Curso de Vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Índice

- El vacío
  - Definición
  - Unidades de medida
- Aplicaciones
- Conceptos básicos
- Definiciones y fórmulas
- Componentes básicos de un sistema de vacío
  - Piezas de unión
  - Válvulas
  - Filtros, etc
- Bombas de vacío
  - Bombas de membrana
  - Bombas rotativas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- Bombas de Pistón
- Bombas Scroll
- Bombas Roots
- Bombas difusoras
- Bombas Turbomolecular-Drag
- Bombas de sublimación de titanio
- Bombas iónicas
- Bombas criogénicas

- Medidores de vacío
  - Medidores tipo Bourdon
  - Medidores capacitivos
  - Sensores tipo Pirani
  - Sensores de cátodo frío
  - Sensores de cátodo caliente

- Detección de fugas
  - Métodos de localización de fugas
  - Detectores de fugas de Helio
  - Detector de fugas HLT 260
  - Elección de un detector de fugas
  - Métodos de detección. Casos prácticos

- Espectrometría de masas Cuadrupolar
  - Ionización
  - Separación
  - Detección
  - Tipo de espectros
  - Definición de términos

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- Procedimientos para verificar fugas
  - Volúmenes pequeños sin detector de fugas de Helio
  - Volúmenes grandes en sistemas de alto/ultra alto vacío
  - Espectrómetro de masas Cuadrupolar
- Materiales y tratamientos de superficies
- Materiales usados en cámaras de vacío

- Ejercicios
- Sistemas de evaporación

El vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Definición

Se define el vacío como un espacio o volumen en el que la presión es menor que la presión atmosférica.

- Rangos de vacío

Rango de vacío	*Presión (mbar)*	***Densidad de moléculas/cm³***
Vacío grueso	1013 - 1	10^{19} - 10^{16}
Vacío medio	1 - 10^{-3}	10^{16} - 10^{13}
Alto vacío	10^{-3} - 10^{-7}	10^{13} - 10^{9}
Ultra alto vacío	$< 10^{-7}$	$< 10^{9}$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Unidades de medida del vacío

	Pa-N/m^2	bar	*mbar*	Torr mm Hg	Micron µm.Torr	atm	Psi lbf/inch^2
Pa	1	1.10^{-5}	*1.10^{-2}*	$7.5\ 10^{-3}$	7.5	$9.87\ 10^{6}$	$1.45\ 10^{-4}$
bar	$1\ 10^{-5}$	1	*$1\ 10^{3}$*	750	$7.5\ 10^{5}$	0.987	14.5
mbar	*100*	*$1\ 10^{3}$*	*1*	*0.75*	*750*	*$9.87\ 10^{-4}$*	*$1.45\ 10^{-2}$*
Torr	$1.33\ 10^{2}$	$1.33\ 10^{-3}$	*1.33*	1	1000	$1.32\ 10^{-3}$	$1.93\ 10^{-2}$
Micron	0.133	$1.33\ 10^{-6}$	*$1.33\ 10^{3}$*	$1\ 10^{-3}$	1	$1.32\ 10^{-6}$	$1.93\ 10^{-5}$
Atm	$1.01\ 10^{5}$	1013	*1013*	760	$7.6\ 10^{5}$	1	14.7
Psi	$6.89\ 10^{3}$	$6.89\ 10^{-2}$	*68.9*	51.71	$5.17\ 10^{4}$	$6.8\ 10^{-2}$	1

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Aplicaciones del Vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Procesos Industriales

- Empaquetado de alimentos.
- Evacuación y secado de circuitos frigoríficos.
- Secado e impregnación de transformadores.
- Sistemas de soldadura por haz de electrones.
- Hornos de fusión y tratamientos térmicos.
- Crecimientos de capas finas (óptica, tratamientos duros, etc.)
- Metalización de faros y espejos.
- Industria de semiconductores.
- Sistemas de detección de fugas de Helio.
- Fabricantes de criostatos y tanques criogénicos.
- Sistemas de análisis de gases por espectrometría de masas.

Investigación

- Crecimiento de capas en óptica y electrónica.
- Sistemas de análisis de superficie (XPS, SIMS, etc.)
- Cámaras de simulación espacial.
- Reactores de fusión.
- Grandes aceleradores de partículas.

Parámetros atmosféricos/altura

Altura (Km)	PRESION (mbar)	TEMPERATURA (ºC)	DENSIDAD (g/cm^3)	Nº PARTICULAS (Nº/ cm^3)
0	1013	+15	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
1.6	835	+5	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
2	795	+2	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
4	616	-11	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
6	472	-24	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
8	356	-37	$1.22 \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{+19}$
10	264	-50	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{+18}$
12	193	-56.5	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{+18}$
14	141	-56.5	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{+18}$
18	103	-56.5	$4.1 \cdot 10^{-4}$	$8.6 \cdot 10^{+18}$
20	55	-56.5	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$1.85 \cdot 10^{+18}$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Parámetros atmosféricos/altura

Altura (Km)	PRESION (mbar)	TEMPERATURA (ºC)	DENSIDAD (g/cm^3)	Nº PARTICULAS (Nº/ cm^3)
22	40	-54.5	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$1.85 \cdot 10^{+18}$
24	29	-52.5	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$1.85 \cdot 10^{+18}$
26	21	-50.5	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$1.85 \cdot 10^{+18}$
28	16	-48.5	$8.9 \cdot 10^{-5}$	$1.85 \cdot 10^{+18}$
30	12	-46.5	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$3.7 \cdot 10^{+18}$
31	10	-45.5	$1.8 \cdot 10^{-5}$	$3.7 \cdot 10^{+18}$
40	3.1	-13	$4 \cdot 10^{-6}$	$8.3 \cdot 10^{+16}$
50	0.9	-10	$1.08 \cdot 10^{-6}$	$2.3 \cdot 10^{+16}$
60	0.3	-25	$3.7 \cdot 10^{-6}$	$7.5 \cdot 10^{+15}$
70	$4.7 \cdot 10^{-2}$	-95	$9.4 \cdot 10^{-8}$	$1.9.6 \cdot 10^{+15}$
80	$6.7 \cdot 10^{-3}$	-105	$1.4 \cdot 10^{-8}$	$2.84 \cdot 10^{+14}$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Conceptos básicos en Tecnología de Vacío

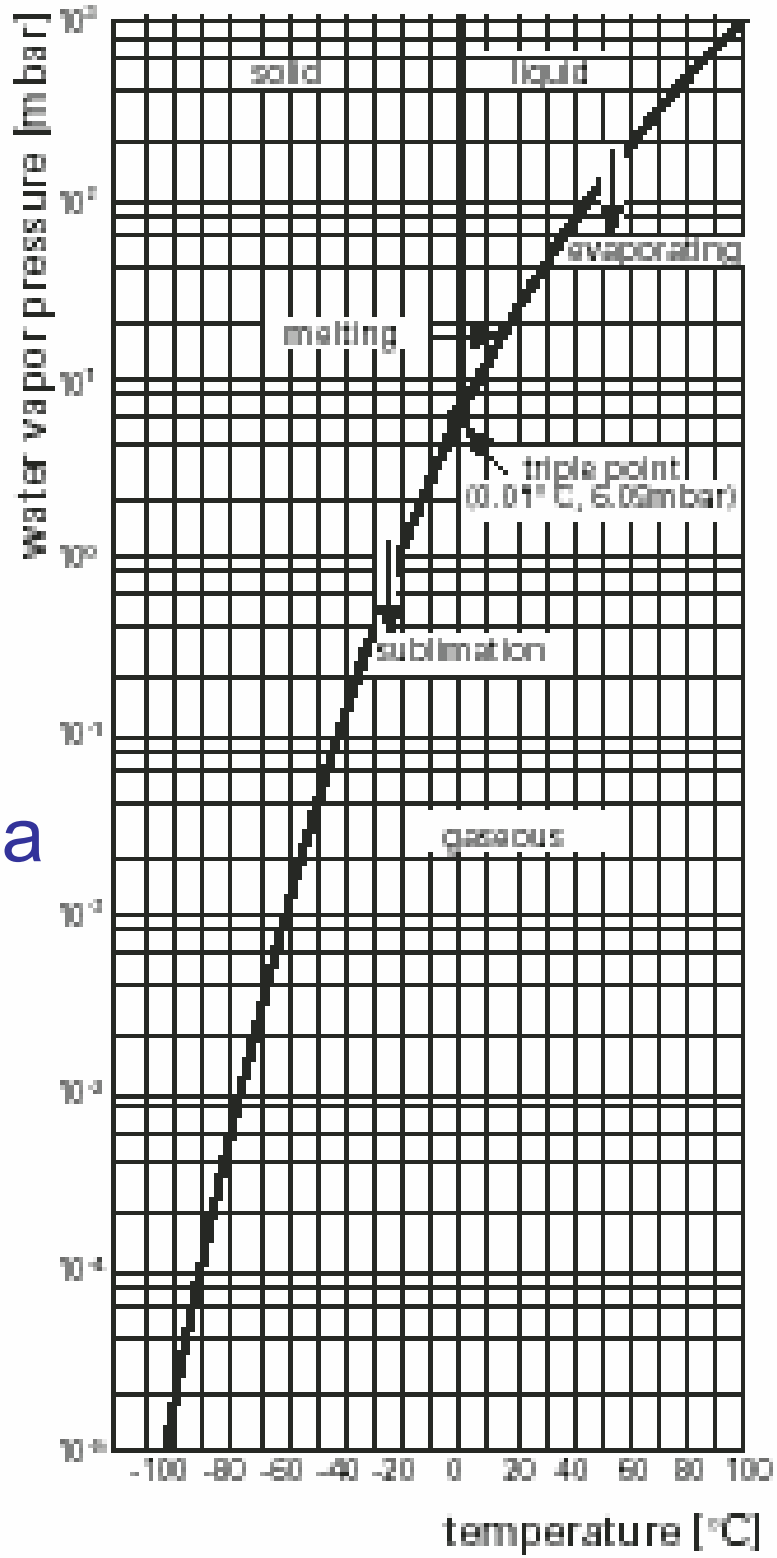
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- **Presión:** Es la fuerza ejercida por un gas sobre una superficie, dividido por su área.

- **Gas:** Es un estado de la materia en el que la distancia media entre moléculas es mayor que su tamaño y éstas tienen libertad de movimiento.

  En tecnología de vacío se designan **gases permanentes** a los que no licúan ni solidifican por incremento de presión a una determinada temperatura de trabajo, mientras que el **vapor** puede licuar o solidificar debido a un incremento de presión a una temperatura superior a su temperatura crítica.

Curva Presión Vapor del agua



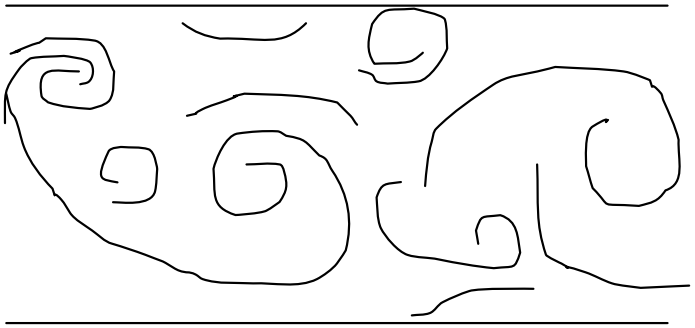
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- **Recorrido libre medio (λ):** Es la distancia que una molécula puede recorrer entre dos colisiones sucesivas con otras moléculas de gas. Esta distancia puede variar en función de la presión, temperatura del gas y el tamaño de las moléculas. La fórmula que se aplica, para aire a temperatura ambiente, es la siguiente:

$$\lambda = \frac{0.665}{P(Pa)}(cm)$$

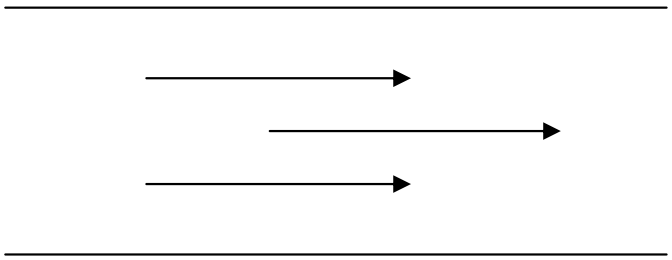
Presión (mbar)	*Recorrido libre (cm)*
1013	$6{,}6 \times 10^{-6}$
1	$6{,}6 \times 10^{-3}$
1×10^{-3}	6,6
1×10^{-6}	6.600

- **Flujo viscoso turbulento:** El recorrido libre de las moléculas es mucho menor que el diámetro (d), de la conducción por la que se mueven ($\lambda << d$). Además, las líneas de corriente de gas no son paralelas, sino que aparecen remolinos. Este tipo de flujo se produce cuando se comienza a evacuar una cámara de vacío.

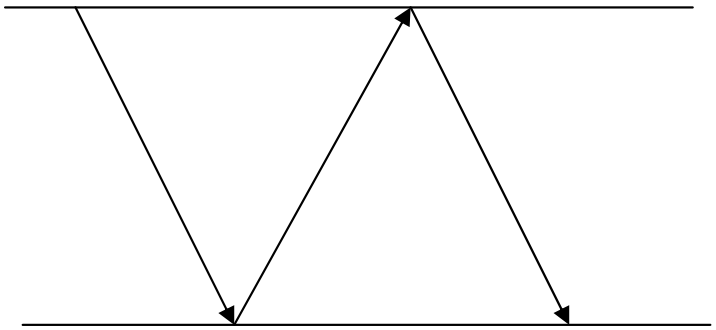


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- **Flujo viscoso laminar:** Se diferencia del anterior, en que las líneas de corriente son paralelas y el recorrido libre de las moléculas es menor que el diámetro de la sección por la que se mueven ($\lambda < d$). Este tipo de flujo es el que se produce cuando se hace vacío grueso y medio.



- **Flujo molecular:** Se produce cuando el recorrido libre medio de cualquier molécula es mayor que el diámetro de la conducción por la que se mueve ($\lambda > d$). Este flujo se genera cuando se alcanza en el sistema condiciones de alto y ultra alto vacío.



- **Desorción:** Es la liberación de moléculas atrapadas en la superficie de una cámara de vacío. La liberación puede ser espontánea (gasificación) o acelerada a través de algún proceso físico, como el calentamiento de las paredes (desgasificación).

- **Permeación:** Se define como el transporte de un gas a través de las paredes de un sólido o líquido de un determinado espesor.

- **Índice de compresión:** Es el cociente entre la presión parcial de un gas a la salida-expulsión de una determinada bomba de vacío con respecto a su boca de entrada-succión, sin flujo de gas.

  Este valor varía para cada gas, siendo mayor en moléculas pesadas.

- **Presión final alcanzable:** Se define como la presión más baja que se puede conseguir con una bomba de vacío. Este vacío final es el equilibrio que se establece entre el flujo de gas arrastrado por la bomba y el reflujo producido por fugas, desorciones, vapores de aceite, etc.

- **Velocidad de bombeo:** Es el volumen de gas desplazado en la unidad de tiempo, a una determinada presión en la boca de succión de la bomba de vacío.

- **Conductancia** : Volumen que deja fluir una conducción debido a la diferencia de presión entre sus extremos

Definiciones - Fórmulas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Conductancia para régimen laminar

$$C = 7750 \frac{r^4 P_m}{l} (m^3 / h)$$

Siendo :

C :	Conductancia	
r :	Radio canalización (cm)	
P_m:	Presión media (mbar)	$(\frac{Camara + brida}{2})$
l	longitud canalización (cm)	

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Conductancia para régimen molecular

$$C = 340 \frac{r^3}{l} (m^3 / h)$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Conductancias en paralelo

La conductancia total es la suma de las parciales

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

Conductancias en serie

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}}$$

Capacidad Bombeo efectiva (S_{eff})

$$S_{eff} = \frac{C \times S}{C + S}$$

Siendo :

C : Conductancia

S: Capacidad de bombeo en la brida de la bomba

S_{eff} : Capacidad de bombeo en la entrada de la cámara

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Tiempo de bombeo en cámara sin fuga y sin degasificación

$$t = \frac{V}{S_{eff}} L_n \frac{P_1}{P_2}$$

Siendo :

V :	Volumen de la cámara
P_1 :	Presión inicial
P_2 :	Presión final
S_{eff} :	Capacidad de bombeo efectiva

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Tiempo de bombeo en cámara con fuga

$$t = \frac{V}{S_{eff}} L_n \left(\frac{S_{eff} P_1 - Q}{S_{eff} P_2 - Q} \right)$$

Siendo :

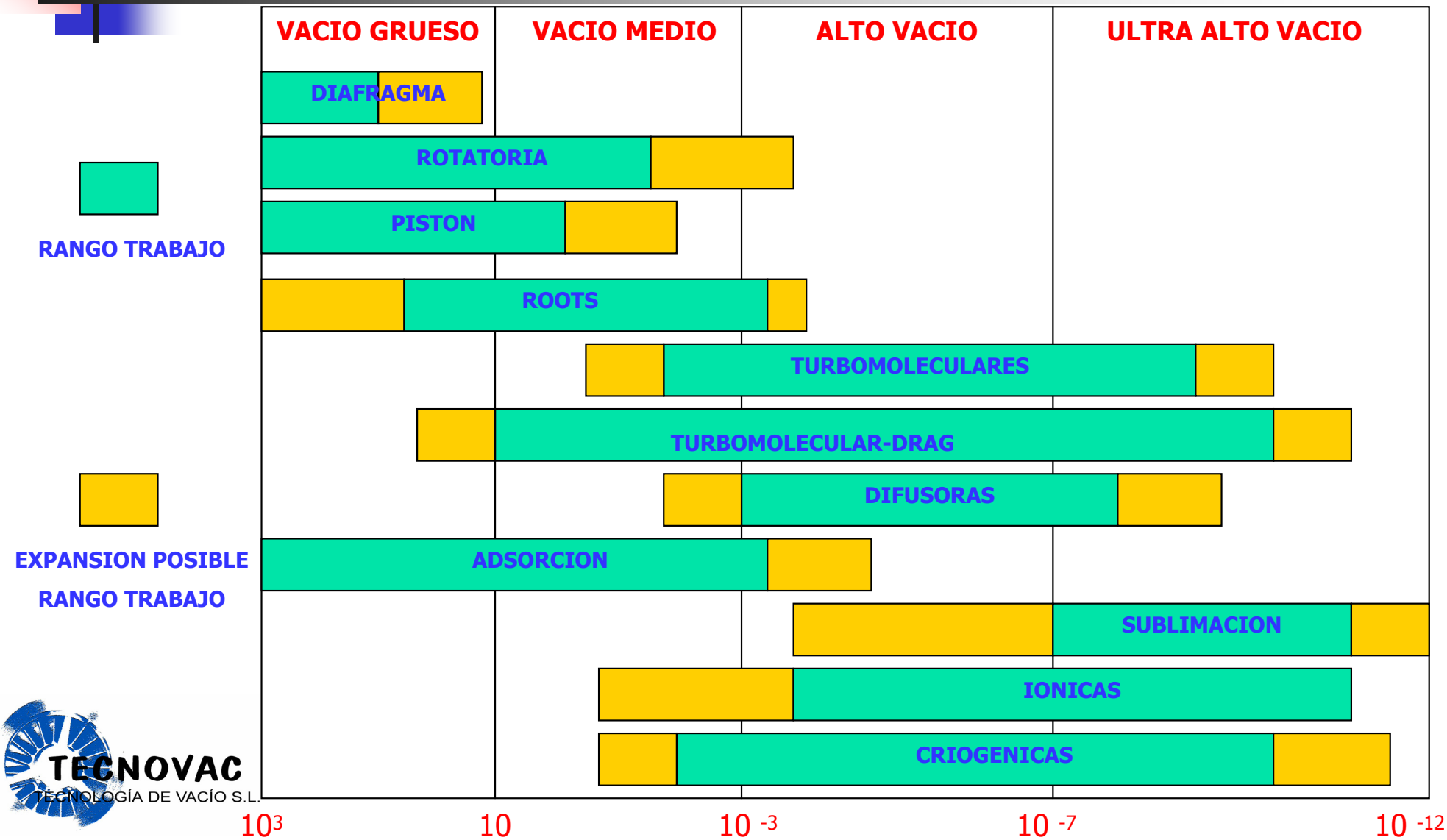
V :	Volumen de la cámara
P_1 :	Presión inicial
P_2 :	Presión final
S_{eff} :	Capacidad de bombeo efectiva
Q :	Valor de fuga

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas de Vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Rangos de trabajo



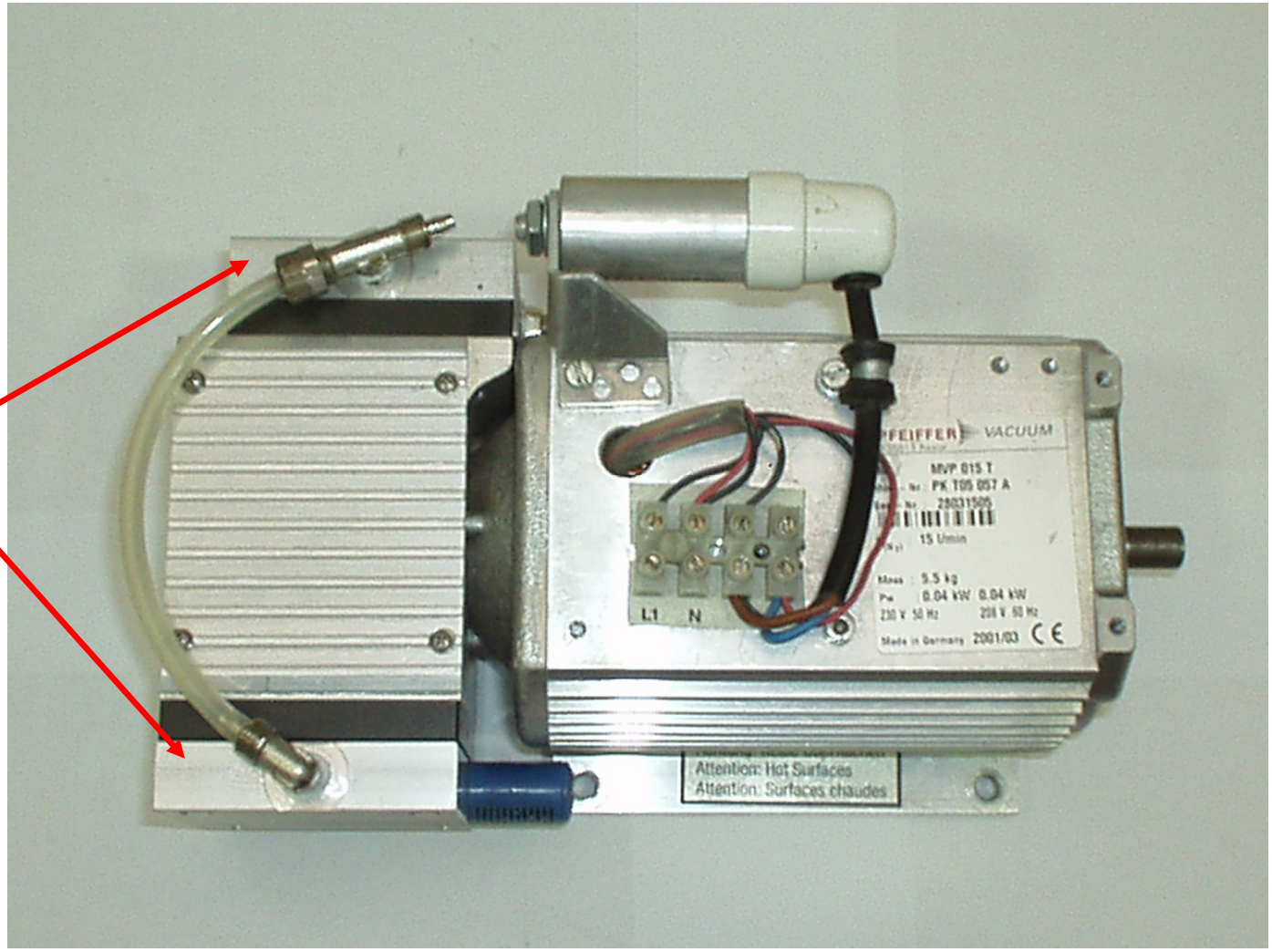
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas de membrana

