100 Psig). El helio tiene la particularidad de no adherirse a las paredes de la muestra y porta núcleo muestra.

Para determinar el volumen de los granos, se necesita calibrar el volumen de referencia, lo cual equivale a la calibración del equipo, que será descrita a continuación:

3.4.1 Procedimiento de calibración del equipo.

La calibración del equipo esta dividida en dos grupos:

I. Calibración de los dispositivos de medición (transductor de presión y medidor digital de presión).

II. Calibración del sistema del porosimetro.

I.- Calibración de los dispositivos de medición (transductor de presión y medidor digital de presión).

Para realizar la correspondiente recalibración es necesario tener acceso a un Estándar de Presión Primario de precisión por dentro de ±0.01% y un dispositivo de percepción de voltaje con en la resolución mínima del 0.001VDC y la exactitud del %± 0.01

Las instrucciones para realizarla son:

1.- Conecte el transductor de presión y el Indicador Digital de Presión como descrito en las Instrucciones Operativas. Conecte el voltaje indicando dispositivo a la salida analógica del transductor usando los conectores analógicos de salida en el panel trasero del Modelo 300G. Encienda poder y permita por lo menos 15 minutos de calentamiento gradual. Registre la salida de presión de cero.

2.- Desactive poder y remueva la cubierta del transductor para proporcionar acceso para el tablero del circuito del transductor. Encienda poder y note que la salida de cero ha cambiado. Registre este cambio de salida de cero y permita eso durante el más trabajo de recalibración cuándo la cubierta está fuera. (Cuando la cubierta es reemplazada, la salida de cero volverá a cambiar la misma cantidad de cambio.) Usando el diagrama esquemático provisto con el transductor localizan los controles de ajuste para cero, sensibilidad, y linealidad.

Si los componentes del tablero del circuito aparte de esos mencionasen arriba es alterado durante la recalibración del campo, devuélvalos inmediatamente a su original ajuste.

3.- Inspeccione el Certificado de Calibración provisto con el sistema para determinar la presión o nivel de vacío en el cual un 0.000 VDC que la salida analógica debería ocurrir (usualmente ponga cero presión o ponga cero vacío) y debería aplicar esta presión al sistema. Según el tipo de sistema, esto usualmente requerirá lo siguiente:

Sistemas de vació y presión manométrica

Remueva la línea de presión /vacío del sistema o abra la línea para la presión atmosférica.

Sistemas de presión diferencial

Remueva las líneas de presión /vacío del sistema o, si dispone, habrá una válvula de acoplamiento entre las líneas de presión para garantizar presión igualada en los puertos primarios y referencia.

Presión absoluta

Use una bomba de vacío u otro equipo que produce vacío confiable para extraer vacío alto (10^{-2} Torr, o mejor) en la línea de presión.

Presión barométrica

No aplique presión inferior que el rango calificado de presión.

Si el sistema fuese inicialmente calibrado así es que 0.000 la salida VDC no ocurren en la presión de cero, como en algunos sistemas barométricos u otros haciendo rangos especiales, usa un estándar preciso de presión para aplicar la presión precisa requerida a obtener 0.000 salida VDC como se muestra en el certificado de calibración.

4.- Con la presión apropiada aplicada al sistema, ajuste el control de cero del transductor para obtener la salida apropiada de cero.

5.- Si la salida de voltaje del transductor no iguala 0.000 VDC en cualquier punto en el rango calibrado (por ejemplo, un transductor de presión barométrica con un rango calibrado de 800 a 1100 milibares y un 0.800 para 1.100 VDC de salida), el ajuste de cero debería ser hecho en la presión mínima dentro del rango calibrado. Aplique la presión apropiada al sistema (800.0 mb en el anteriormente citado ejemplo) y ajuste el control de cero del transductor hasta que el voltaje correcto de salida sea obtenido (0.800 VDC en el ejemplo). Luego ajuste el control de cero del medidor como descrito en el Paso 5 para obtener el despliegue en pantalla digital correcto en el medidor.

NOTA: Si ni la presión exacta requirió obtener una salida 0.000 VDC ni la presión mínima en el rango calibrado puede ser aplicada a un sistema para la recalibración en el campo, cualquier presión precisamente conocida cerca del extremo inferior del rango calibrado puede servir para ajuste de cero. Este método alterno no producirá la misma exactitud como los métodos preferidos mostrados encima, pero puede ser útil en algunas instancias. Cuando este método sea usado, calcule la salida analógica exacta que concuerda con la presión aplicada y ajuste primero el control de cero del transductor y luego el control de cero del medidor para obtener la salida analógica correcta y despliegue en pantalla digital, respectivamente.

6.- Después que el ajuste de cero ha sido hecho, use la presión estándar para aplicar la presión completa precisa de escala al sistema. (Para los sistemas diferenciales con rangos bidireccionales, use ya sea la máxima presión positiva o negativa, cualquiera es máxima en magnitud). Haga constancia escrita del voltaje analógico de salida indicada en el dispositivo que mide voltaje y compare este valor al valor completo teórico de voltaje de salida de escala mostrado en el certificado de calibración. Si el valor indicado no es iguales a, o dentro de la tolerancia aceptable del valor teórico, ajuste el control de sensibilidad del transductor como corresponde. Cuando esto es concluido, observe la lectura digital de presión. Si la presión indicada no es iguales a o dentro de la tolerancia aceptable de la escala completa exacta el valor de presión digital mostrado en el certificado de calibración, ajuste el medidor que el control de intervalo situó en la esquina derecha inferior de la mano de la lámina de la cara del medidor hasta que el valor deseado es desplegado. (Mueva por medio de palanca fuera del bisel del frente del medidor usando las ranuras pequeñas provistos para este propósito sobre el borde más bajo del bisel).

7.- Si el sistema será usado sólo para medir presiones dentro de lo más alto 10% - 25% del rango calibrado completo, los procedimientos de arriba pueden ser adecuados para la recalibración del campo. Compruebe esto aplicando uno o dos presiones dentro de esa porción del rango completo que será usado y notará que la precisión obtuvo. Si la observada exactitud es inadecuada, o si más del rango completo serán usados, use el estándar primario de presión para aplicar la presión de rango medio exacta al sistema. Calcule la salida analógica exacta de voltaje que debería estar presente en presión de rango medio (por ejemplo, en la presión de rango medio de 12.5 psig sobre un 0 para 25 el sistema psig, la salida de rango medio exacta sería 2.5000 VDC si la salida completa de rango es 0 a 5.000 VDC). Compare la observada salida analógica de rango medio al valor calculado. Si la diferencia es más que el % ±0.1 de escala completa (0.005 VDC en el ejemplo utilizó) ajusta el control de linealidad en el tablero del circuito del transductor para traer la lectura dentro de la especificación. Este ajuste mejorará linealidad pero eso también afectará el ajuste de sensibilidad hecho en el Paso 6. Rechequee la sensibilidad y, si es necesario, repite Pasos 6 y 7 una o veces más adicionales para lograr las configuraciones óptimas de la sensibilidad y los controles de linealidad.

8.- Después de la primera linealidad de ajuste en el punto de rango medio, es recomendable comprobar linealidad en otro punto (s) en el rango cualquier más cercano para la presión(s) en la cual las subsiguientes mediciones serán hechas o circularán a través del rango calibrado completo del sistema. En este último caso, adicional chequea se hace típicamente en 20 %, 40 %, 60 % y 80 % de rango completo. Para evitar error de histéresis, las lecturas deberían ser tomadas ambos de presión baja para la presión alta y de presión alta para la presión baja, y promediado. Los reajustes por prueba y error adicionales de cero, sensibilidad, y la linealidad pueden estar obligados a minimizar error completo de rango del sistema. Advierto que algún error de linealidad será positivo (observó salida más gran que teórico) y algunos serán negativas (observó salida menos que teórico), y que un registro del error en cada punto específico de calibración dejará subsiguientes medidas corregirse matemáticamente para el error de poco linealidad.