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detalle de la bomba

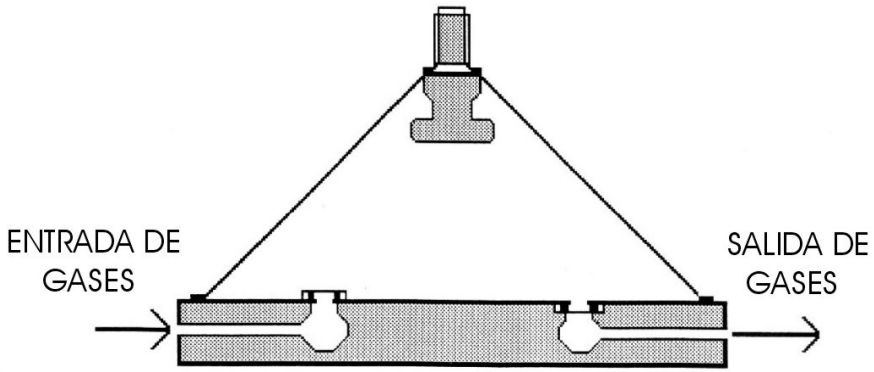
Etapas de bombeo

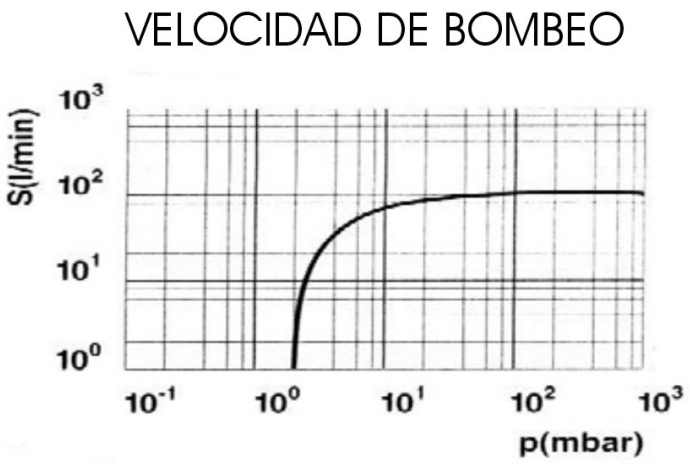


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

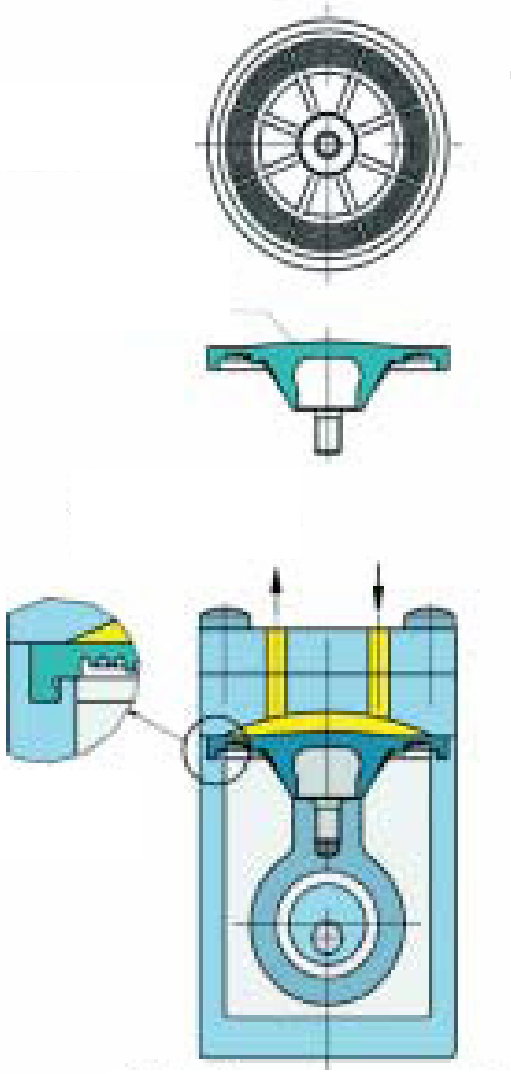
Principio Funcionamiento

- Se basa en el cambio continuo de volumen de una pequeña cámara de bombeo como consecuencia de la expansión y compresión que sufre su membrana. En la etapa de expansión se produce la toma de gas y en la de compresión su expulsión. Suelen tener tres-cuatro etapas de bombeo para llegar a un vacío final de aprox. 2 mbar.





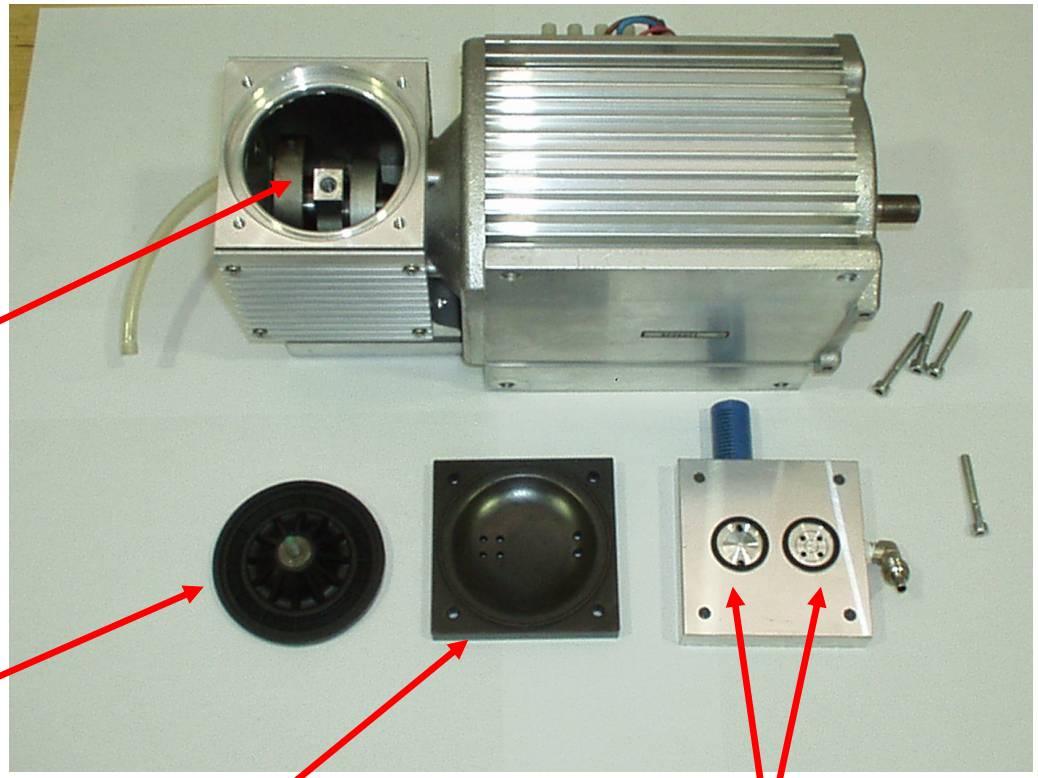
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Mantenimiento requerido

- Cambio membranas
- Cambio válvulas

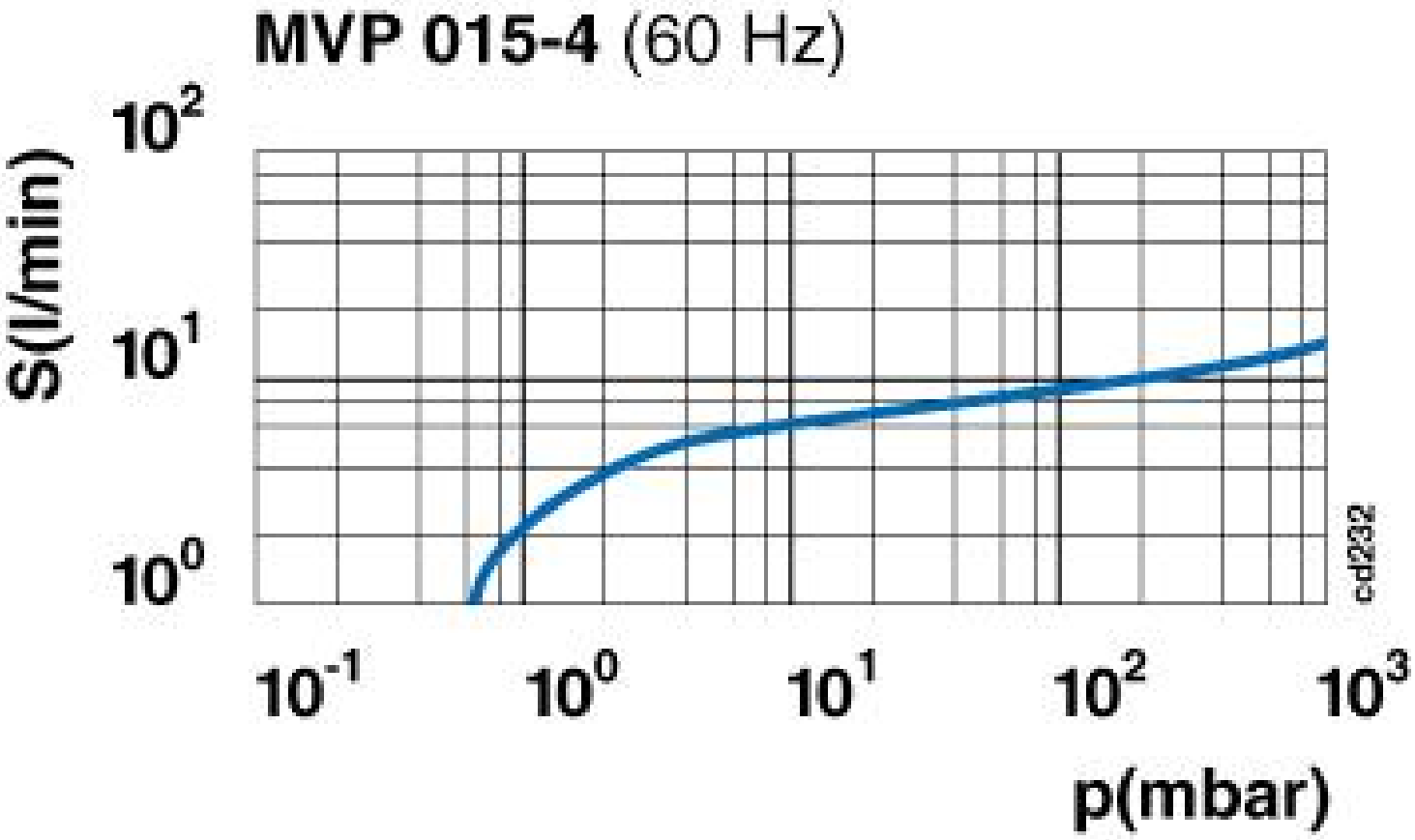


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Bomba totalmente seca, utilizada como previa de turbo molecular-drag ▪ Utilizada en procesos químicos, sustituyendo su elastómero –PTFE-	▪ No alcanza un gran vacío ▪ Pequeña capacidad de bombeo

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

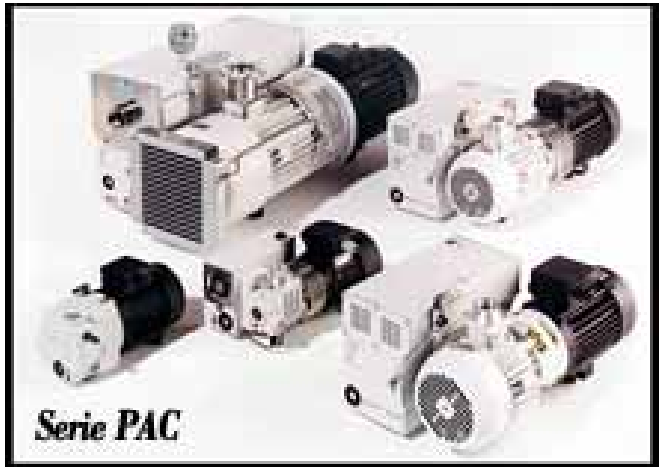
Bombas rotativas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Tipos de bombas rotativas

- ***Etapa simple***, con un solo cuerpo de bombeo y presión total final < $5x10^{-2}$ mbar

- ***Doble etapa***, con dos cuerpos de bombeo y presión total final < $5x10^{-3}$ mbar



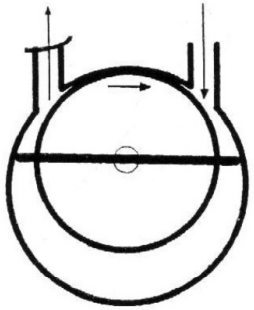
PAC LINE

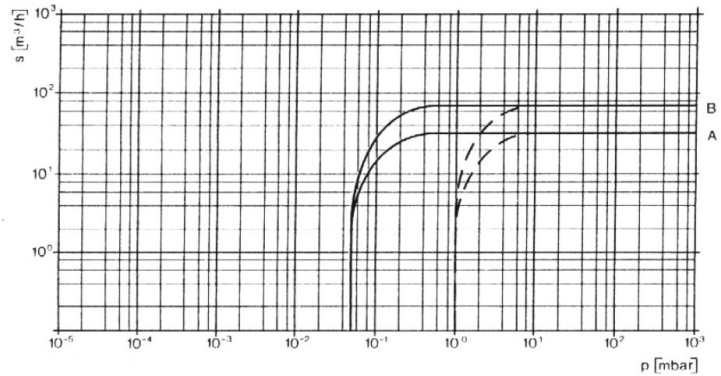
DUO LINE

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio Funcionamiento

UNA ETAPA



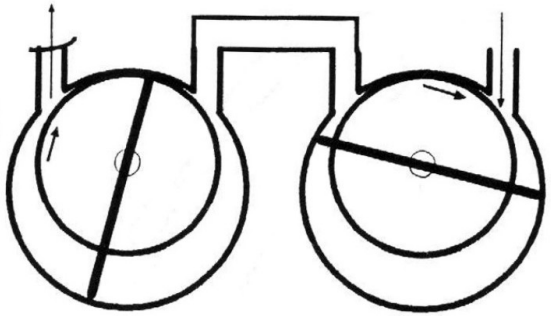


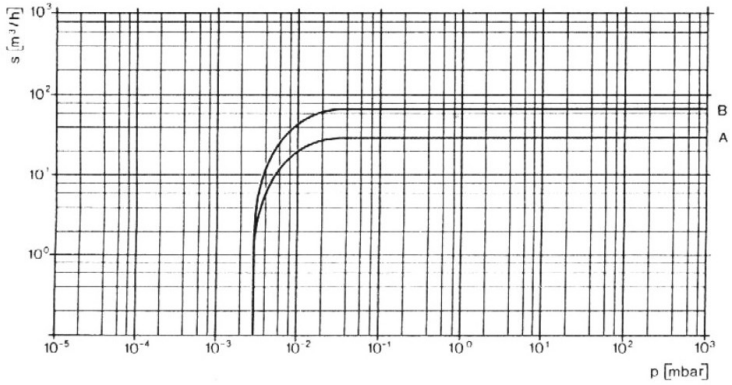
Velocidades de Bombeo

A. Bomba 35 m / h
B. Bomba 65 m / h

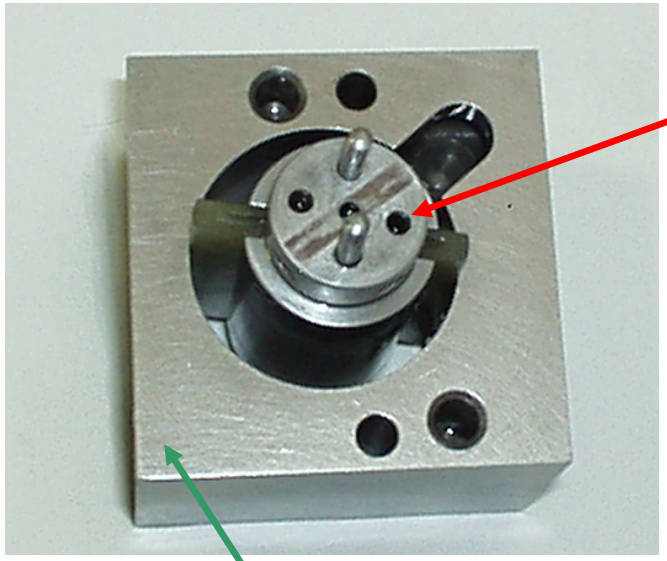
Sin arrastre de gas
Con arrastre de gas

DOBLE ETAPA

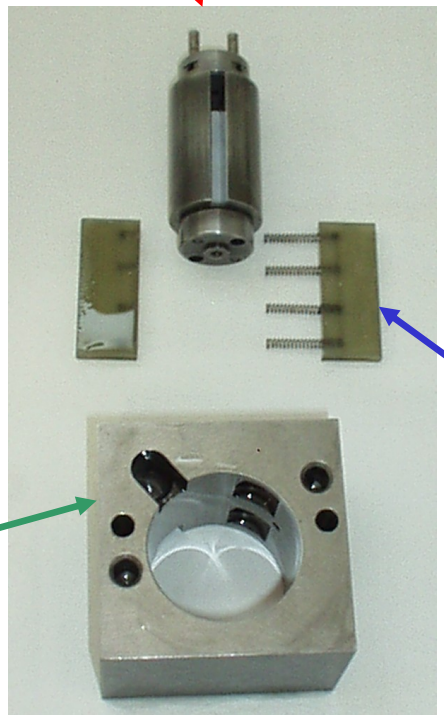


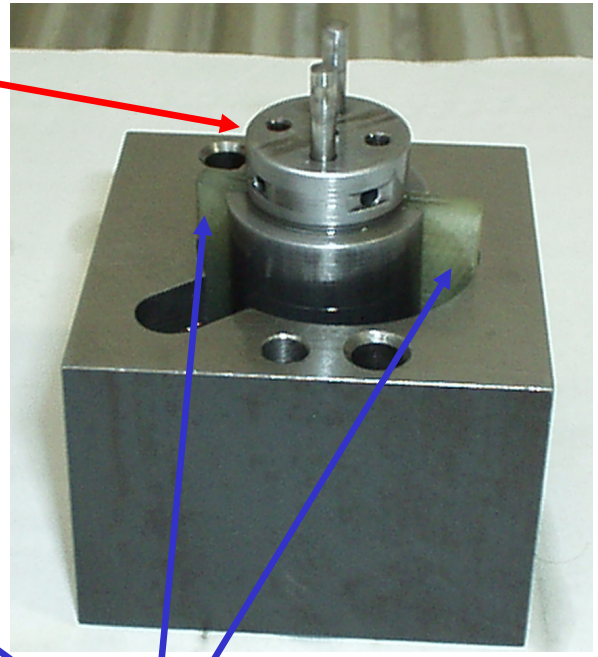


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Rotor

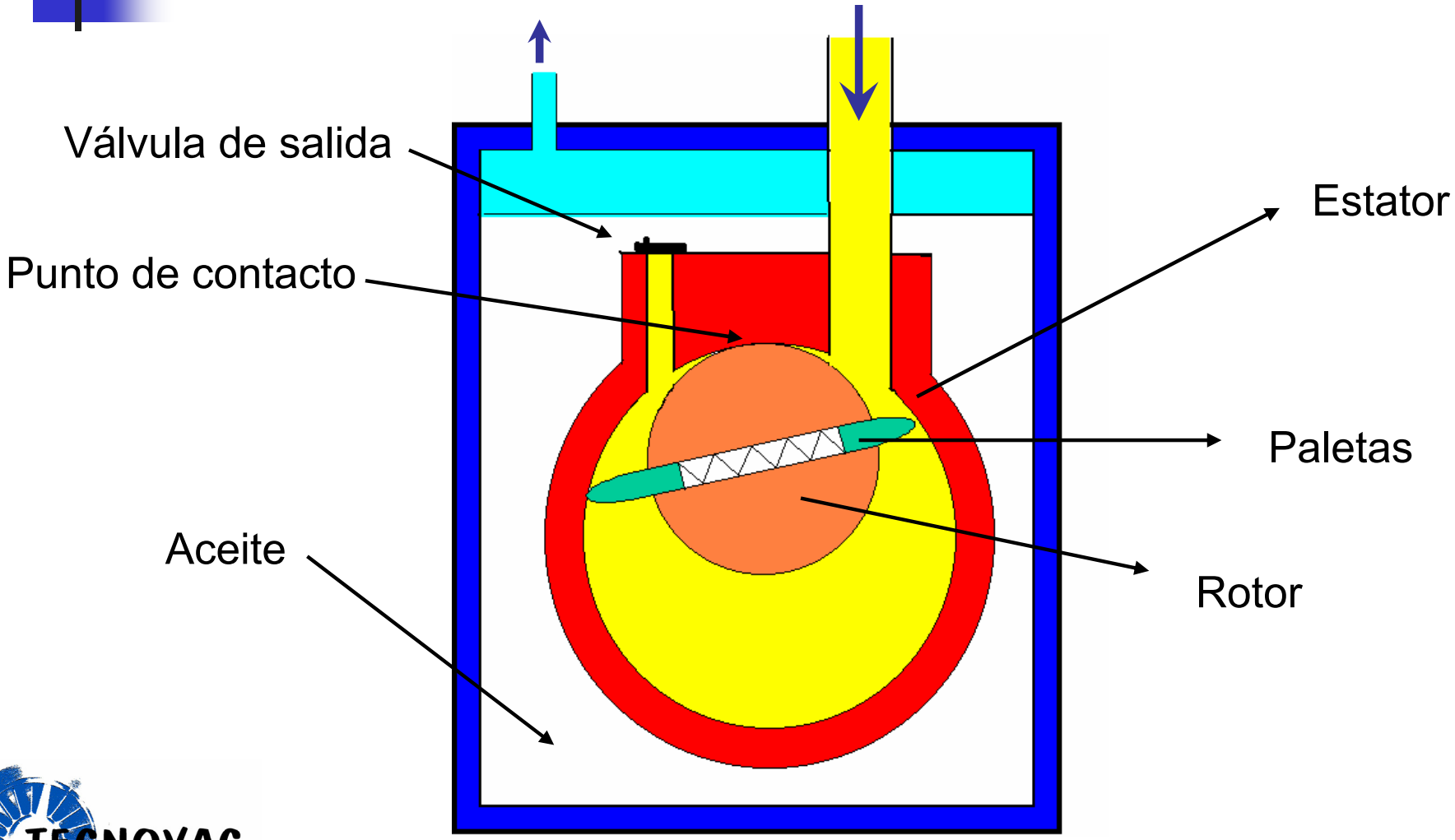




Estator

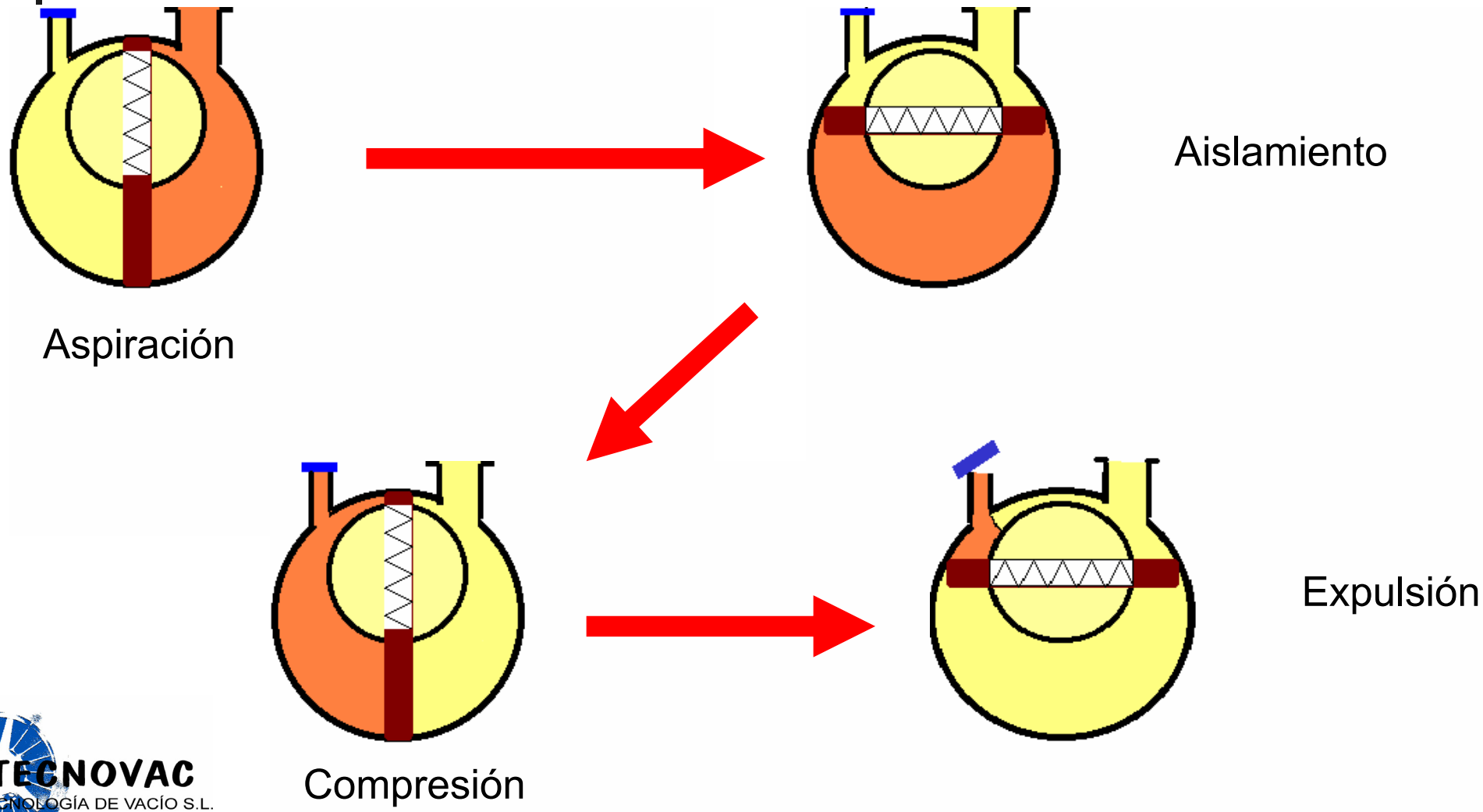
Paletas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



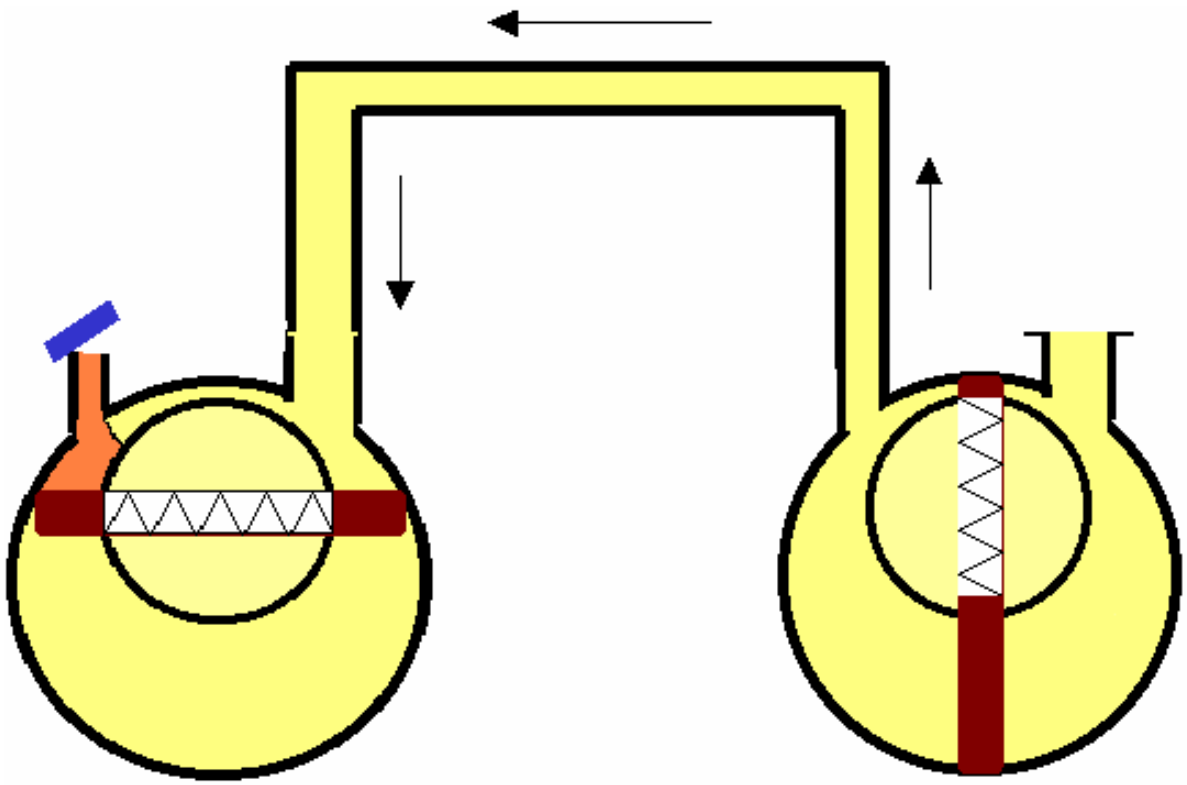
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Etapas del proceso de bombeo



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bomba rotativa de 2 etapas



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Aceite

- Funciones de sellado y lubricación
  - Baja presión de vapor a la temperatura de trabajo
  - No reactivo
  - Mantener la viscosidad
  - Buenas propiedades lubricantes
- Tipos
  - Aceites minerales para bombeo de gases inertes
  - Aceites sintéticos para procesos especiales (corrosivos, alta temperatura, etc)

Aceites sintéticos

- Utilizados generalmente en aplicaciones extremas en las que los aceite minerales no son adecuados :
  - *Polialfaolefinas (PAO)* – excelente estabilidad a la oxidación y térmica
  - *Esteres* – también con excelentes propiedades de estabilidad térmica y al craqueo se utilizan generalmente en aplicaciones a altas temperaturas
  - *Perfluorpolieteres* – Utilizados por su excelente resistencia química ante agentes agresivos y corrosivos y su estabilidad térmica excelente en aplicaciones con corrosivos (0_2, SF_6, F_2, etc)

Tipo de aceite ▼	Aire	Gases nobles	Gases inertes	H_2	O_2 < 21 %	O_2 100 %	Ozono	Halogenados	Disolventes Orgánicos	Disolventes Inorgánicos	HCl, HF, BF_3	C_2H_2, CH_4, C_3H_8	NO_X	Temperatura > 100 ºC
P3	●	●	●	●	●									
Fomblin F5/T5						●	●	●	●	●	●			
T 100						●	●					●	●	●
Anderol 555														●

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Gas ballast

- El gas ballast (lastre de aire) sirve para ***evitar*** que haya ***condensaciones*** en el cuerpo de la bomba, en procesos en los que se tiene que bombear gran cantidad de vapor de agua. A través de la válvula de gas ballast se admite una cantidad controlada de aire en la etapa de compresión de la bomba y de esta forma se consigue que la nueva mezcla gas-vapor alcance la presión de expulsión antes de producirse la condensación.

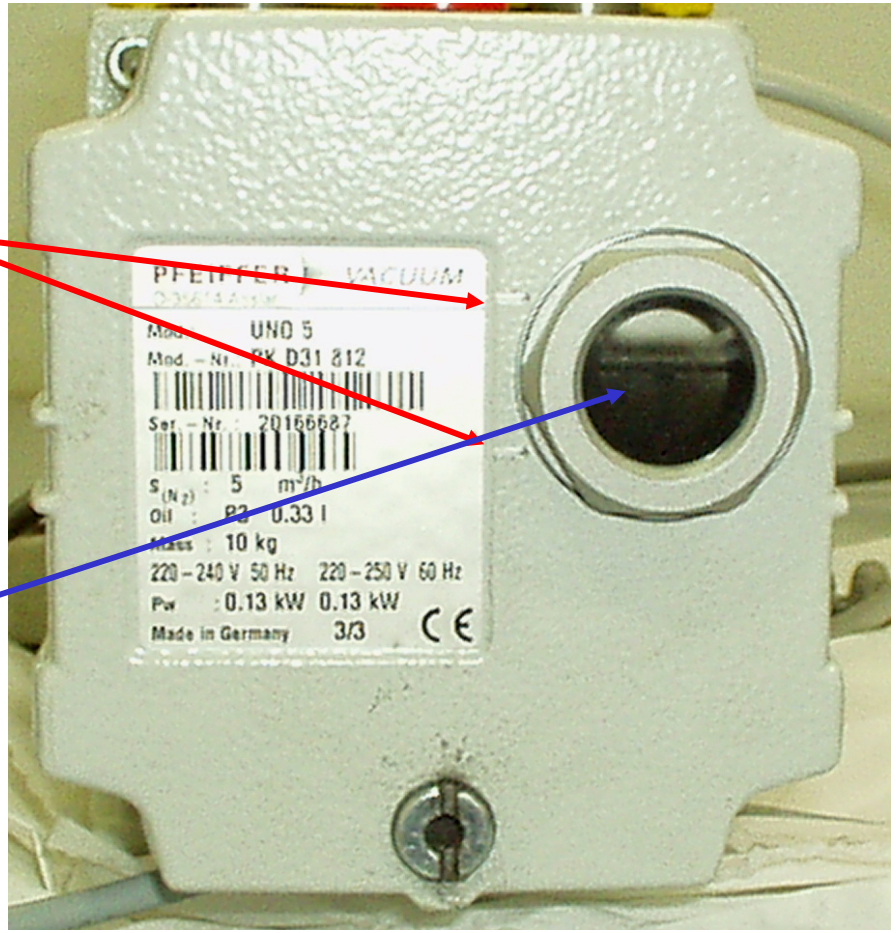
Filtros

- Funciones
  - Función de ***protección*** de la bomba
  - Evitan la ***retrodifusión de vapores*** de aceite a la cámara de vacío
- Tipos
  - Separación de partículas
  - Absorción de vapores de aceite
  - Retención de contaminantes

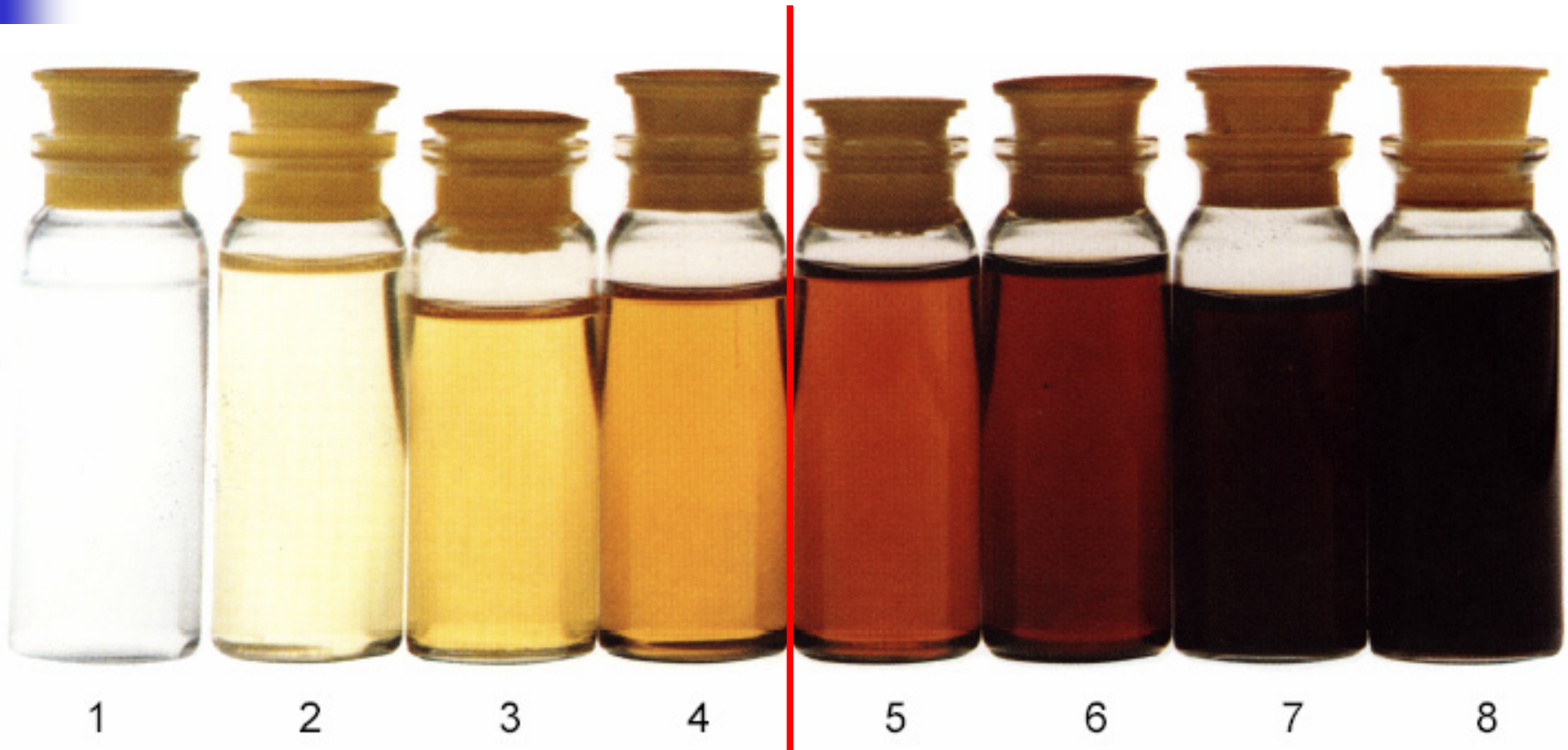
Mantenimiento requerido

- Control del nivel de aceite

- Cambio aceite antes de su degradación



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Riesgo para la bomba; por degradación del aceite P3

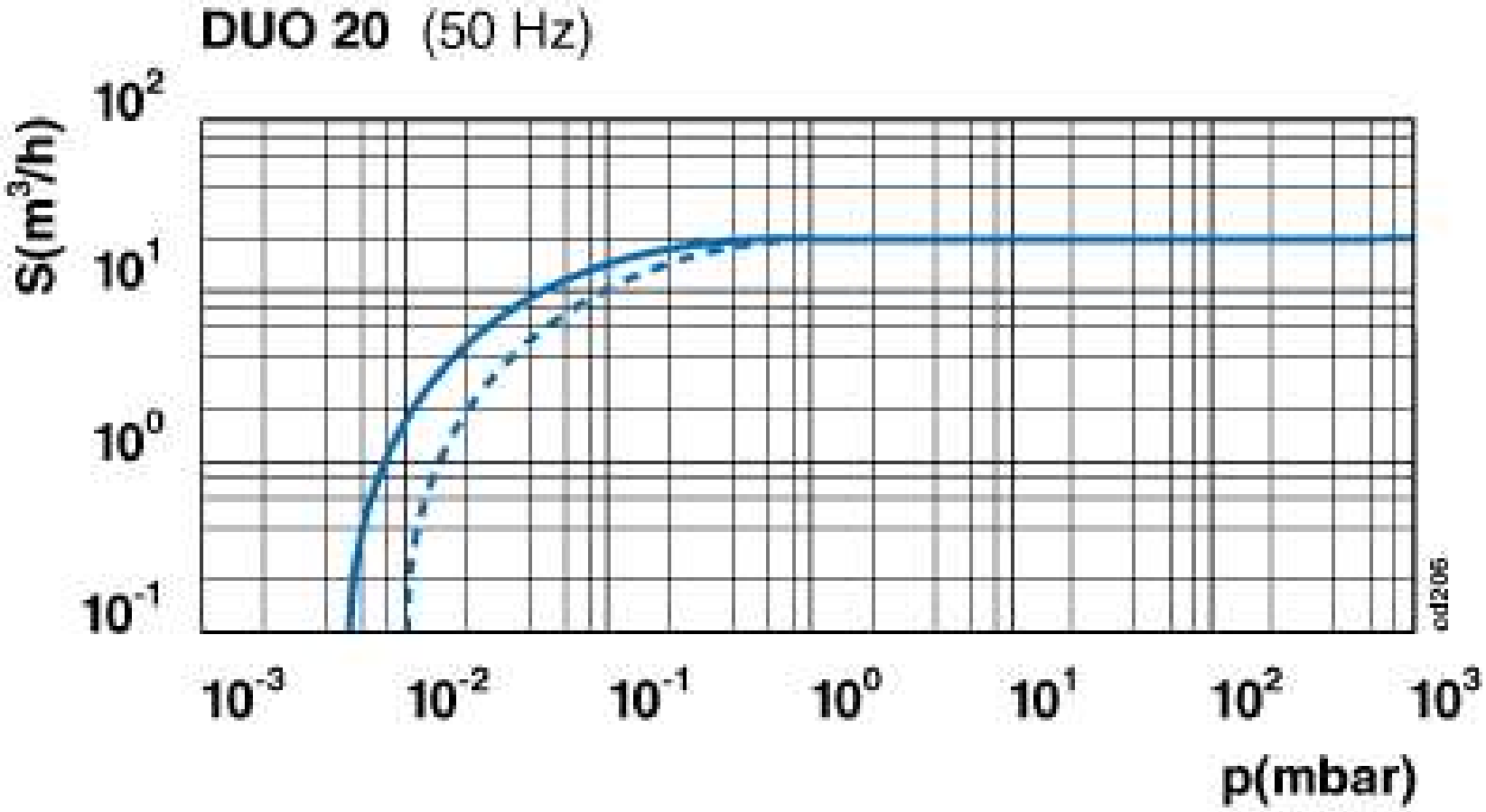
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Alto índice de compresión (10^6) ▪ Efectiva desde presión atmosférica ▪ Bajo mantenimiento. Muy robusta	▪ Retrodifusión de vapores de aceite al sistema ▪ Arrastre de aceite en expulsión. Contamina ▪ Protección en determinados procesos

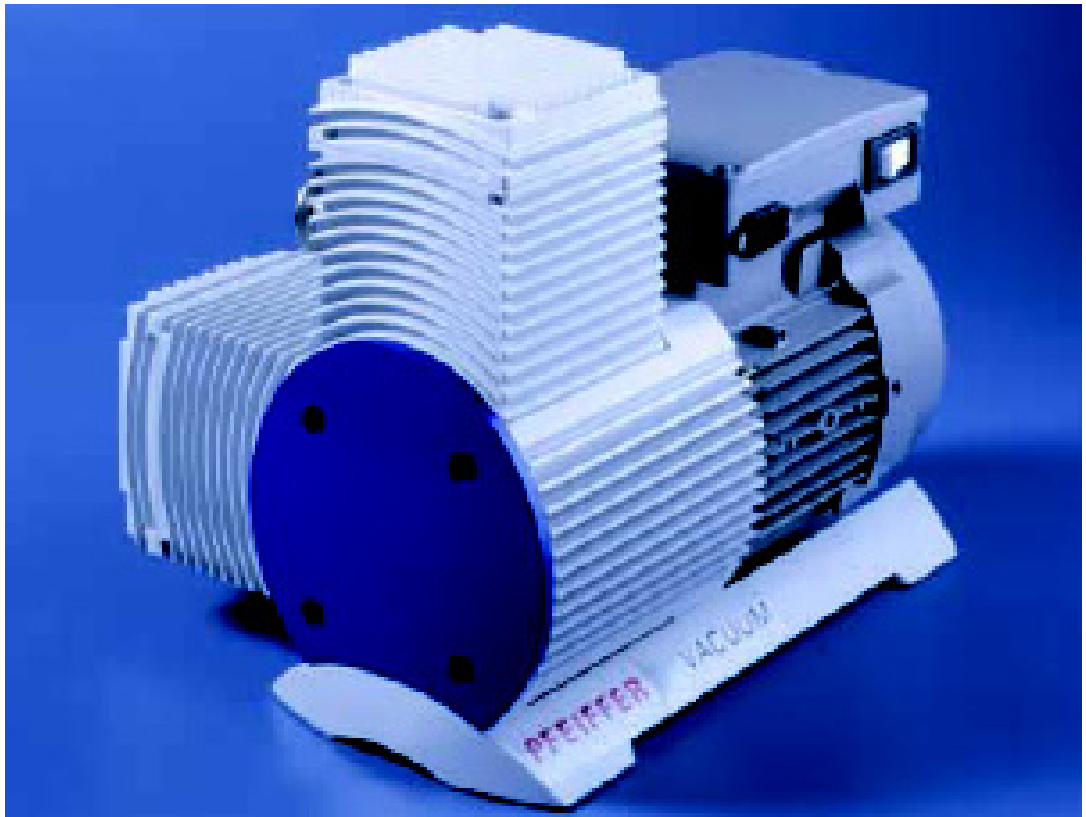
.