9.- Reemplace la cubierta en el transductor pero, antes de apretarse los tornillos de agarrar, reverifican la salida de cero y la salida completa de escala del sistema. Un cambio leve en la sensibilidad puede ocurrir con la cubierta en el lugar. La magnitud y la dirección de este cambio son repetibles así es que, con la cubierta otra vez removida, ajuste el control de sensibilidad del transductor para compensar el cambio causado por la cubierta. Reemplace la cubierta y asegúrela.

II.- Calibración del sistema del porosimetro.

Consiste en calibrar un volumen de referencia, el cual es necesario para realizar los cálculos durante la prueba de porosidad.

Primera expansión.

El Helio es expandido en el sistema con todos los discos de calibración ingresados en el porta muestra, esto servirá para determinar el volumen muerto del equipo.

$$V_{ref} \times P_o = (V_{ref} + V_m) \times P_f \qquad \text{Ec.}(3.4.1)$$

Donde:

V_{ref} : volumen de referencia que necesita ser calibrado (cm^3).

P_o : presión inicial de carga cuando el Helio ingresa al sistema (Psig).

V_m: volumen muerto existente en la cámara porta núcleos entre los discos de calibración**,** dentro de la válvula de expansión, etc. (cm^3).

P_f: presión final en el sistema (volumen de referencia + volumen muerto), durante la expansión hasta alcanzar el equilibrio (Psig).

Segunda expansión.

El Helio es expandido en el sistema, con la cámara porta núcleo cargada con los discos de calibración (A,B,D y E), menos el disco C, el cual servirá para efectuar la calibración del volumen de referencia.

$$P_{oc} \times V_{ref} = P_{fc} \times (V_{ref} + V_m + V_{calb}) \qquad \text{Ec.} (3.4.2)$$

Donde:

P_{oc} : presión inicial de carga en el sistema (Psig).

P_{fc}: presión final durante la expansión, hasta alcanzar el equilibrio (Psig).

V_{calb}: volumen del disco de calibración C (cm^3).

Las ecuaciones 3.4.1 y 3.4.2 pueden ser escritas de la siguiente forma:

$$\frac{P_o}{P_f} = \frac{(V_{ref} + V_m)}{V_{ref}} \qquad \text{Ec.}(3.4.1)$$

$$\frac{P_{oc}}{P_{fc}} = \frac{(V_{ref} + V_m + V_{calb})}{V_{ref}} \qquad \text{Ec.}(3.4.2)$$

Ejecutando una resta entre la Ec.(3.4.1) y Ec.(3.4.2), se obtiene:

$$\frac{P_{oc}}{P_{fc}} - \frac{P_o}{P_f} = \frac{V_{calb}}{V_{ref}} \qquad \text{Ec.}(3.4.3)$$

Resolviendo para el volumen de referencia se obtiene:

$$V_{ref} = \left(\frac{V_{calb}}{\frac{P_{oc}}{P_{fc}} - \frac{P_o}{P_f}} \right) \qquad \text{Ec.}(3.4.4)$$

Este volumen de referencia es necesario para proceder a la determinación del volumen de granos del núcleo muestra cuando el Helio se expande dentro de la muestra.

El disco de calibración marcado C, es utilizado para determinar el volumen de referencia, cuando Vref es calibrado, el volumen de granos de la muestra puede ser determinado.

Tercera expansión.

La tercera expansión del gas puede ser escrita como:

$$P_{os} \times V_{ref} = (V_{ref} + \sum V - V_g + V_m) \times P_{fs} \qquad \text{Ec. (3.4.5)}$$

Donde:

$\sum V$: volumen de todos los discos de calibración removidos, cuando el núcleo muestra de la roca es ingresado en el porta núcleo en combinación con los discos de calibración.