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



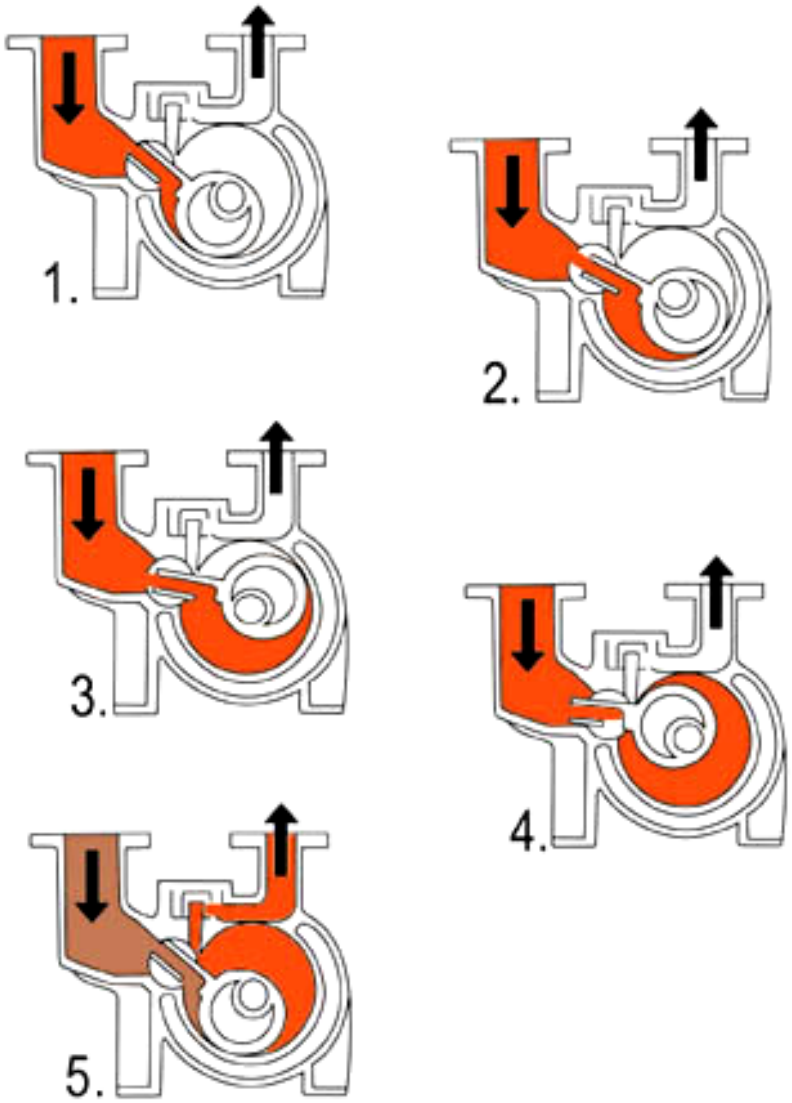
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas rotativas de Pistón



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio de funcionamiento

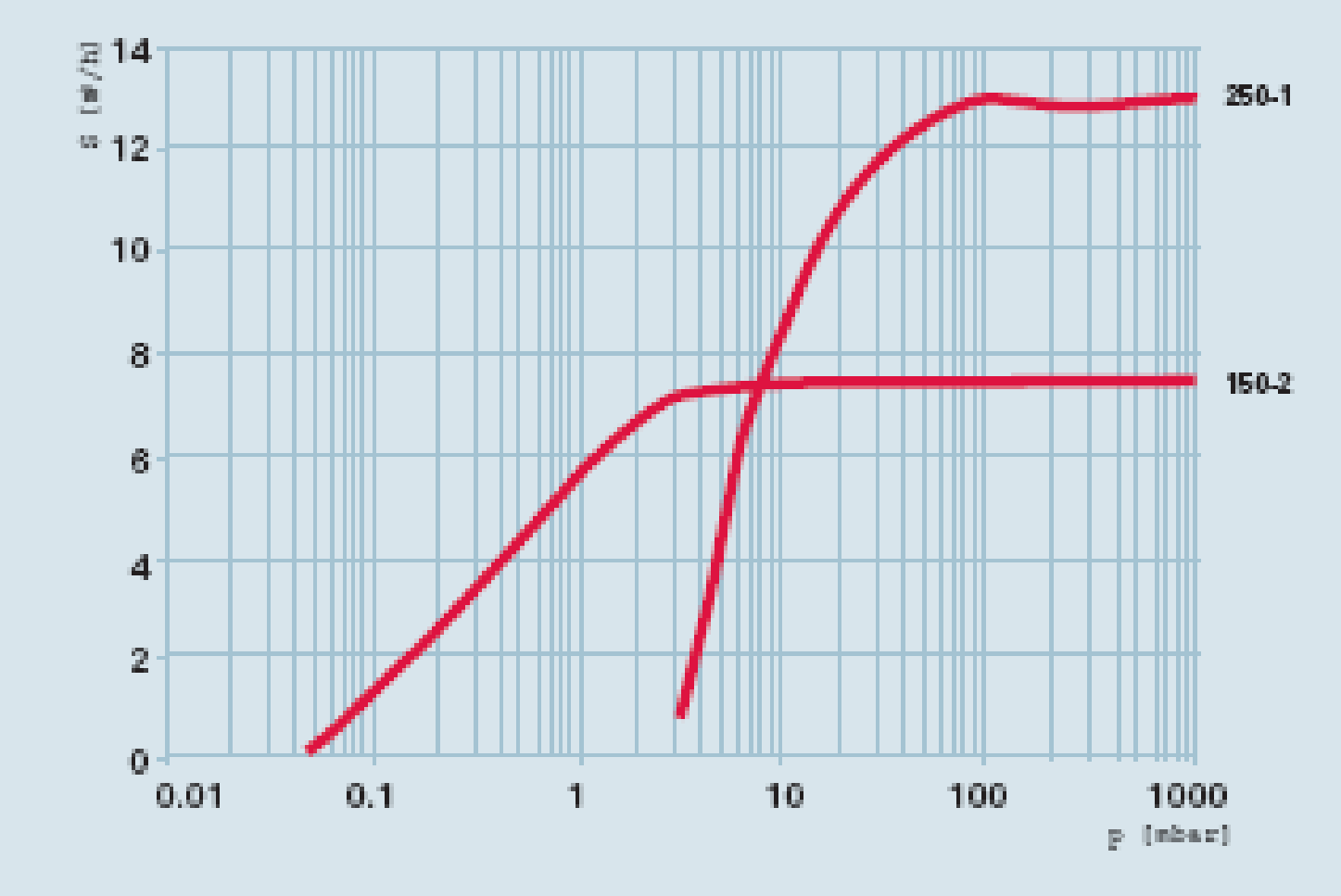


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Exenta de aceite ▪ Exenta de partículas ▪ Ideal como bomba primaria de Bombas turbo moleculares o Grupos Roots ▪ Poco mantenimiento	▪ Ruidosa

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

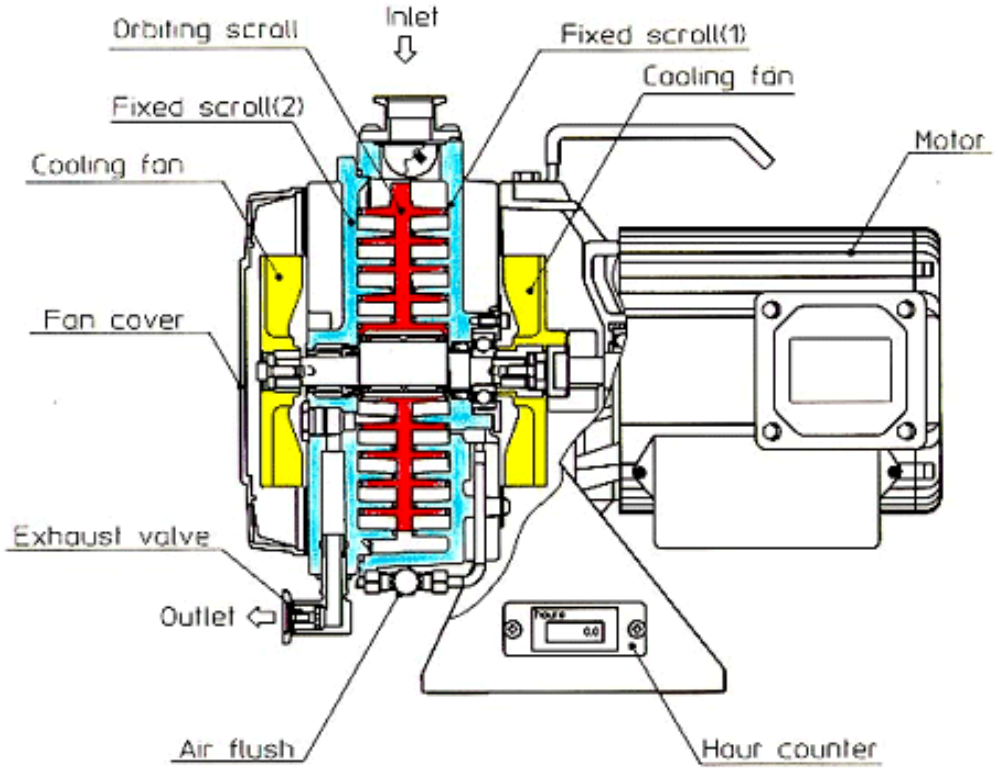


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas Scroll

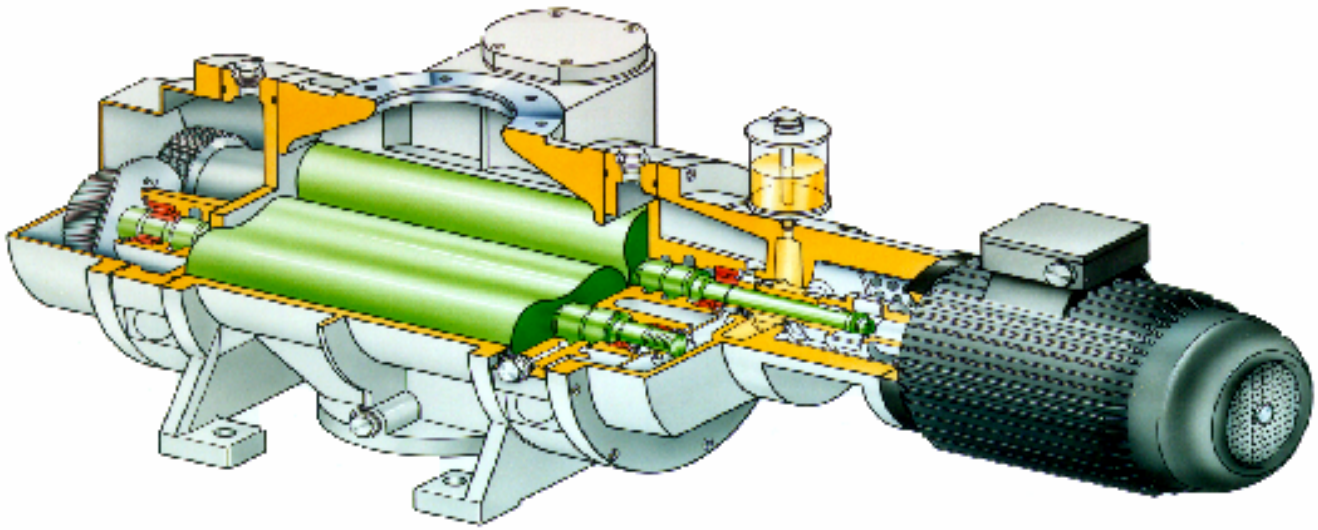
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio funcionamiento



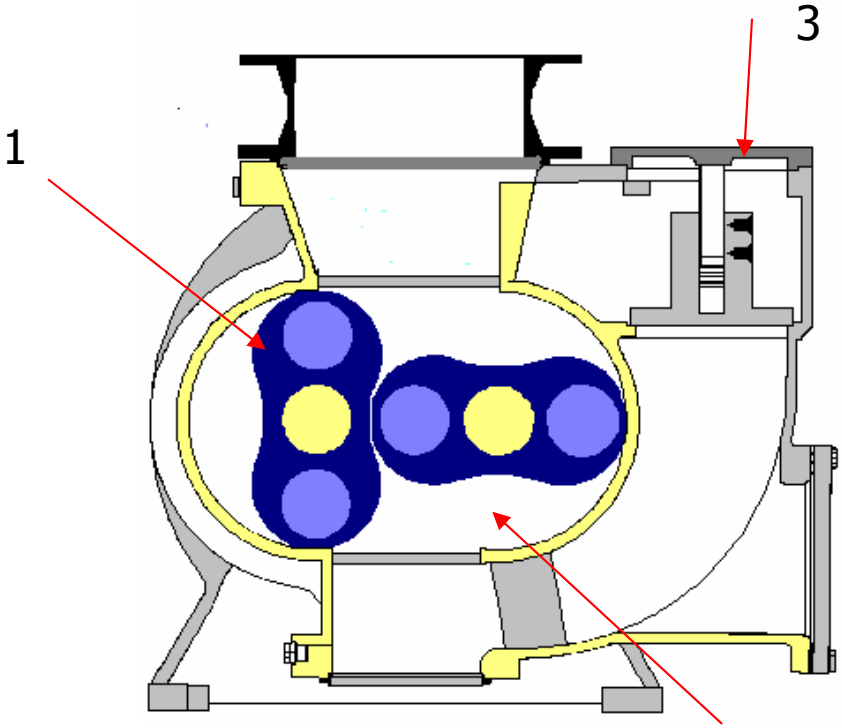
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas Roots

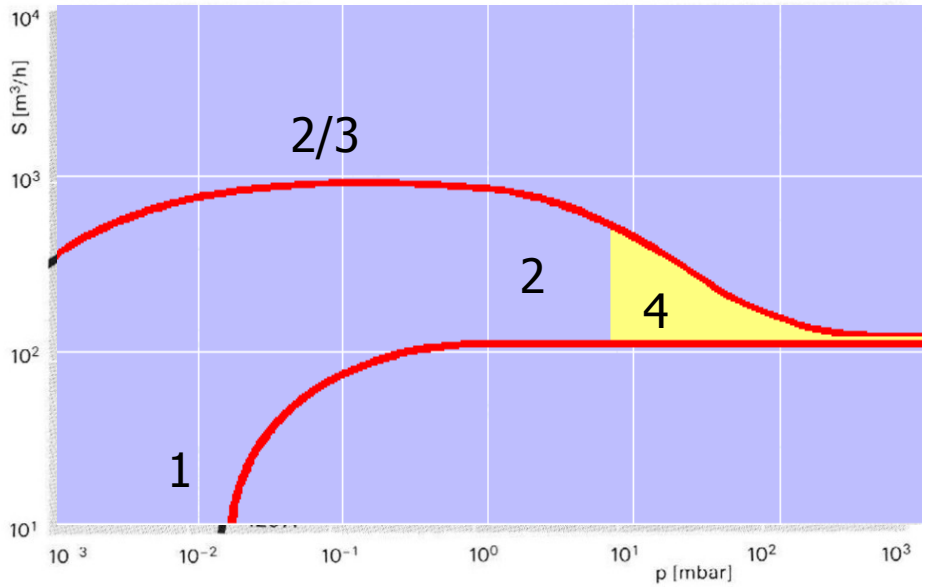


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio Funcionamiento



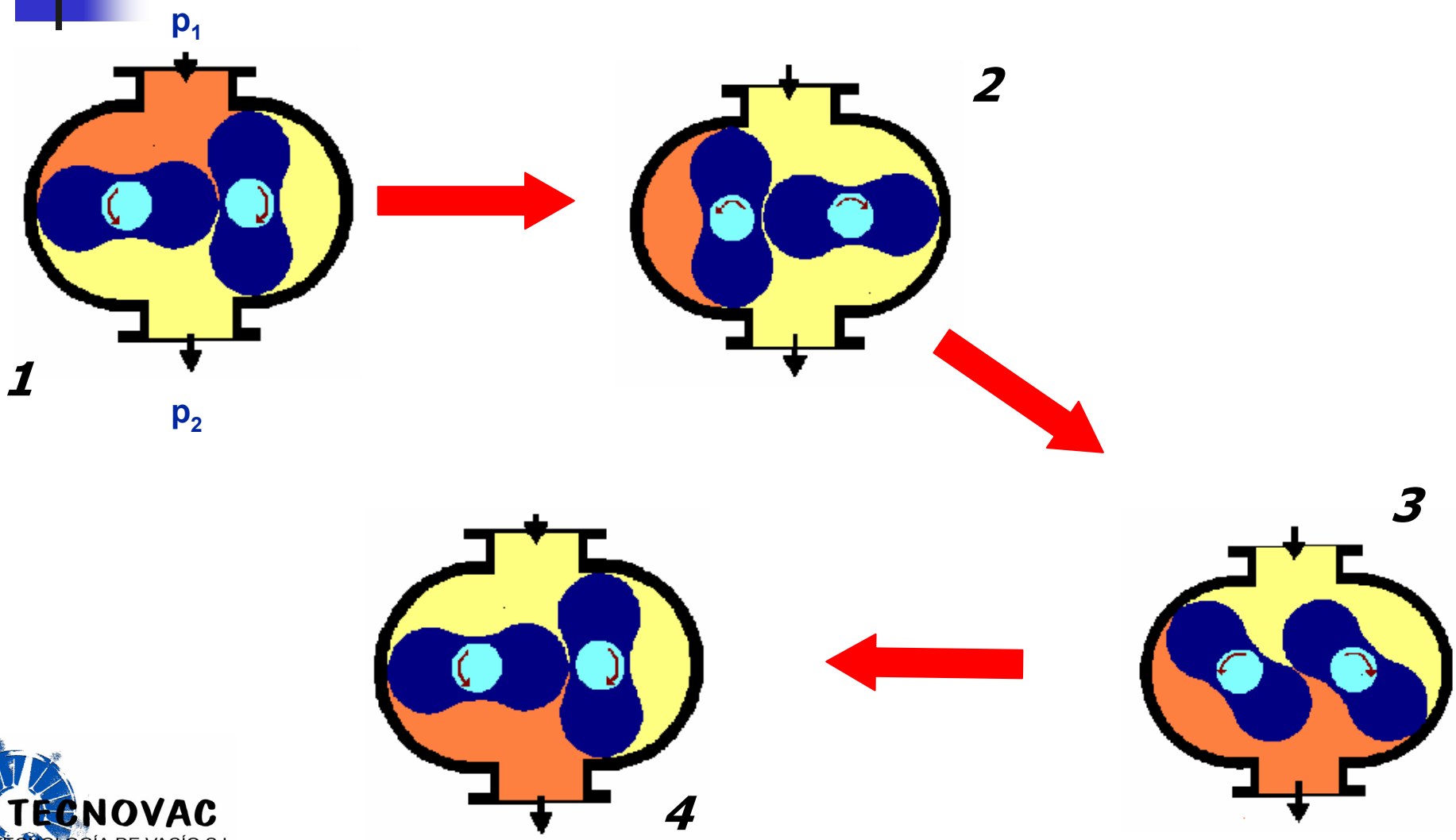
1. Rotor
2. Cámara de bombeo
3. Válvula de sobrepresión



1. Capacidad de bombeo de la bomba previa
2. Capacidad de bombeo de la bomba roots
3. Capacidad de bombeo de la bomba roots con válvula de sobrepresión.
4. Ganancia de capacidad de bombeo.

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Etapas de bombeo



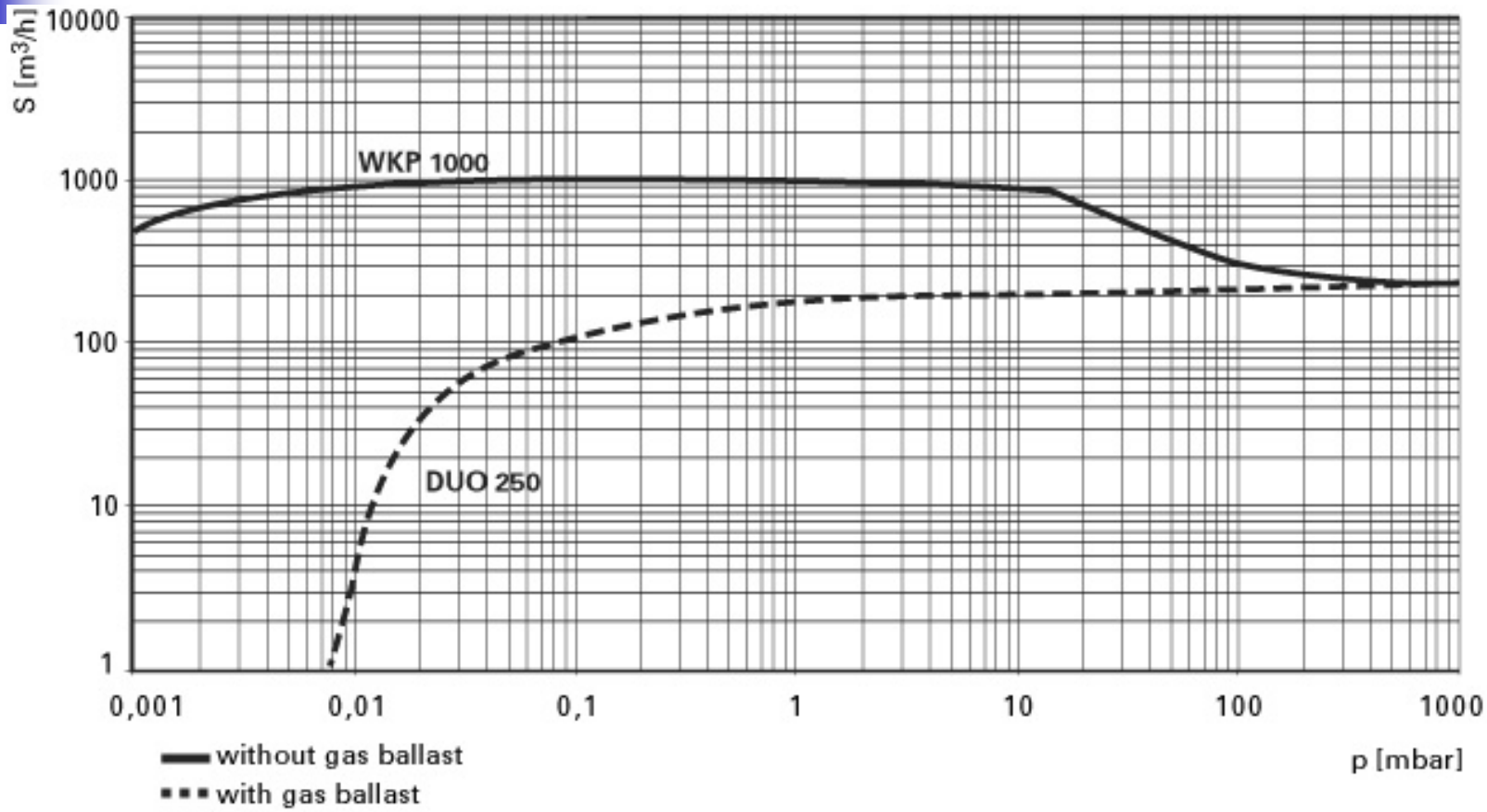
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Alta capacidad de bombeo ▪ Exenta de aceite ▪ Coste funcionamiento bajo	▪ Necesita bomba de apoyo ▪ Tolerancias críticas ▪ Ruidosa

.

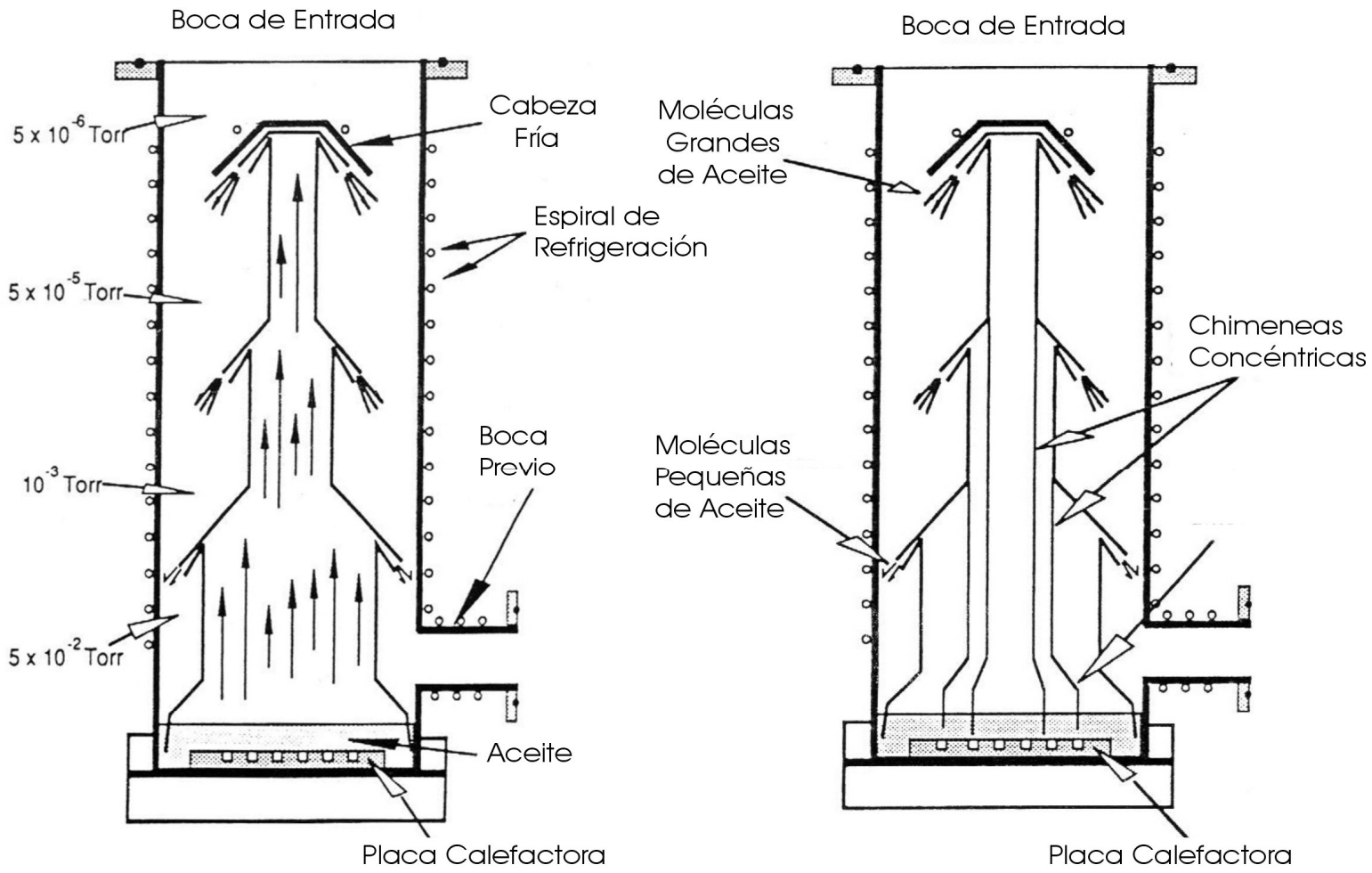
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Bombas difusoras

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Vacíos Finales por Etapa

Corte Esquemático

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio funcionamiento

- Una vez conseguido una P<0,1 mbar con la bomba primaria, se conecta la resistencia calefactora y el fluido se calienta y llega hasta la ebullición produciéndose un aumento de presión (aprox. 3 mbar) en el interior de la chimenea. En este momento, el chorro de vapor generado es expulsado desde el interior a través de las toberas con gran velocidad. Este chorro llega a las paredes refrigeradas de la bomba y condensa, volviendo el fluido a la base de la chimenea donde se calienta de nuevo. El chorro de vapor atrapa las moléculas y las arrastra, en etapas sucesivas, hasta su expulsión en la boca de conexión de la bomba primaria.
- Si aumenta la presión en el vacío primario (P> 0,1-0,5 mbar), las moléculas de gas atrapadas se retrodifunden a través del chorro de vapor y la bomba difusora deja de ser efectiva.

- Para evitar la retrodifusión de vapores de aceite al sistema, se suele colocar una cabeza fría alrededor de la tobera superior. Se consigue así retener gran cantidad de vapores (hasta el 90%) pero se pierde eficiencia de bombeo.

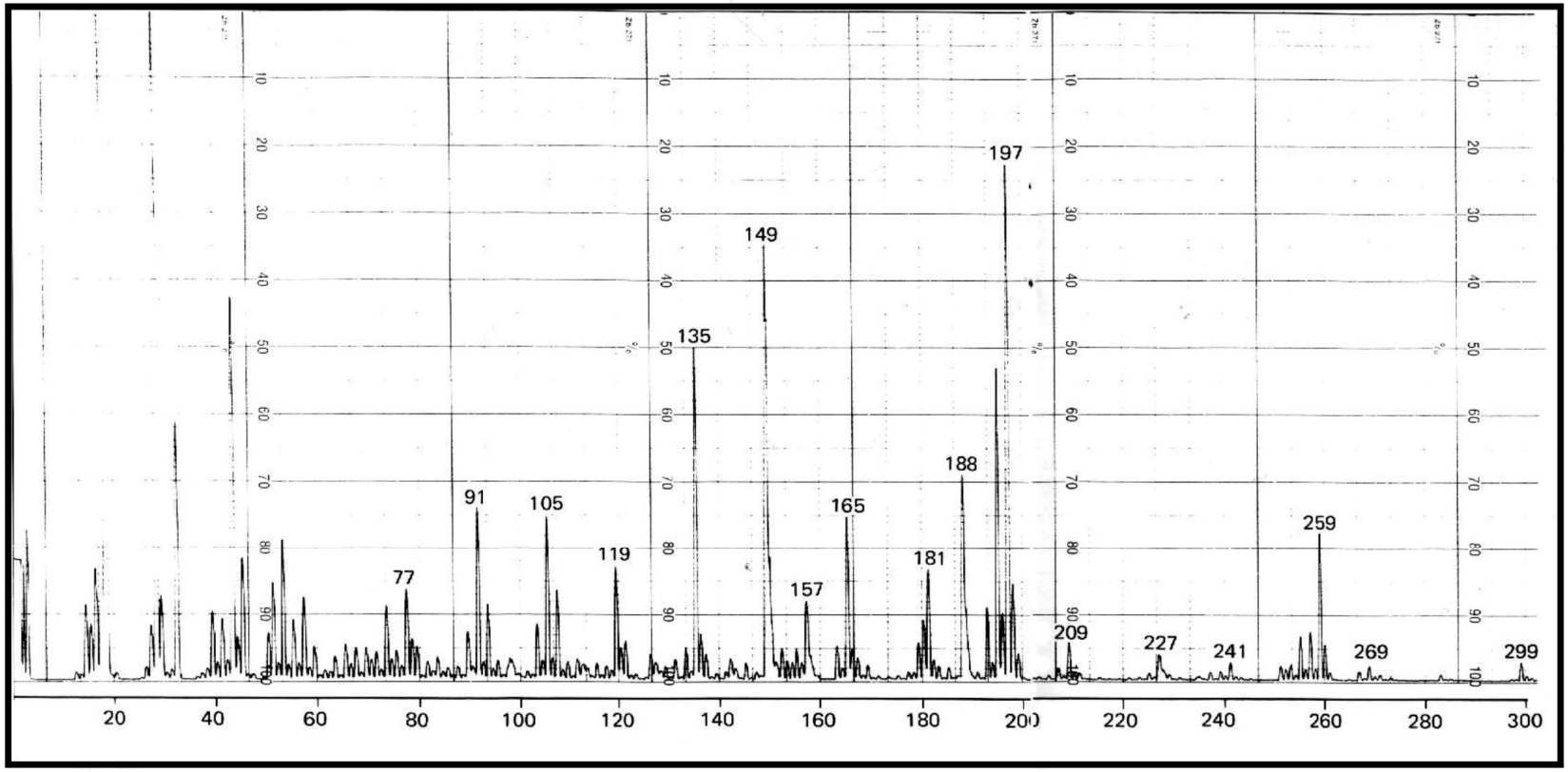
Aceites utilizados

- Características
  - Muy baja presión de vapor
  - No reactivos con los componentes del proceso
  - Buena estabilidad a la oxidación

Características técnicas	*Aceite mineral*	*Aceite sintético*	*Aceite Silicona*	*Pentafenil éter*
Presión de vapor (20º C)	5×10^{-7}	2×10^{-8}	2×10^{-8}	1×10^{-10}
Resistencia química	Buena	Buena	Mejor	Muy buena
Viscosidad (20º C)	171	25	39	1000
Resistencia a oxidación	Buena	Buena	Mejor	Muy buena
Vacío final con trampa de LN_2	$< 6 \times 10^{-8}$	$< 6 \times 10^{-9}$	$< 6 \times 10^{-9}$	$< 6 \times 10^{-9}$
Vacío final con trampa de agua a 20º C	$< 4 \times 10^{-6}$	$< 4 \times 10^{-7}$	$< 6 \times 10^{-8}$	$< 3 \times 10^{-8}$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Contaminación por aceite



Espectro de contaminación producida por aceite DC 704

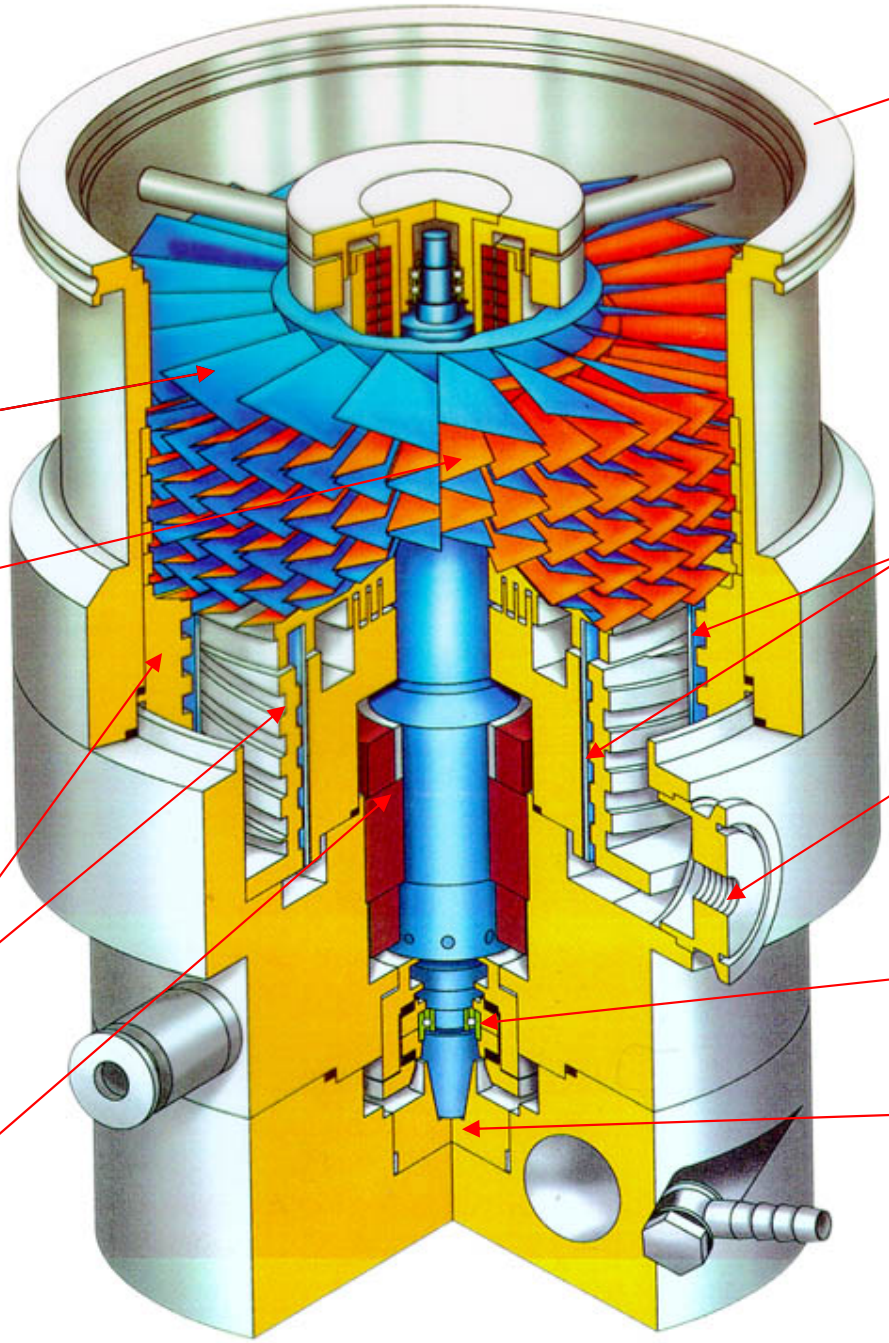
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

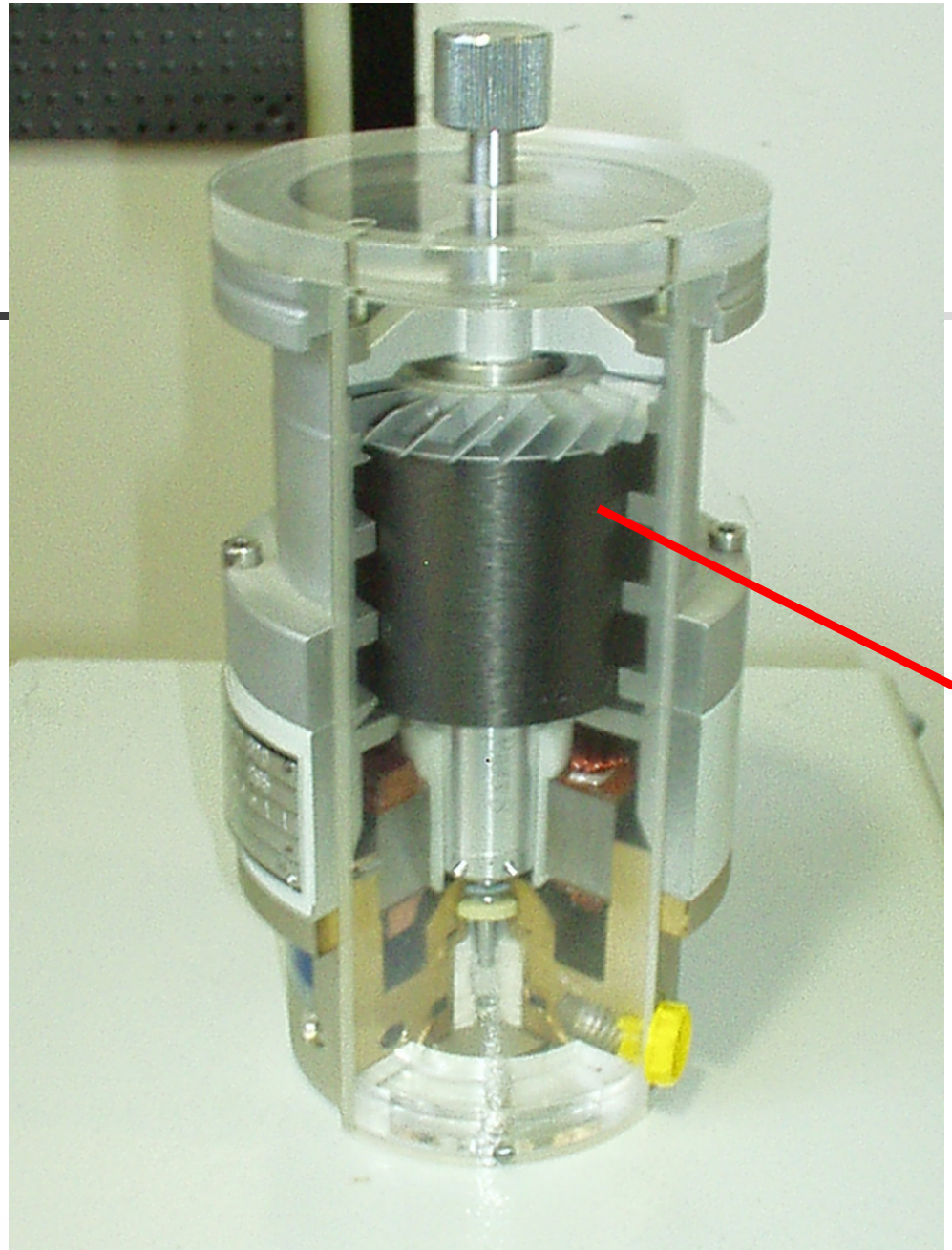
Ventajas	***Desventajas***
▪ Altas velocidades de bombeo ▪ Sistema robusto ▪ Desplaza altas cargas de gas	▪ Contaminación de cámara ▪ Dificultad de manejo ▪ Gran capacidad de accesorios

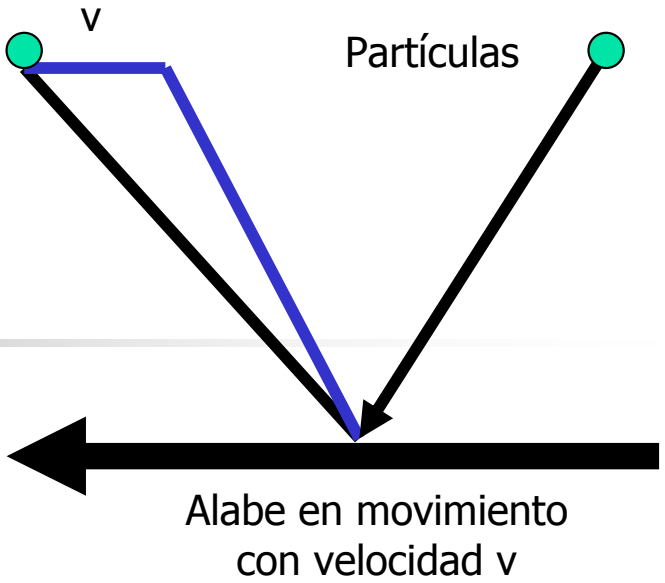
Bombas Turbomoleculares

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.





TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio funcionamiento

Se basan en la dirección y velocidad que adquieren las moléculas de gas al chocar con una superficie móvil a gran velocidad

- Integración de dos bombas en una (turbomolecular y drag)
- Compuesta por unos álabes en movimiento (rotor) y otros en estado estacionario (estator), con las aspas orientadas de forma inversa
- Cada canal rotor - estator supone una etapa de bombeo

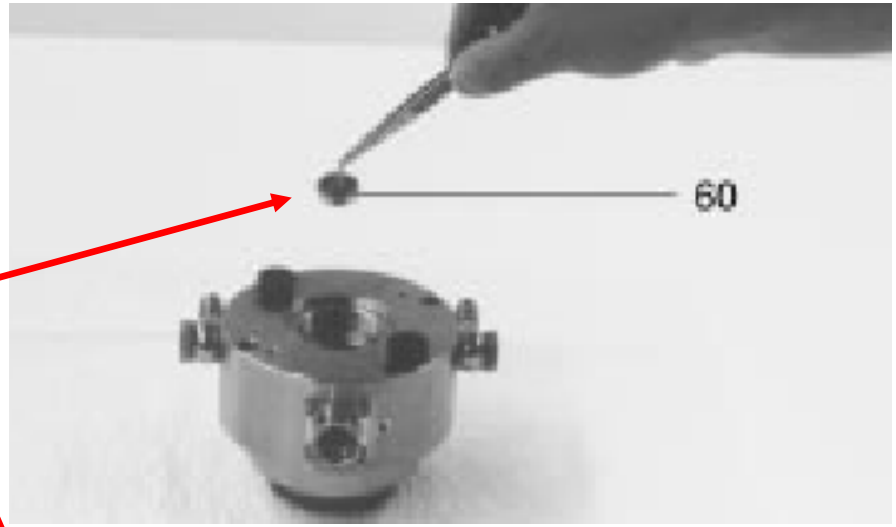
- Las etapas mayores tienen como función succionar el mayor número de moléculas posibles
- Las etapas menores tienen la misión de comprimir las moléculas hasta su descarga (Presión máxima descarga 0.1 mbar)
- Para descargar a presiones más altas , en el rango de 10 mbar, se ha acoplado una bomba molecular, con varias etapas de bombeo Holweck

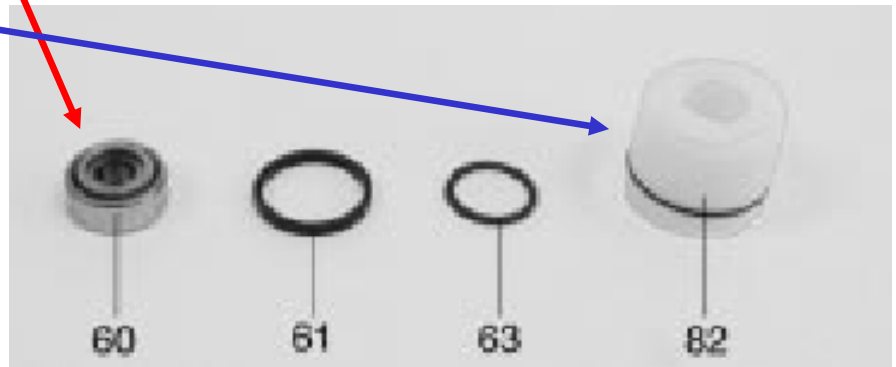
La gran ventaja de estas bombas es que permiten usar como bomba primaria las de membrana (vacío limpio) lográndose eficiencia similares a las de bombas rotativas

Mantenimiento requerido

- Cambio de los rodamientos cada ***dos años***

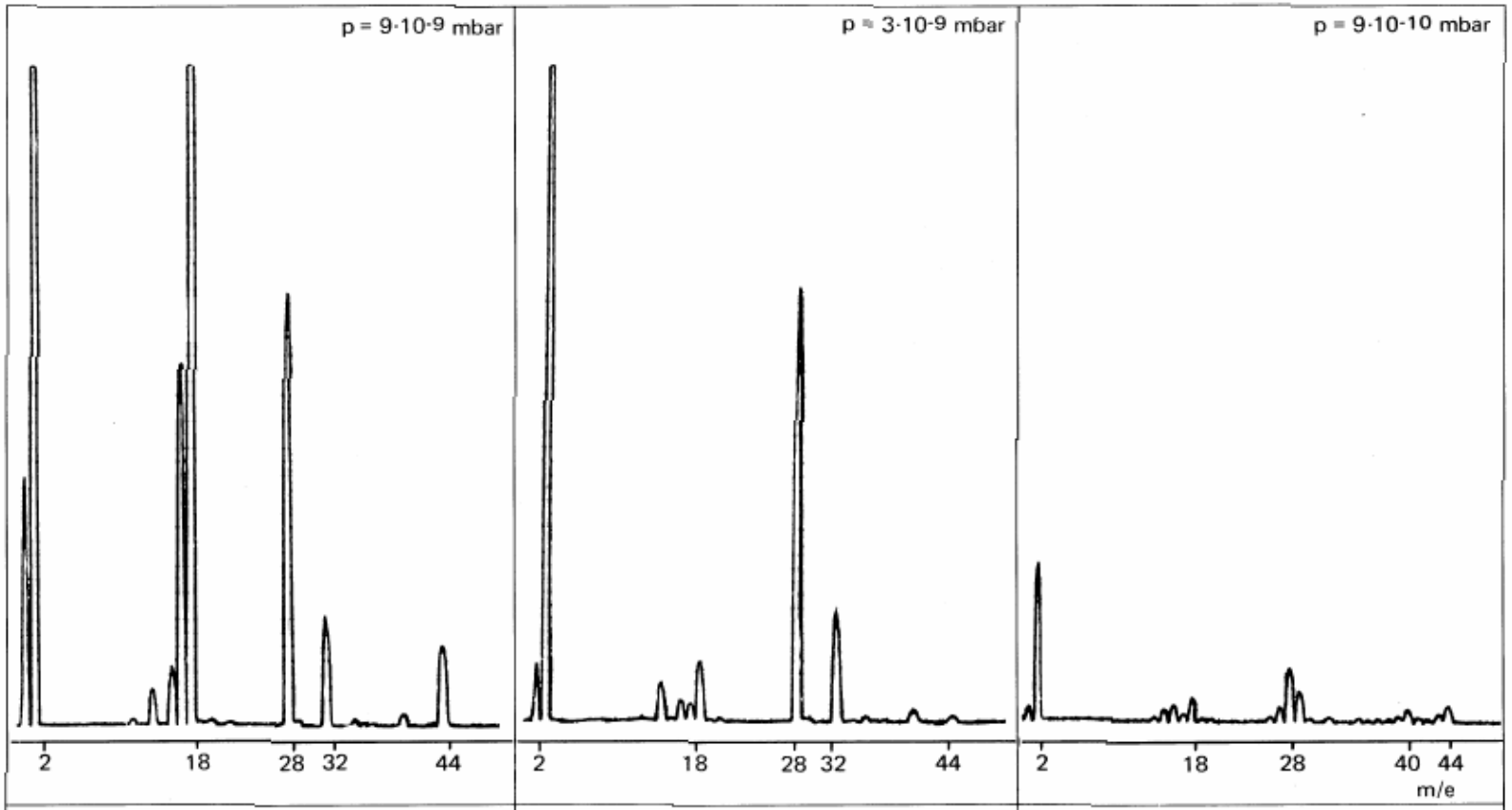
- Cambiar la mecha de lubricación ***cada año***





TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Gases residuales en cámaras de vacío



Bomba Turbomolecular	Bomba Turbomolecular + Placa fría	Bomba Turbomolecular + Placa fría + Bomba sublimación Titanio

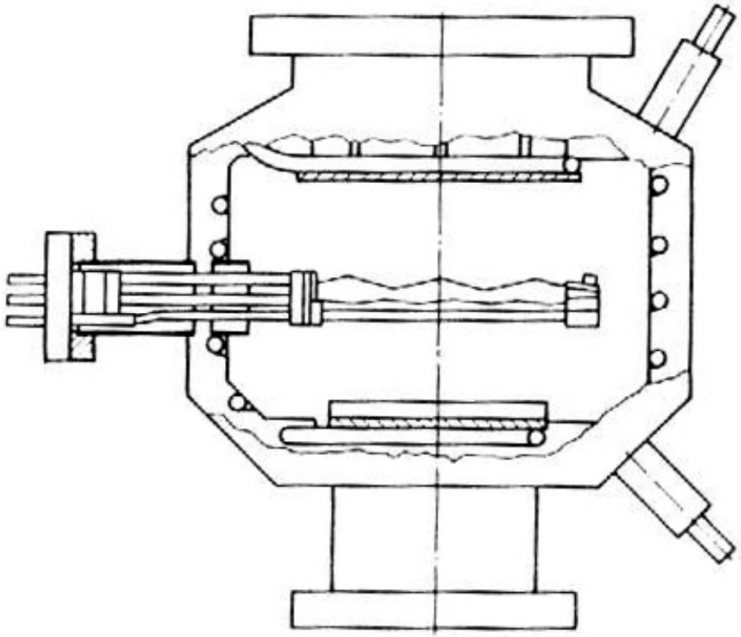
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Vacío limpio, sin aceite ▪ Fácil manejo, sin válvulas ▪ Máxima eficiencia de bombeo en tiempo corto	▪ No admite golpes ▪ Sensible a flujos grandes de entrada de gas