P_{os}: Presión inicial de carga en el sistema (Psig).

V_m : Volumen muerto, en el porosimetro (cm^3).

V_{ref} : volumen de referencia (cm^3).

P_{fs} : presión final en el sistema durante la expansión, hasta alcanzar el equilibrio (Psig).

V_g : volumen de granos del núcleo muestra (cm^3).

Utilizando al Ec.(3.4.1) en su segunda forma y reemplazando en la Ec.(3.4.5):

$$\frac{P_o}{P_f} = \frac{(V_{ref} + V_m)}{V_{ref}} \qquad \text{Ec. (3.4.1)}$$

$$\frac{P_{os}}{P_{fs}} = \left(\frac{V_{ref} + \sum V - V_g + V_m}{V_{ref}} \right) \qquad \text{Ec.(3.4.5)}$$

Se obtiene:

$$\frac{P_{os}}{P_{fs}} = \left[\frac{P_o}{P_f} + \frac{\sum V}{V_{ref}} - \frac{V_g}{V_{ref}} \right] \qquad \text{Ec.(3.4.6)}$$

Resolviendo para el volumen de granos tenemos:

$$V_g = \sum V + V_{ref} \times \left[\frac{P_o}{P_f} - \frac{P_{os}}{P_{fs}} \right] \qquad Ec.(3.4.7)$$

La porosidad de la muestra es determinada usando las Ec(3.4.8) y Ec(3.4.9).

$$V_p = V_b - V_g \qquad Ec.(3.4.8)$$

$$\varphi_{eff} = \frac{V_b - V_g}{V_b}, \frac{V_p}{V_b} \qquad Ec.(3.4.9)$$

La densidad de los granos puede ser calculada por la división del peso de la muestra seco para el volumen de granos de la muestra:

$$\rho_g = \frac{W_{mdry}}{V_g} \qquad Ec.(3.4.10)$$

Donde:

V_p: volumen del poro de la muestra

V_g: volumen del grano de la nuestra

V_b: volumen neto del núcleo muestra

Φ_{eff}: porosidad efectiva del núcleo muestra

ρ_g: densidad de los granos

W_{mdry}: peso de la muestra seca

TABLA 3.4.1

VALORES TÍPICOS DE DENSIDAD DE LOS GRANOS

Roca	Densidad de los granos
Anhidrita	2,90-3,00
Arcilla	2,64-2,66
Caliza-calcita	2,70-2,76
Dolomita	2,82-2,87
Feldespato	2,64-2,66
Arenisca	2,65-2,67
Yeso	2,30-2,40
Cuarzo	2,59-2,66
Esquisto	2,64-2,66

Equipo requerido:

- 🕮 Núcleo muestra de la roca fresco, limpio y seco, con las siguientes dimensiones:
  - √ Diámetro: 1 in o 1.5 in
  - √ Longitud: 1in hasta 2.39 in
- 🕮 Balanza digital.
- 🕮 Tanque cilindro de abastecimiento de Helio.
- 🕮 Sistema de abastecimiento de aire a presión (Compresor de aire).

- 🕮 Teflón para aislar las conexiones roscadas evitando fuga de gas.
- 🕮 Porosímetro constituido por el siguiente sistema:
  - Sistema de Válvulas.
  - Sistema de conexiones y reducciones de diámetro.
  - Sistema de tuberías.
  - Portadores de núcleo muestra con cámara de retención de 1 in o 1.5 in de diámetro.
  - Transductor de presión.
  - Indicador de presión digital.
  - Manómetros.
  - Regulador de presión.
  - O-ring para aislar y hacer sello en unión base con porta núcleos, para evitar fugas de gas.