Bombas sublimación de titanio

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Bomba de sublimación de Ti
(Corte transversal)

Principio funcionamiento

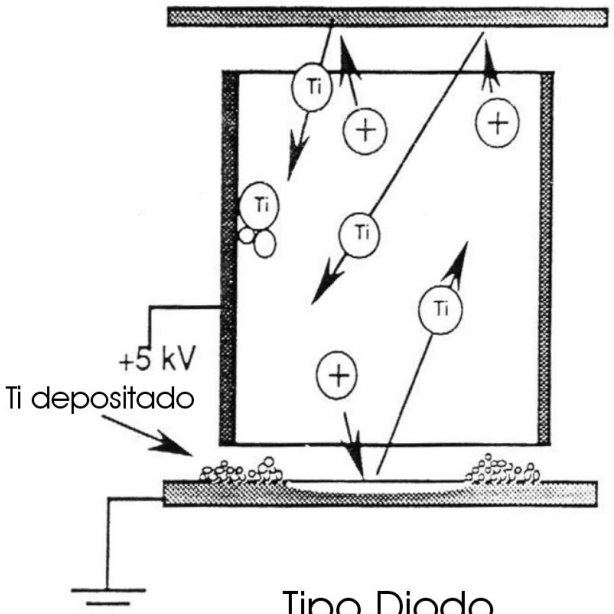
Se basan en las propiedades de efecto " getter" que tiene el titanio cuando sublima

- Un filamento de Ti-Mo se calienta hasta que el Ti evapora y se dirige a paredes laterales formando una capa
- Las partículas de gas al incidir sobre la capa "getter" quedan quimisorbidas formando compuestos estables de Ti, con presiones de vapor muy bajas

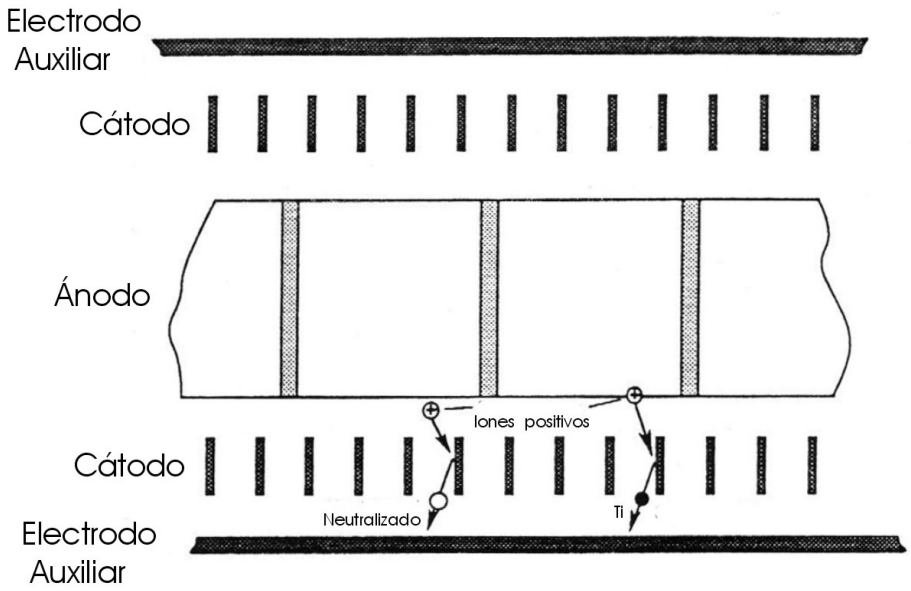
Las bombas de sublimación de Ti se usan como complemento de las iónicas o turbomoleculares

Bombas Iónicas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Tipo Diodo



Tipo Triodo

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio funcionamiento

Bombas tipo diodo

- Compuesta de 2 cátodos y un ánodo con varios cilindros en posición intermedia
- Imán permanente rodeando el cuerpo de la bomba
- Cuando se produce la descarga, los electrones se dirigen hacia el ánodo y tienen un movimiento helicoidal alrededor de las líneas del campo magnético
- Los electrones ionizan moléculas de gas que aparecen en su larga trayectoria.
- Los iones positivos producidos bombardean los cátodos y arrancan las moléculas de Ti que posteriormente forman las películas “getter” sobre las superficies del ánodo.

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Estas bombas tienen muy poca capacidad de bombeo para gases nobles

Bombas tipo Tríodo

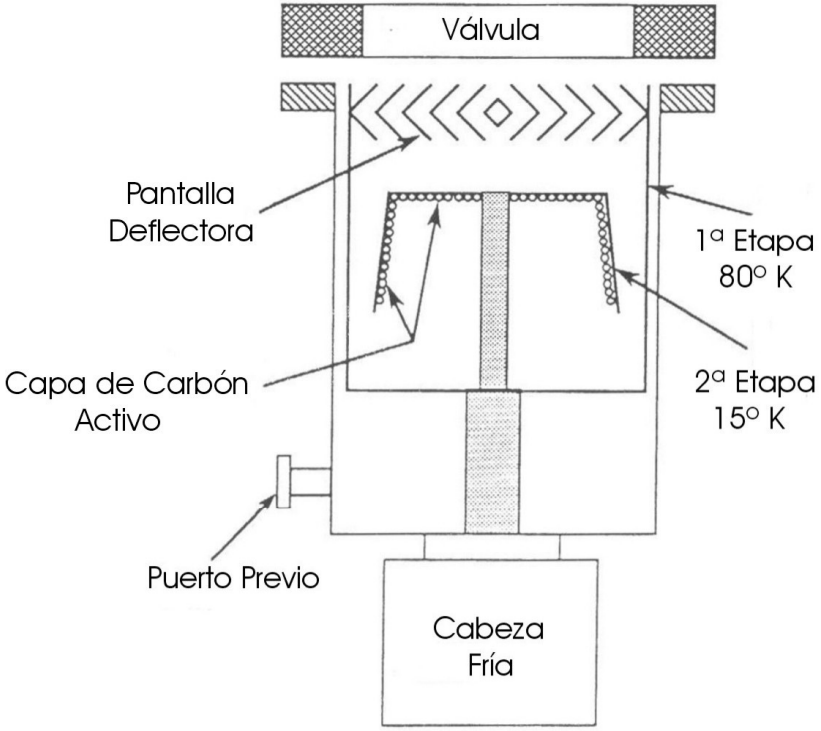
- Se añaden dos electrodos exteriores auxiliares para bombear mejor los gases nobles.
- El rango de trabajo de estas bombas es 10^{-2} - 10^{-11} mbar aunque se consigue su ***máxima velocidad de bombeo entre 10^{-6} y 10^{-8} mbar***
- La vida media de los cátodos variará dependiendo de la presión de trabajo. Por ejemplo, a ***10^{-5} la vida media será de 2.000-5000 horas y a 10^{-7} mbar puede alcanzar las 200.000 horas.***

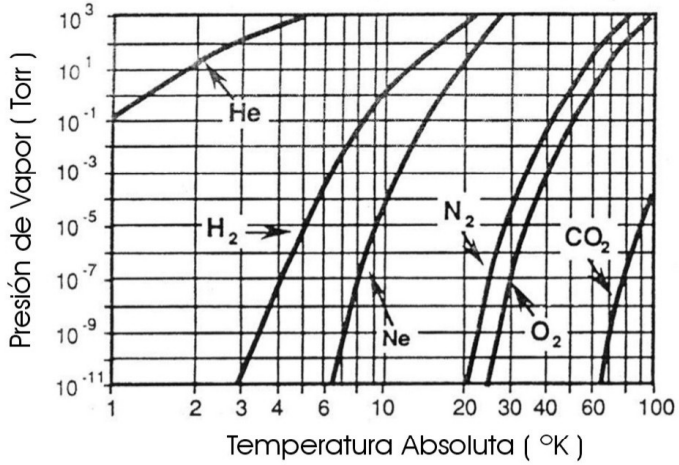
Ventajas / Desventajas

Ventajas	***Desventajas***
▪ Sin ruidos ni vibraciones ▪ Vacío límite de 10^{-11} mbar ▪ Vacío muy limpio, sin apoyo de bomba previa	▪ Capacidad de bombeo varia con la presión y tipo de gas ▪ Puesta en funcionamiento a vacíos muy bajos ▪ Muy pesada, contiene imanes

Bombas criogénicas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.





Curvas de presión de vapor

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio de funcionamiento

El nitrógeno o helio líquido al expansionarse generan una superficie fría en la que condensan los gases y vapores del sistema

- La bomba esta compuesta por una cabeza fría de dos etapas y un compresor que hace circular el helio en un circuito cerrado. Para evitar sobrecargas por radiación, estas bombas van equipadas con una pantalla y un deflector que en algunos casos se refrigera con LN_2
- La superficie fría está recubierta interiormente de una capa de carbón activo.

- En la zona del deflector, que es opaco para reflejar la radiación, se alcanza una temperatura de aprox. 80 ºK y se produce la condensación del vapor de agua. En la superficie de la cabeza fría se alcanzan entre 10-20ºK y a esta temperatura se consigue la condensación de O_2, Ar, N_2 y otros gases (ver tabla).
- En la capa de carbón activo se absorben el hidrógeno, el neón y el helio.

Ventajas / Desventajas

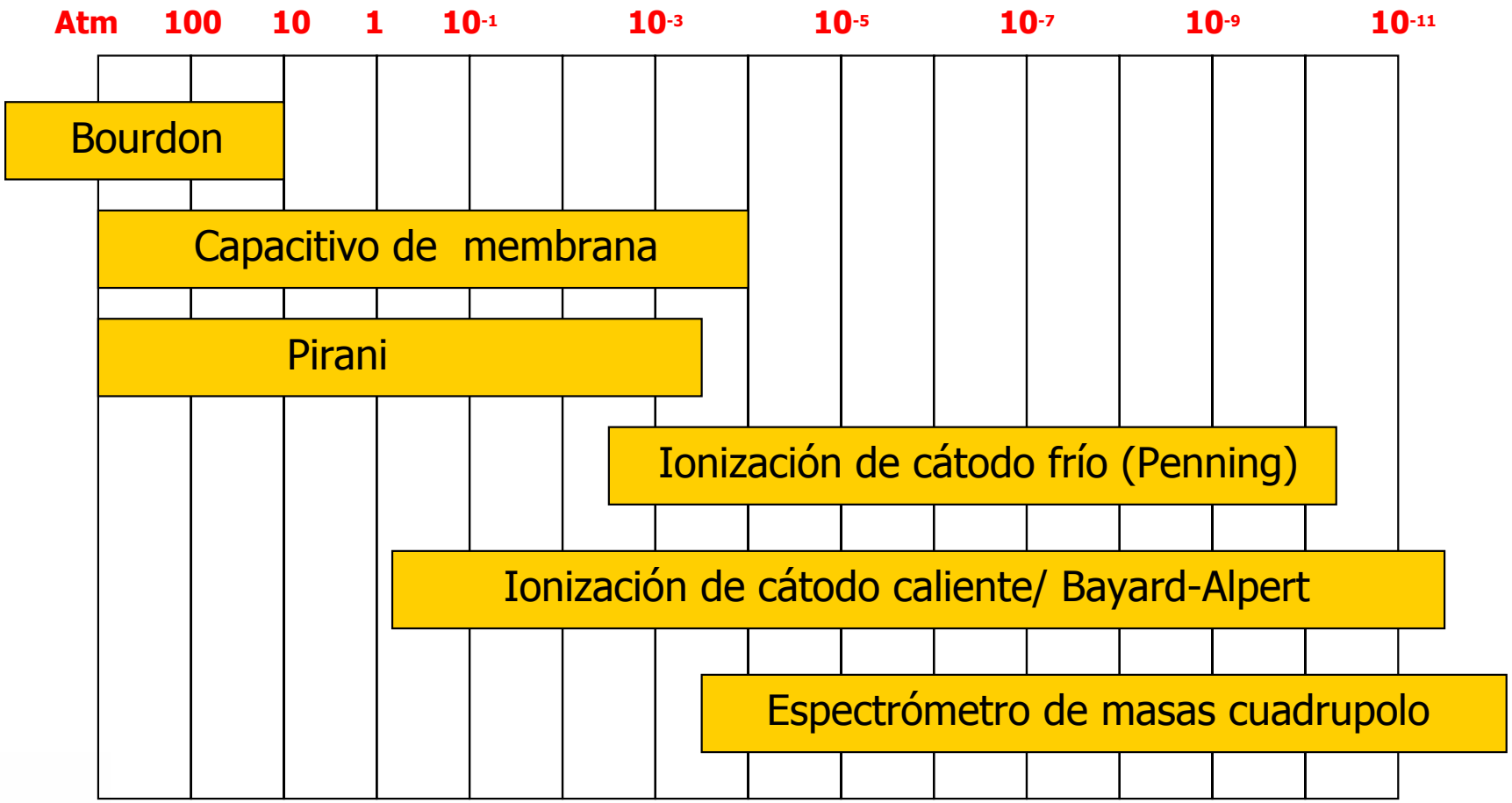
Ventajas	***Desventajas***
▪ Alta capacidad de bombeo para H_2O ▪ Desplaza gran flujo de gas ▪ Vacío limpio	▪ Largo tiempo en conseguir los 20ºK ▪ Necesita regeneración ▪ Genera vibraciones en sistema ▪ Mantenimiento costoso

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Medidores de vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

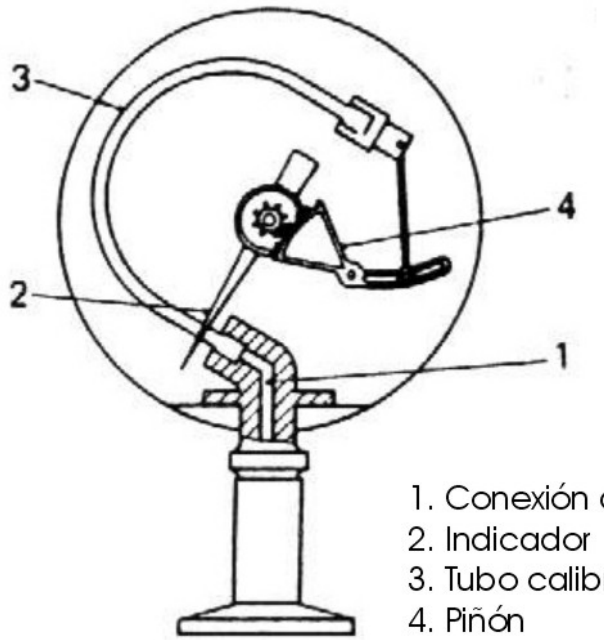
Medición de vacío



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Medidor tipo Bourdon

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



1. Conexión de vacío
2. Indicador
3. Tubo calibrado
4. Piñón

Funcionamiento Interno

El rango de medida es entre 1000 –10 mbar con una tolerancia de +/- 10 mbar

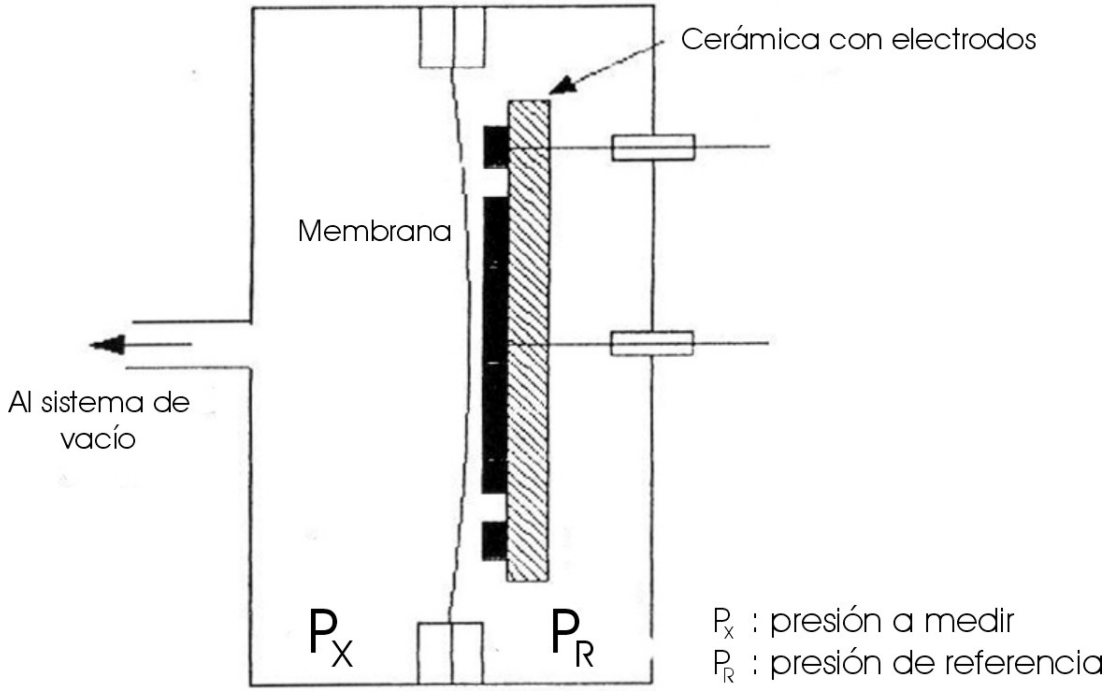
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio funcionamiento

- Se compone de un tubo en forma de arco, cerrado por un extremo mientras que el otro se conecta al sistema de vacío donde se va a medir la presión. Al hacer vacío al tubo este se arqueará con mayor o menor amplitud en función del vacío conseguido y por medio de un juego de engranajes se moverá una flecha que se desplaza sobre una escala calibrada

Medidor Capacitivo

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



Dependiendo del espesor de la membrana se medirán diferentes intervalos de presión, que oscilará entre 1000 – 10^{-4} mbar

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

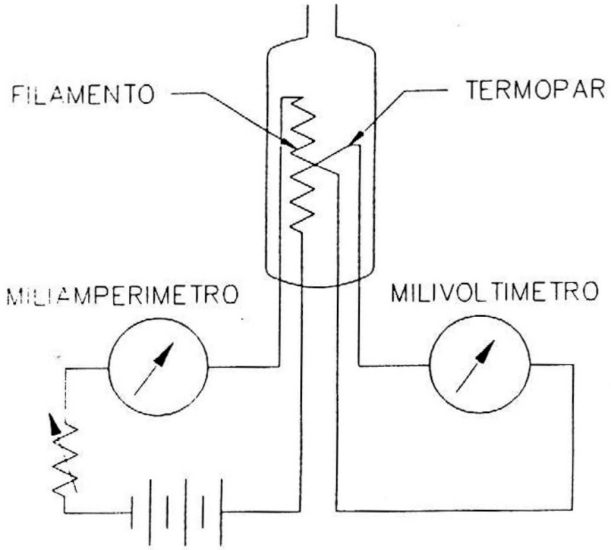
Principio funcionamiento

- Está compuesto por un volumen dividido en dos cavidades independientes separadas por una membrana metálica. Una de las cavidades se conecta al sistema de vacío, mientras que la otra, con una presión determinada, contiene un electrodo que está muy cerca de la membrana. Al hacer vacío se deformará la membrana, variando la medida de la capacidad eléctrica del electrodo. La señal obtenida se procesará y amplificará para obtener una salida de tensión continua que da la medida de la presión
- Las membranas pueden ser de material cerámico, inconel o acero inoxidable

Sensores tipo Pirani

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Entre ciertos rangos de presión, los gases conducen térmicamente. Los sensores Pirani utilizan este fenómeno físico para medida de la presión



El rango de medida de estos sensores es de 1000-5x10^{-4} mbar.

La mayor precisión se obtiene entre 100 – 10^{-2} mbar

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Tipos de sensores Pirani

Sensores de resistencia variable

- El filamento forma parte de un ***puente de Wheatstone*** y es alimentado con una intensidad constante. Al variar la presión, varía la temperatura del filamento y por tanto su resistencia, midiéndose la variación del conjunto con un galvanómetro

Sensores de resistencia constante

- el filamento se alimenta con una intensidad variable para mantener constante la temperatura del sensor a diferentes rangos de presión.

Verificación sensor Pirani

- Empleo de un sensor patrón de referencia
- Se conectan el sensor patrón y el Pirani a comprobar en una cámara de vacío que alcance una $P<10^{-4}$ mbar
- Se ajusta el potenciómetro “Atm” en el medidor del sensor Pirani a comprobar, hasta que el medidor muestre 1000 mbar
- Se hace vacío en la cámara hasta $P<1\cdot10^{-3}$ mbar. Vacío medido con el sensor patrón
- Si el sensor Pirani a comprobar está contaminado indicará $P>1\cdot10^{-3}$ mbar
- Se intenta ajustar con el potenciómetro “Vac”, para comprobar si la ganancia permite alcanzar $P<10^{-3}$ mbar
- Si nos e consigue $P<10^{-3}$ mbar, el sensor está contaminado y hay que limpiarlo o sustituirlo

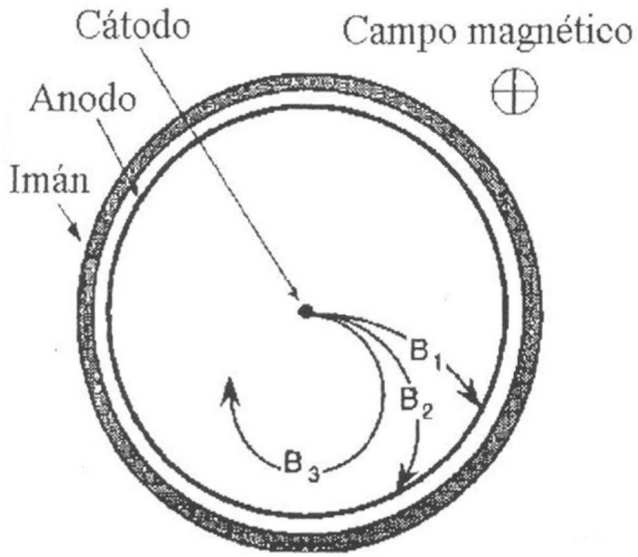
Procedimiento de limpieza del sensor Pirani

- Retirar y limpiar el filtro
- Limpiar la cámara de medida con un disolvente (p.e.benceno), manteniendo el disolvente un tiempo para que sea más efectivo
- Eliminar el disolvente
- Añadir alcohol isopropílico para eliminar los restos de disolvente. Repetir la operación varias veces
- Secar a 70 ºC
- Añadir filtro
- Verificar nuevamente la medida. Si no se alcanza el vacío final hay que sustituir el sensor

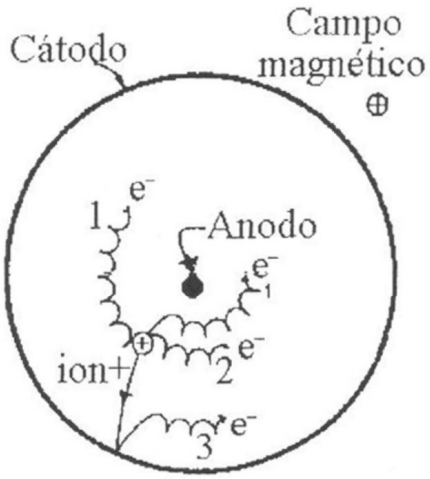
Sensores de cátodo frío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Son sensores muy robustos y su rango de medida es desde 10^{-2} a 10^{-9} mbar



Tipo magnetrón

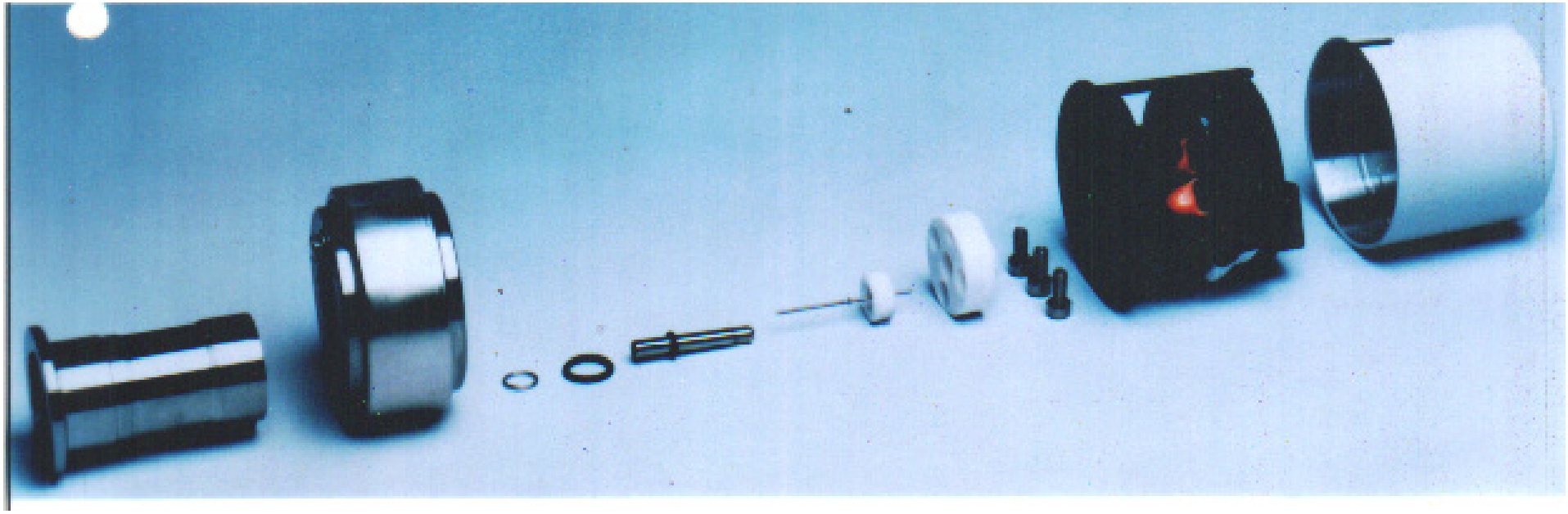


Tipo magnetrón - invertido

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio de funcionamiento

- Se aplica un voltaje en el cátodo que genera una descarga (con Presión en la cámara < 10^{-2} mbar)
- Los electrones producidos se dirigen al ánodo siguiendo trayectorias curvas, debido al campo magnético aplicado paralelo al eje del ánodo
- Los electrones ionizan moléculas de gas en su trayectoria, generando a su vez nuevos electrones e iones, manteniéndose la descarga hasta presiones muy bajas (10^{-9} mbar)
- La medida de la señal de los iones producidos nos indica el vacío de la cámara
- En caso de contaminación del electrodo y sus paredes se regenera fácilmente con una simple limpieza



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Verificación sensor Penning

- Se emplea un sensor patrón de referencia
- Se conectan sensor patrón y sensor Penning a comprobar en una cámara de vacío que alcance una $P<10^{-6}$ mbar
- Se verifican los valores de medida de ambos sensores
- Si el sensor Penning esta contaminado mostrará un valor de medida menor que el sensor patrón

Procedimiento de limpieza del sensor Penning

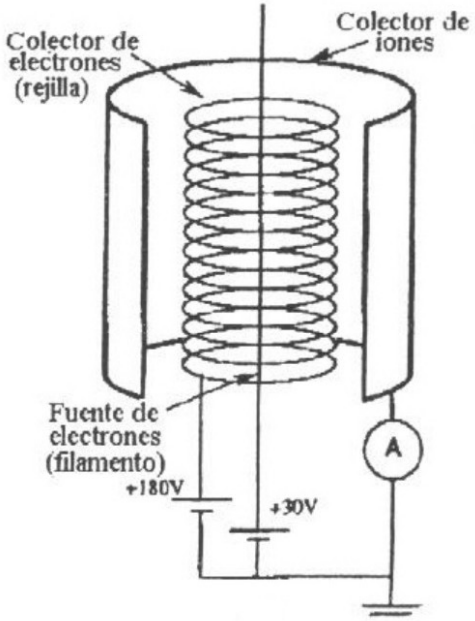
- Seguir manual de instrucciones para retirar las partes que nos permita acceder a la cámara de medida
- Limpiar cámara de medida y electrodo con unas lija de granulometría fina
- Aclarar con los restos de suciedad con alcohol isopropílico y secar a 40 ºC
- Reemplazar el “igniter” (iniciador de la descarga)
- Montar nuevamente todas las partes y verificar la medida del sensor
- Si el sensor está muy contaminado, hay que sustituirlo

Sensores de cátodo caliente

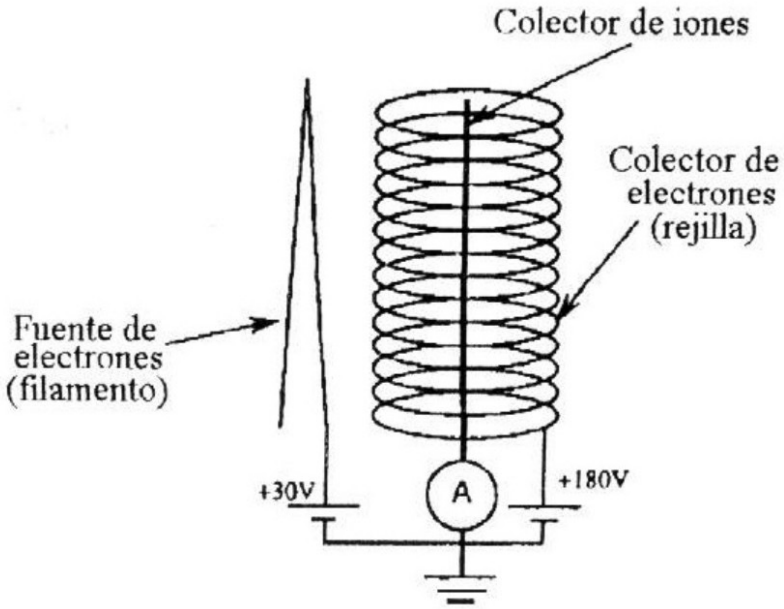
Sensores Bayard-Alpert

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

El rango de medida de estos manómetros es de 10^{-3} –10^{-8} mbar



Cátodo caliente convencional



Bayard - Alpert

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio de funcionamiento

- El cátodo caliente emite electrones que son acelerados por un campo eléctrico, ionizando en su trayectoria moléculas de gas
- Los iones positivos se recogen en el ánodo, -colector de iones –
- La relación entre la corriente de iones producidos y la corriente eléctrica emitida por el filamento da una lectura de presión

$$P = \frac{I^{+}}{I^{-} \times S}$$

Siendo S la sensibilidad del manómetro para cada gas

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Limites de detección

- El límite de detección del detector disminuye, debido al ruido de señal generados por los Rayos X
- El sensor Bayard-Alpert se desarrollo para extender el límite de medida de los sensores de ionización a presiones más bajas
- El diseño de la fuente de ionización ha variado para disminuir la posibilidad de generación de Rayos X, con una rejilla intermedia entre el filamento y el colector de iones → Se reduce a 10^{-3} la cantidad producida llegándose a medir presiones de ***10^{-11} mbar***

Detección de fugas

Detectores de Helio

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Definición

Se define "fuga" como un diminuto orificio en un recipiente o conducto, a través del cual los gases, vapores o incluso líquidos fluyen desde una zona donde la presión es mayor hacia otra en donde la presión es menor

$$Q = \frac{\Delta P \times V}{T}$$

Q: Índice de fuga

ΔP: Variación de presión

V: Volumen

T: Tiempo

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Unidades de medida de fuga

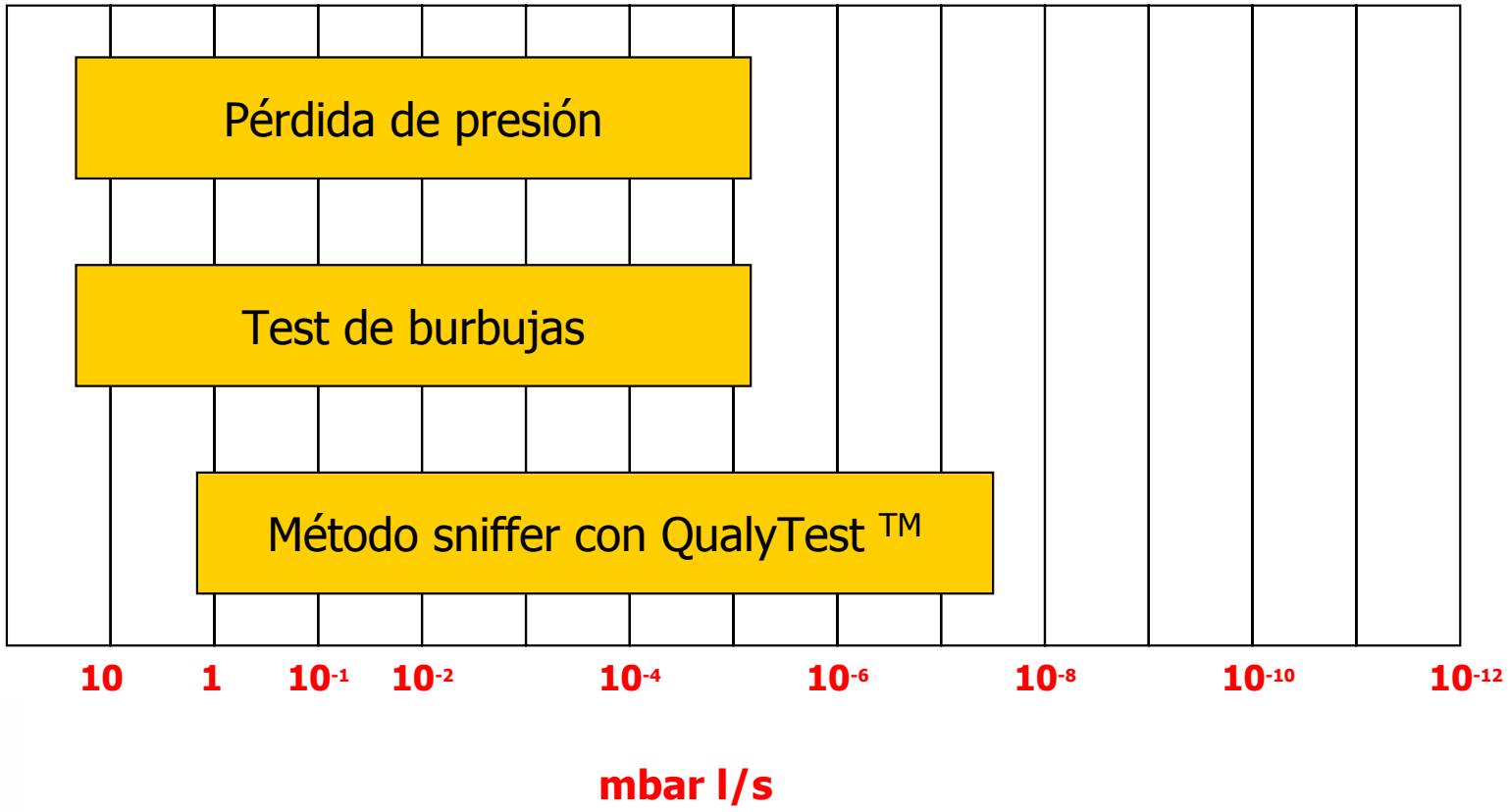
	Pa m^3 /s W	mbar/ls	Torr l/s	Atm cm^3/s	cm.	Mol/s
Pa m^3 /s W	1	10	7.5	9.87	592	$4.41\ 10^{-4}$
mbar/ls	0.1	1	0.75	0.987	59.2	$4.41\ 10^{-5}$
Torr l/s	0.133	1.33	1	1.32	78.9	$5.85\ 10^{-5}$
Atm cm^3/s	0.101	1.01	0.76	1	59.8	$4.45\ 10^{-5}$
cm.	$1.69\ 10^{-3}$	$1.69\ 10^{-2}$	$1.27\ 10^{-2}$	$1.67\ 10^{-2}$	1	$7.45\ 10^{-7}$
Mol/s	$2.27\ 10^{3}$	$2.27\ 10^{4}$	$1.7\ 10^{4}$	$2.24\ 10^{4}$	$1.34\ 10^{6}$	1

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Métodos de localización de fugas

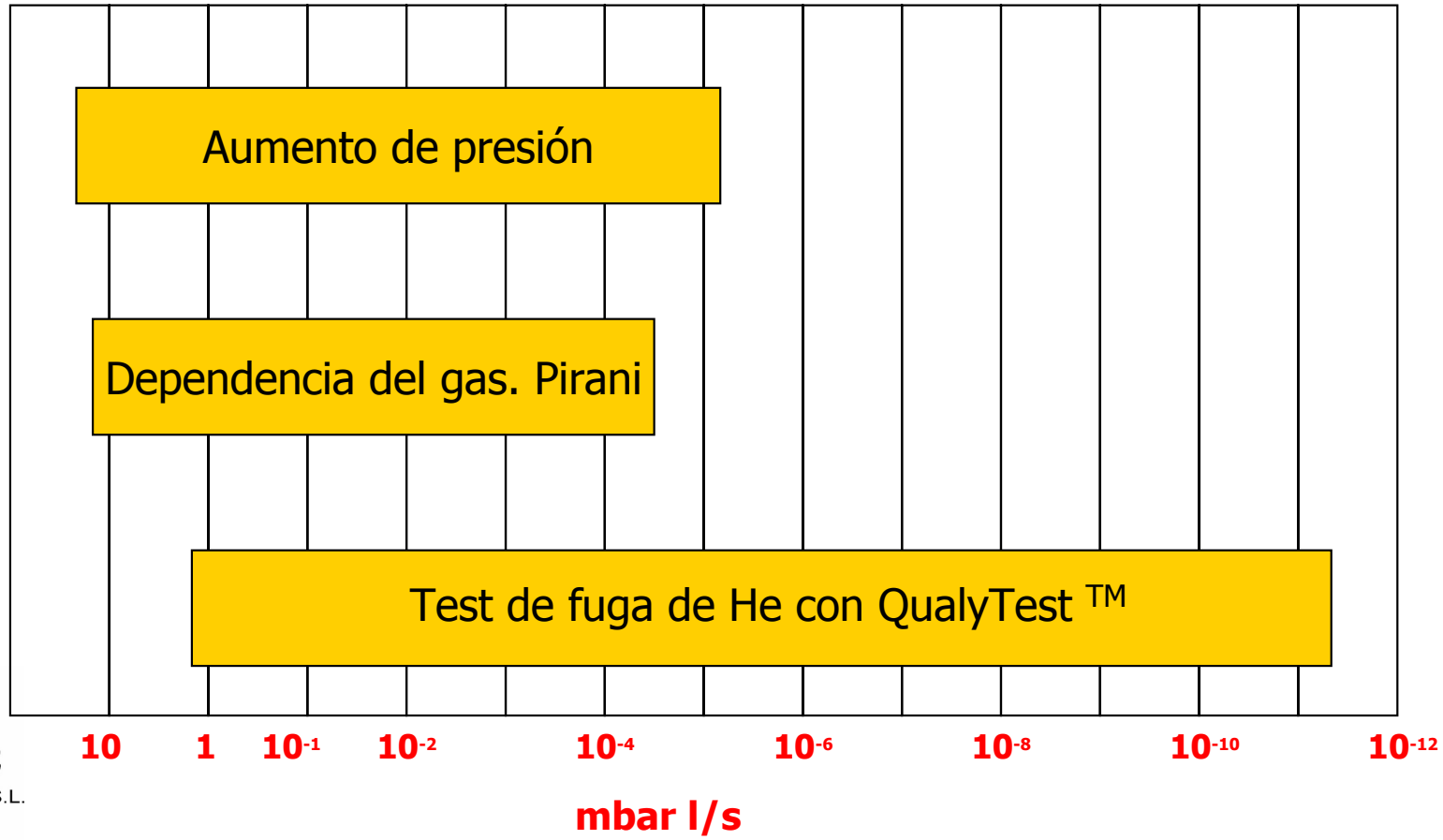
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Recipientes con sobrepresión



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Sistemas de vacío



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detectores de fugas de Helio

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio de medida

- Basado en la Espectrometría de Masas
- Las moléculas de He sufren los siguientes procesos

  - ***Ionización*** por bombardeo electrónico

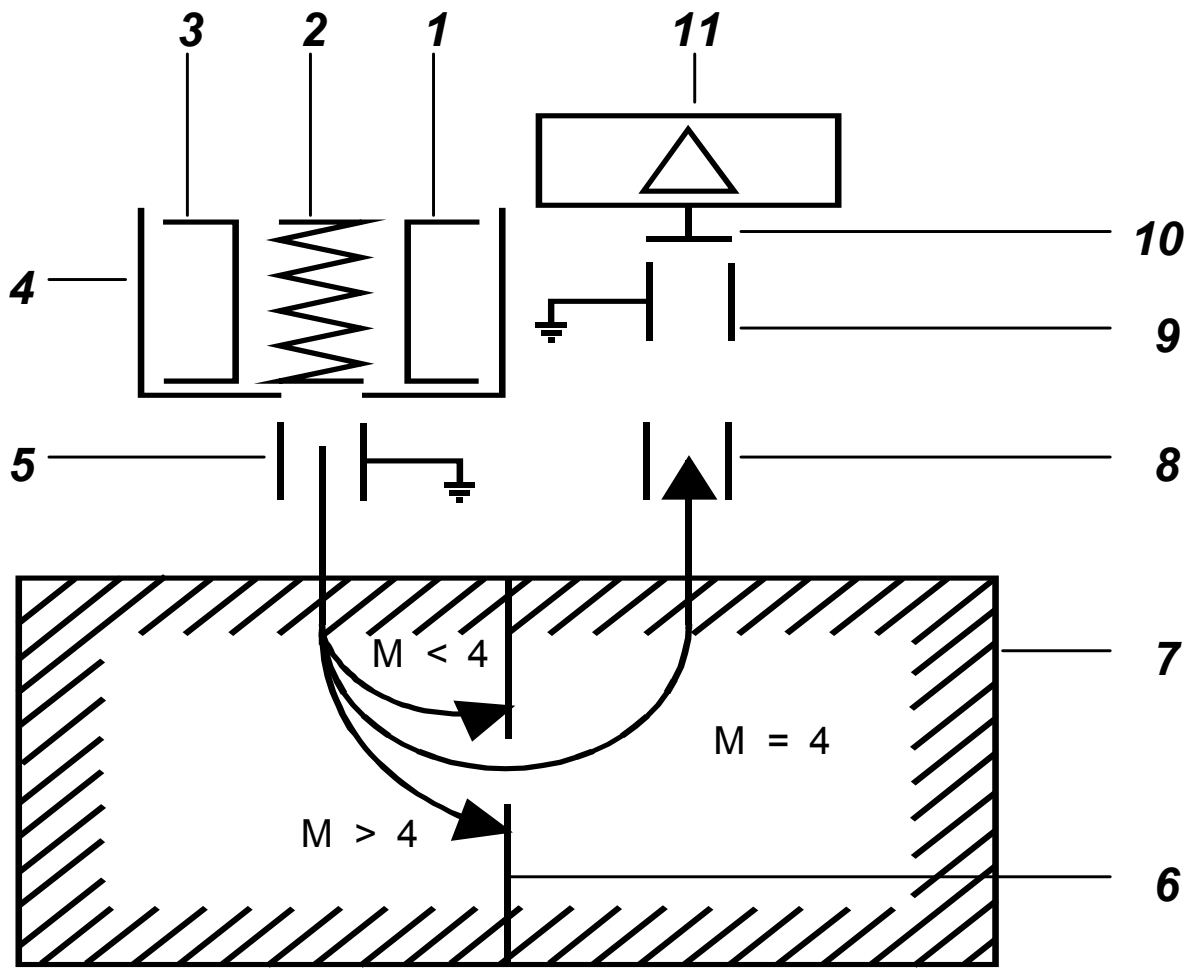
$$He + 1e^- \rightarrow He^+ + 2e^-$$

  - ***Separación***, en el filtro de masas
  - ***Detección*** de los iones en un detector Faraday

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Espectrómetro de masas

1 Cátodo 1
2 Ánodo
3 Cátodo 2
4 Barrera
5 Extractor
6 Barrera
7 Campo Magnético
8 Supressor
9 Barrera
10 Copa Faraday
11 Pre amplificador



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

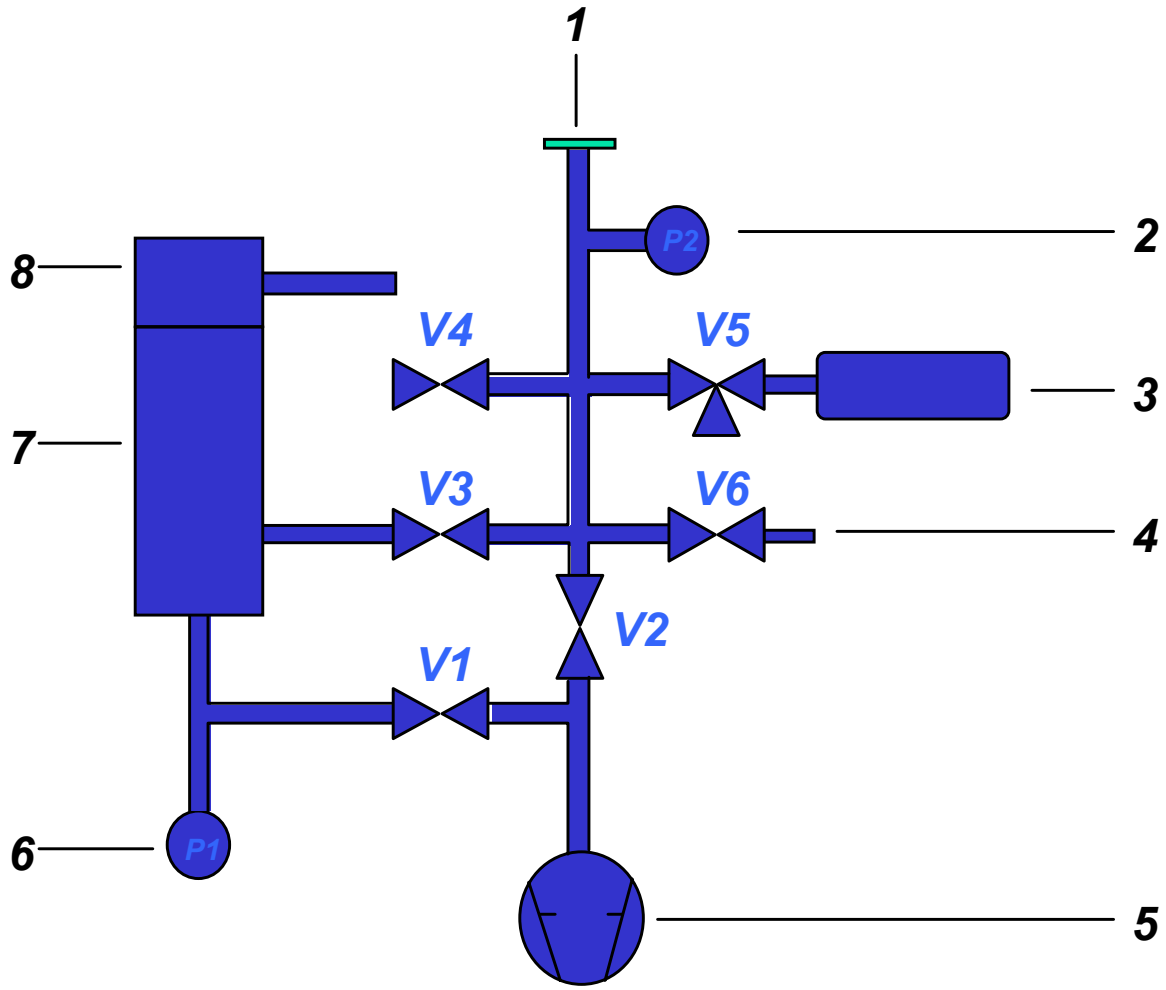
Ventajas del uso del He

- Abunda en pequeña concentración en la atmósfera (< 5ppm)
- Por su pequeño volumen, puede atravesar orificios diminutos
- Es un gas noble → INERTE
- No presenta interferencias en el espectro con otras moléculas presentes en la atmósfera