3.5 Diagrama de funciones del porosimetro.

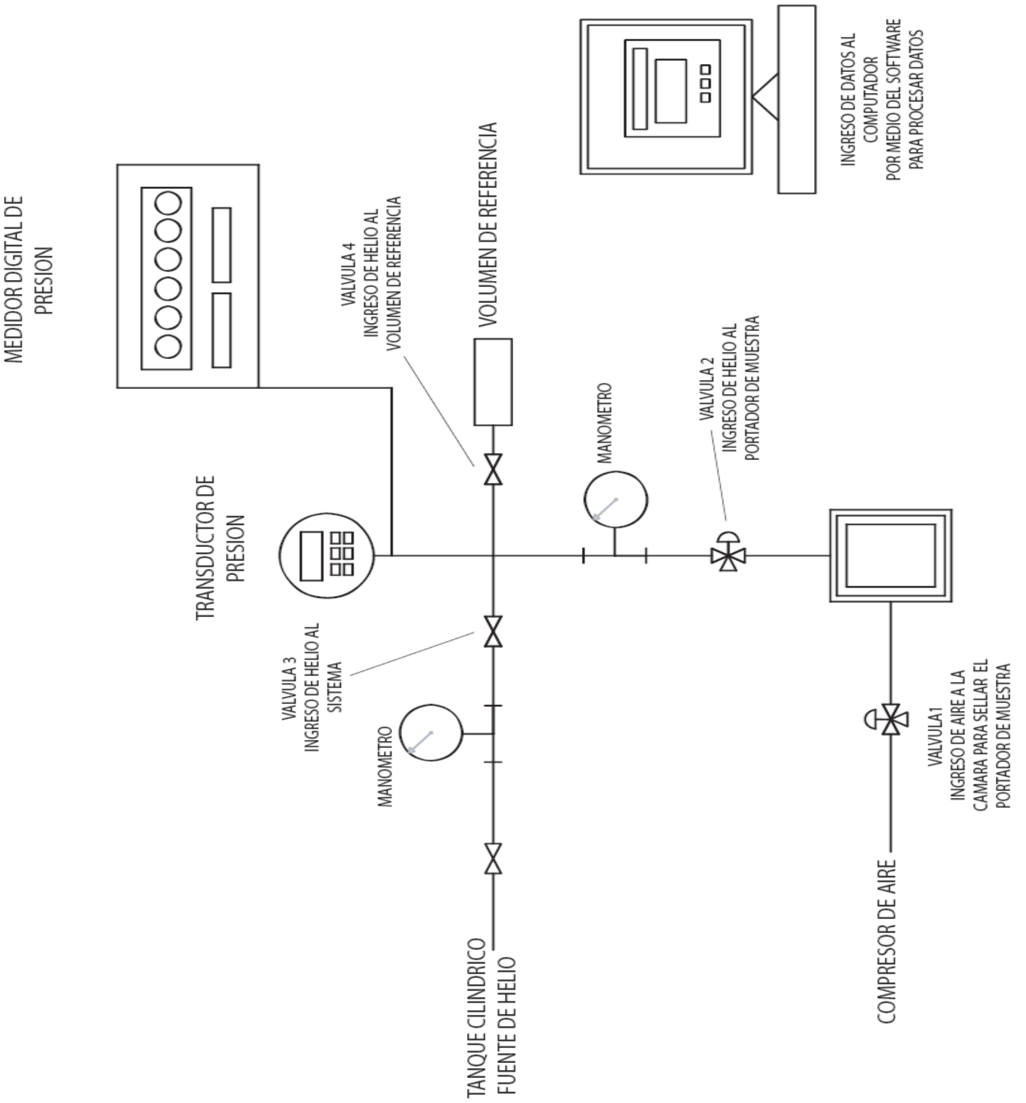

FIGURA 3.5 DIAGRAMA DE FUNCIONES DEL POROSIMETRO

3.6 Procedimiento para la determinación de la porosidad

El volumen del grano será medido por el desplazamiento del gas Helio en un sistema denominado Porosimetro de helio, aplicando básicamente la ley de Boyle, mediante expansiones de gas Helio.

- Para realizar la prueba de porosidad con resultados mas fiables es necesario contar con un núcleo muestra que sea fresco, seco y limpio.

- Se debe registrar su peso W_{mdry} dato que servirá para el cálculo de la densidad de los granos.

- Determinar el volumen poroso del núcleo muestra de la roca, por medio del método gravimétrico, que será descrito en el siguiente capitulo.

Ubicación del sistema de válvulas y pasos a seguir en el desarrollo de la prueba de porosidad.

Antes de comenzar el desarrollo de la práctica se debe verificar que las válvulas estén en las siguientes posiciones.

Válvula #1, cerrada (no ingreso de aire comprimido al embolo de ajuste de la cámara porta núcleo muestra).

Válvula #2, abierta a la atmósfera;

Válvula #3, cerrada (no ingreso de helio al sistema).

Válvula #4:

a. Abierta si el portador de núcleo muestra es de 1.5 in de diámetro, para utilizar el mayor volumen de referencia

b. Cerrada si el portador de núcleo muestra es de 1.0 in de diámetro, para utilizar el menor volumen de referencia.

1.- Cargar el portador de muestras con todos los discos de calibración (A,B,C,D y E), colocarlo en la base del porosimetro, ubicado sobre el embolo de ajuste.

2.- Dirigir la válvula#1 hacia la presión del aire comprimido y sellar la cámara de expansión (cámara porta núcleo), entonces la presión es atmosférica, debido a que la válvula#2 esta abierta a la atmósfera.

3.- Abrir y cerrar instantáneamente la válvula #3 para permitir el ingreso de Helio al sistema del porosimetro con una presión ubicada en un rango de entre 80 a 90 Psig para establecer el volumen referencial y su calibración, registrar el valor de presión el cual se lo denomina P_o.

4.- Abrir la válvula #2 para permitir el ingreso de Helio a la cámara del portador de núcleo muestra. Una vez que la presión se estabilice registrar esta presión como P_f.

5.- Abrir la válvula #2 a la atmósfera para despresurizar el gas helio encerrado en el sistema.

6.- Abrir la válvula #1 a la atmósfera para desalojar el aire comprimido y liberar el portador de núcleo muestra.

7.- Sacar únicamente el disco de calibración C de la cámara porta núcleo, para efectuar el mismo procedimiento, pero sin el mencionado disco de calibración.

8.- Colocar el porta núcleo muestra en la base del porosimetro ubicado sobre el embolo de ajuste.

9.- Abrir la válvula#1 para sellar el portador de núcleo muestra.

10.- Abrir la válvula#3 para permitir el ingreso de helio al sistema, registrando este valor de presión como P_{oc}.

11.- Abrir la válvula#2 para permitir ingreso del Helio dentro del portador de núcleo muestra, esperar hasta que se expanda el gas y registrar este valor de presión como P_{fc}.

12.- Procedemos de igual forma como en el paso 5 al 9, pero esta vez se carga el porta núcleo con la muestra de roca a la que se efectuara la prueba, esto se efectúa en combinación con los discos de calibración y la muestra de roca, procurando llenar lo mejor posible el porta núcleo. Probar varias combinaciones. Registrar todos los discos de calibración omitidos. Su volumen total será usado para calcular el volumen del grano.

13.- Abrir la válvula#3 para permitir el ingreso de helio al sistema, registrando este valor de presión como $\mathrm{P_{os}}$.

14.- Expandir el Helio dentro del portador abriendo la válvula #2 y después de que se estabilice la presión regístrela como P_{fs}.

15.- Luego se procede como en el paso 5 al 6.

16.- Una vez terminada la prueba se debe cerrar la válvula del tanque de gas helio, se apaga el compresor de aire, se apaga y desenchufa el medidor de presión digital, se desconectan las conexiones de ingreso de gas helio y de aire comprimido, y se procede a limpiar el equipo.

17.- Con base en el programa presentado en el computador ingresar los parámetros que identifican la muestra y datos obtenidos durante la prueba, para obtener los resultados.