Detector de fugas HLT 260

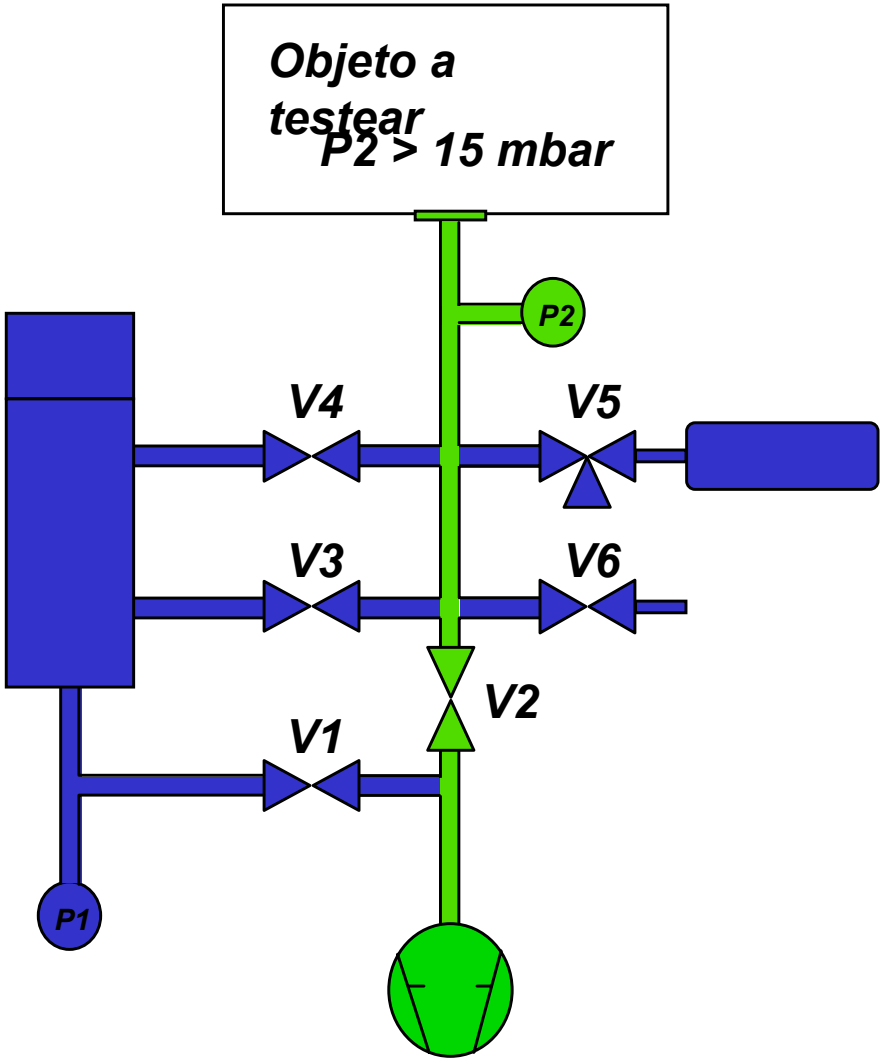
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

1 Brida de conexión
2 Presión en la entrada
3 Fuga calibrada
4 Conexión para sniffer o para aireación
5 Bomba previa
6 Presión en el previo
7 Bomba turbo especial
8 Espectrómetro de masas



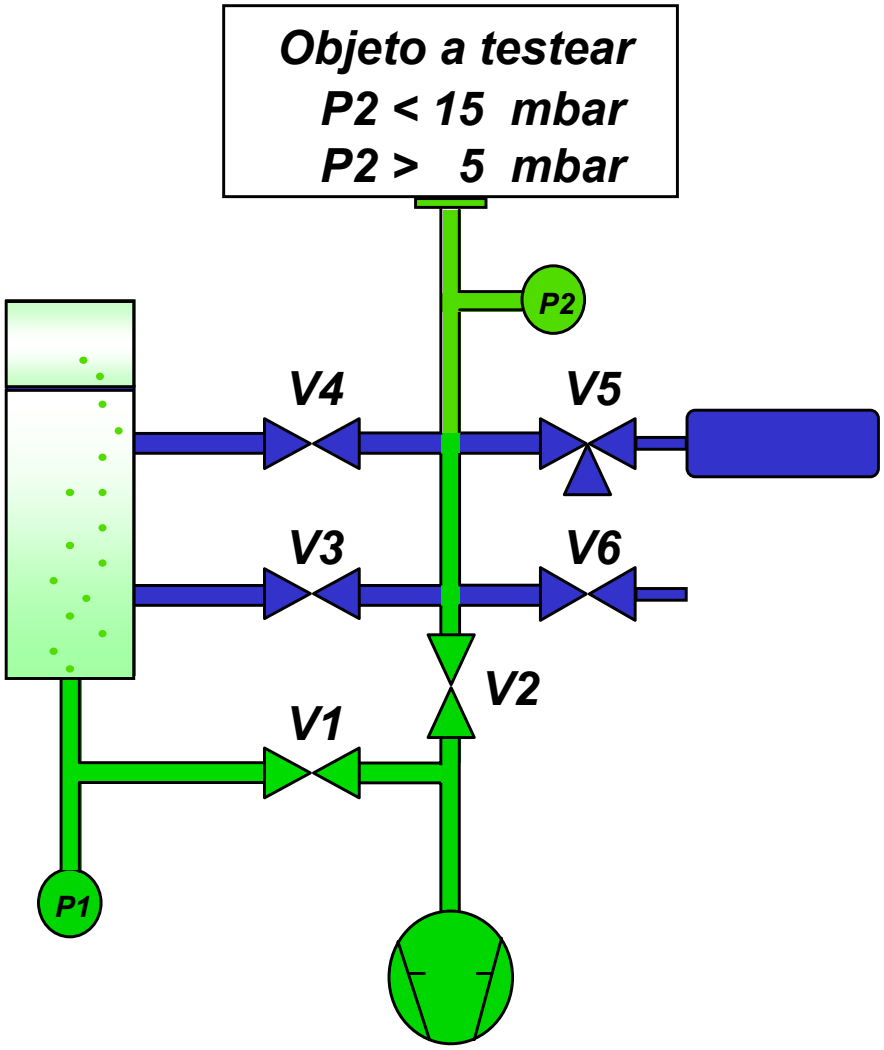
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Vacío primario



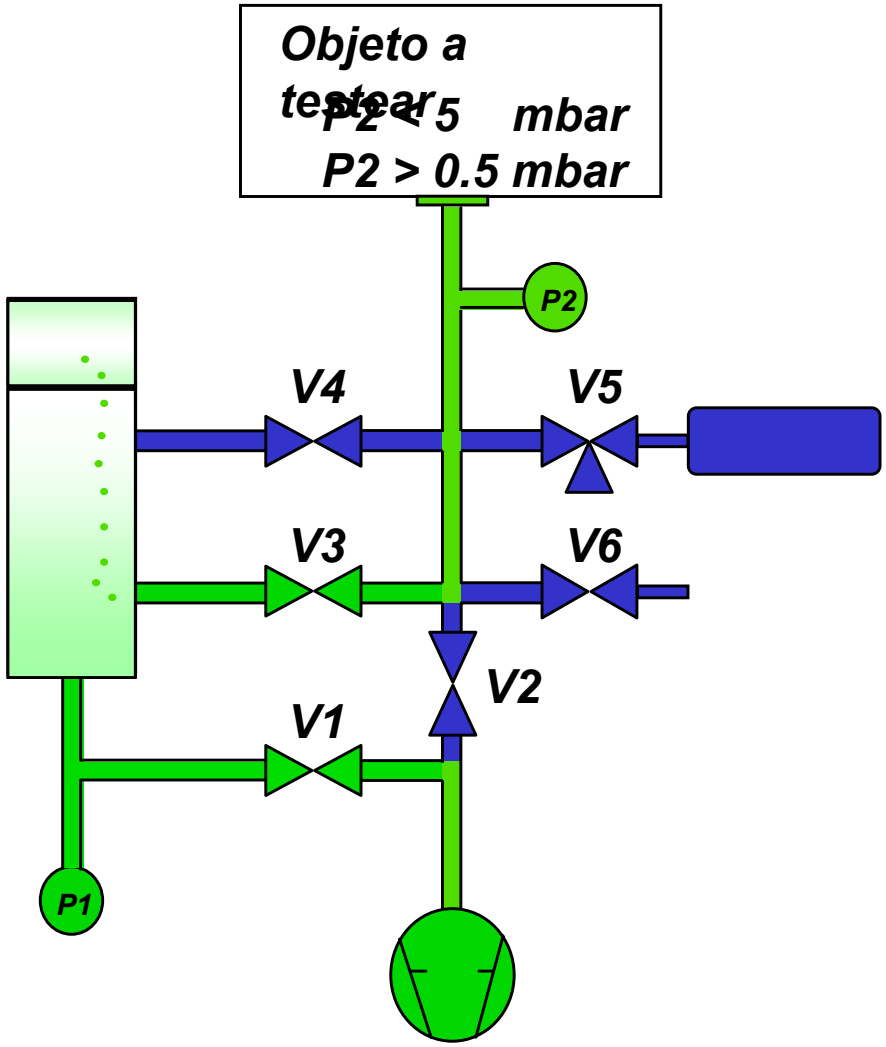
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Medida „Counter flow“



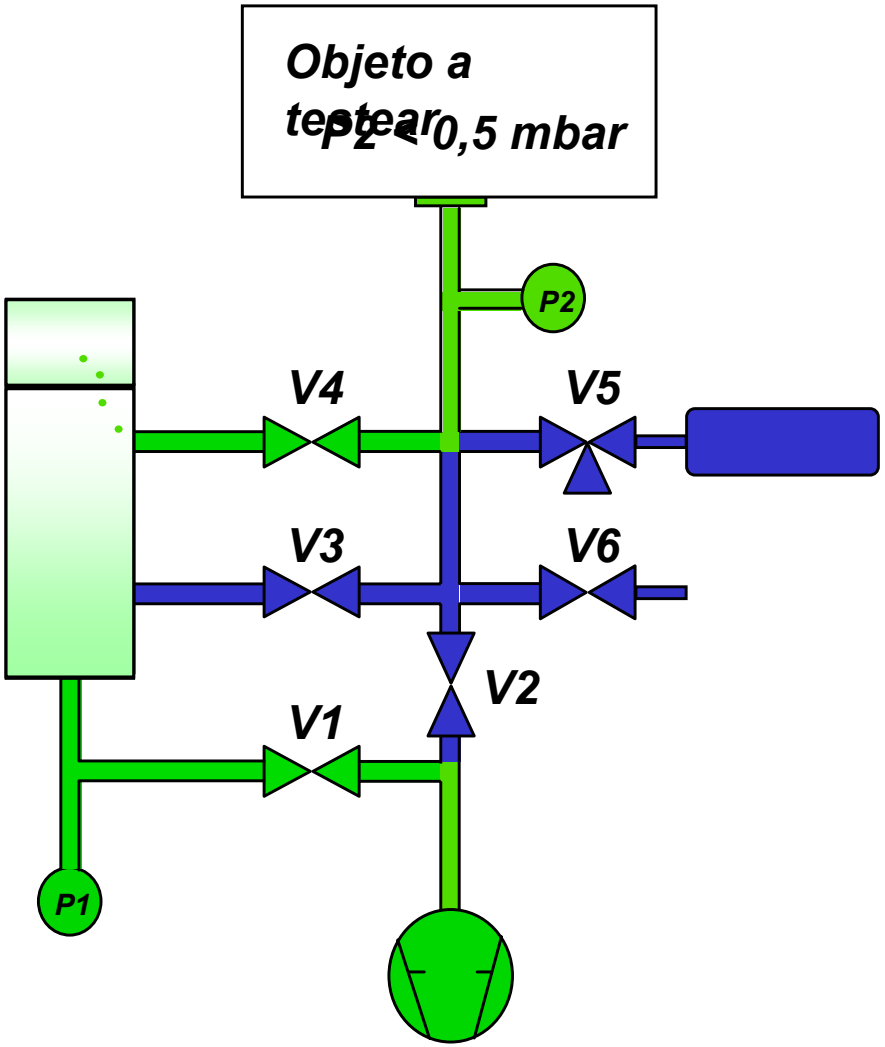
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Medida "Twin-Flow low"



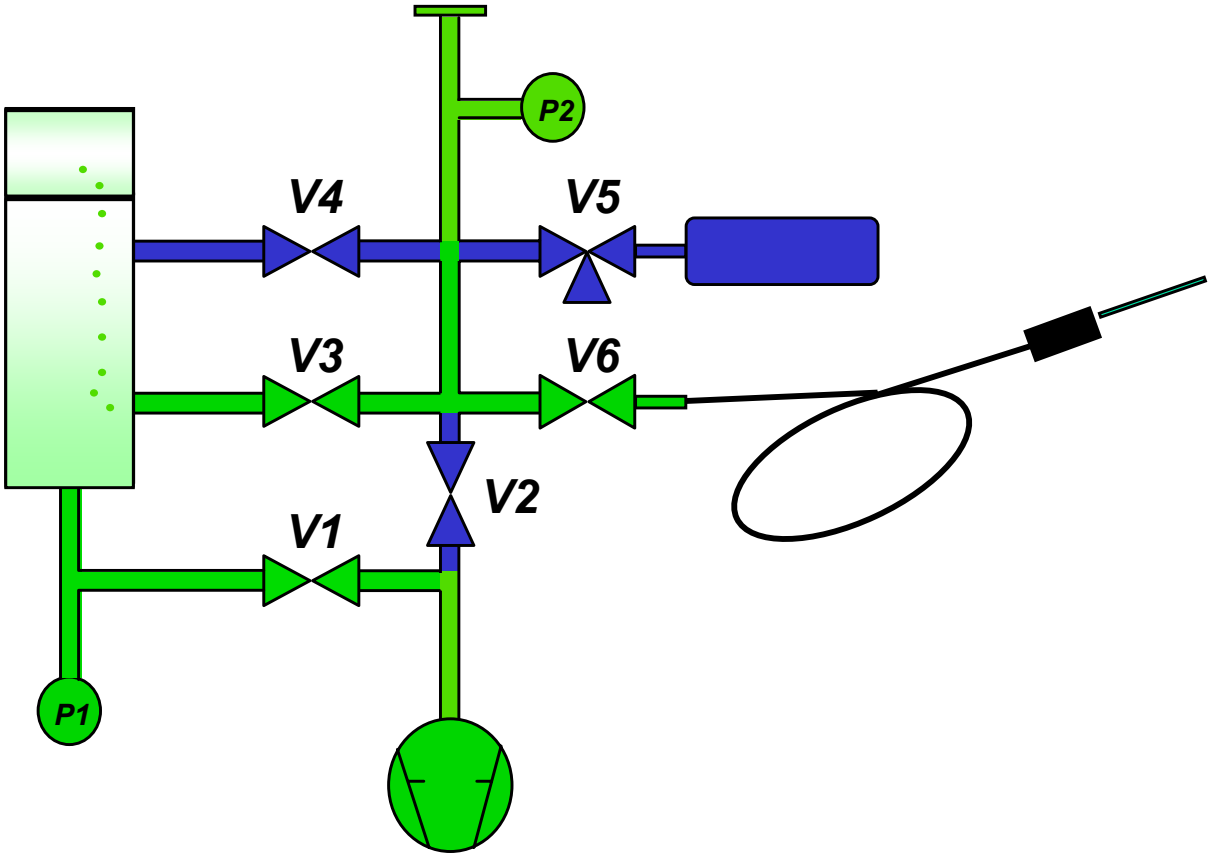
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Medida "Twin-Flow high"



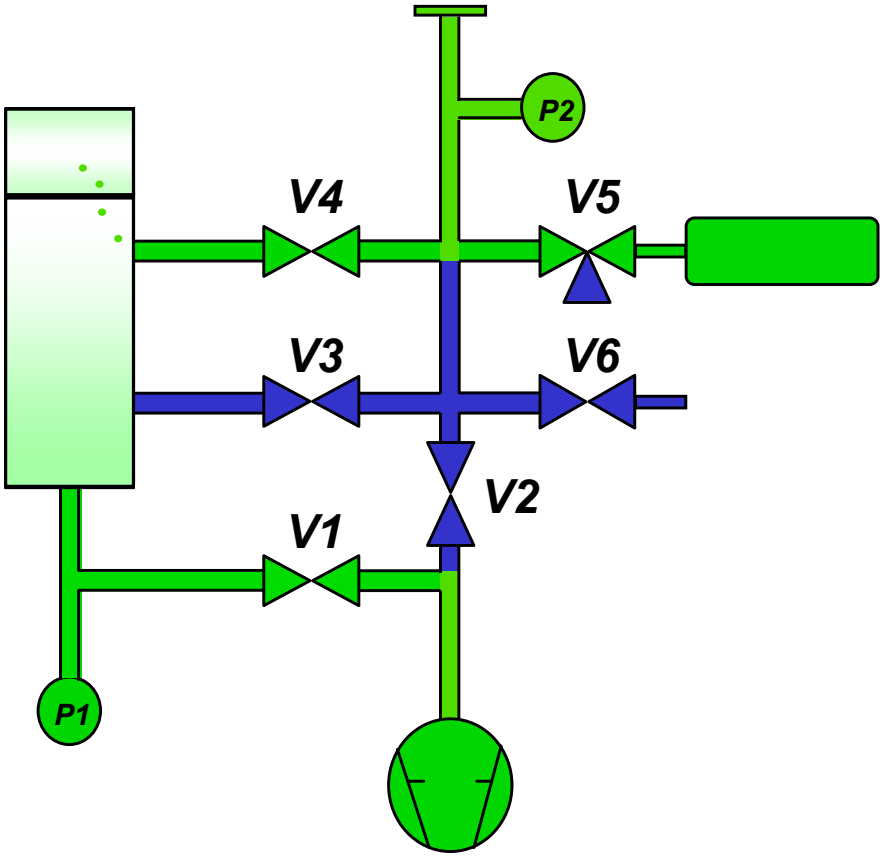
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Sniffer „Twin-Flow low“



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Calibración



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

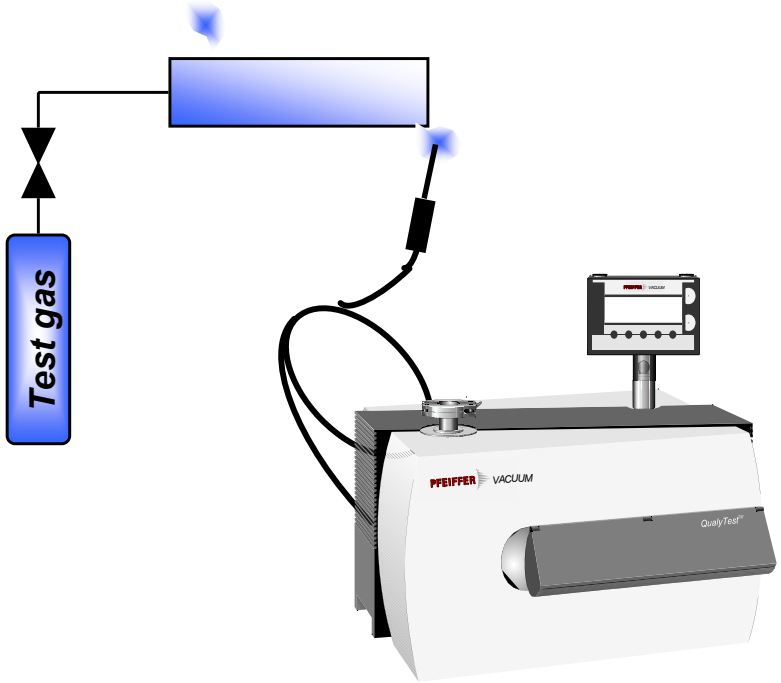
Elección de un detector de fugas de Helio

Características	***Aplicación***
Límite de detección	En sistemas de ultra alto vacío Cliente :CERN
Respuesta rápida	Testeo de componentes en sobrepresión de Helio Cliente :Industria de refrigeración
Posibilidades de testeo a latas presiones (10 mbar)	Grandes volúmenes evacuados en bombas primarias Cliente :Tanques criogénicos
Alta velocidad de bombeo para Helio. Rápida recuperación del detector en casos de saturación con Helio del sistema. Mínimo tiempo de espera	Criostatos Cliente :CERN

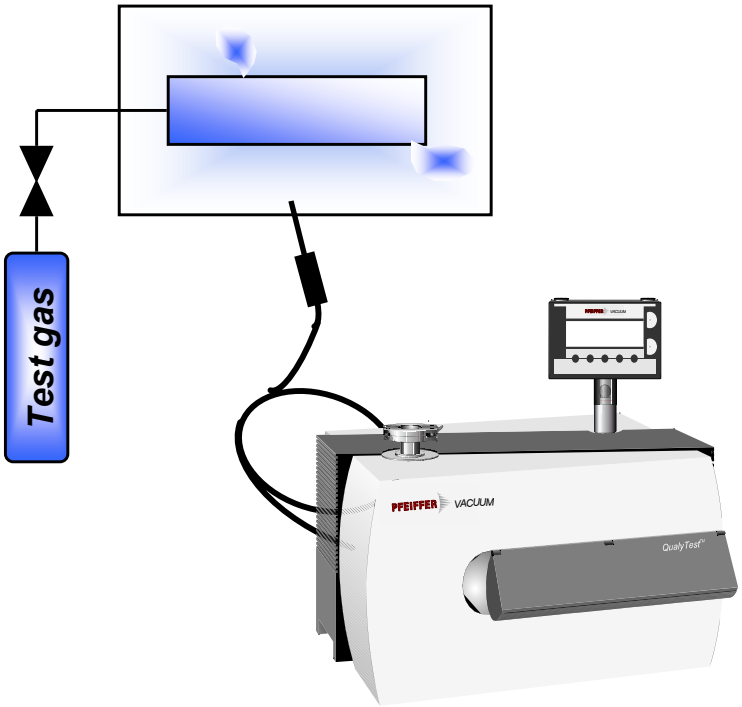
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Métodos con sniffer

Local



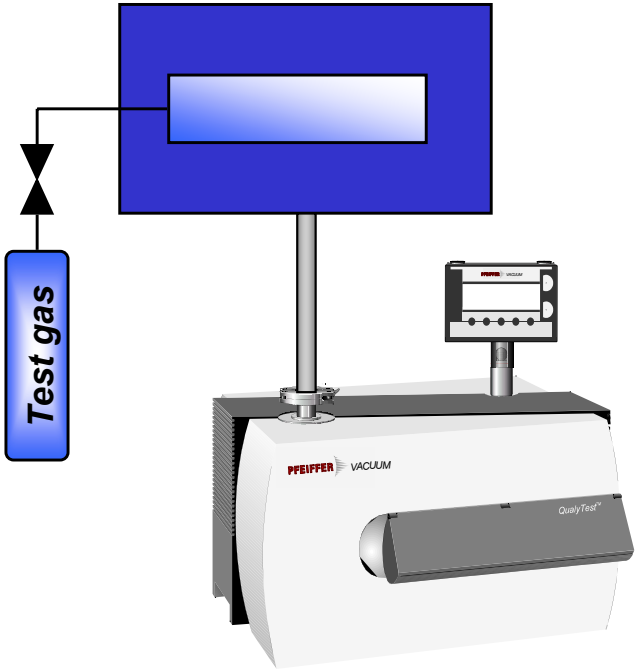
Integral



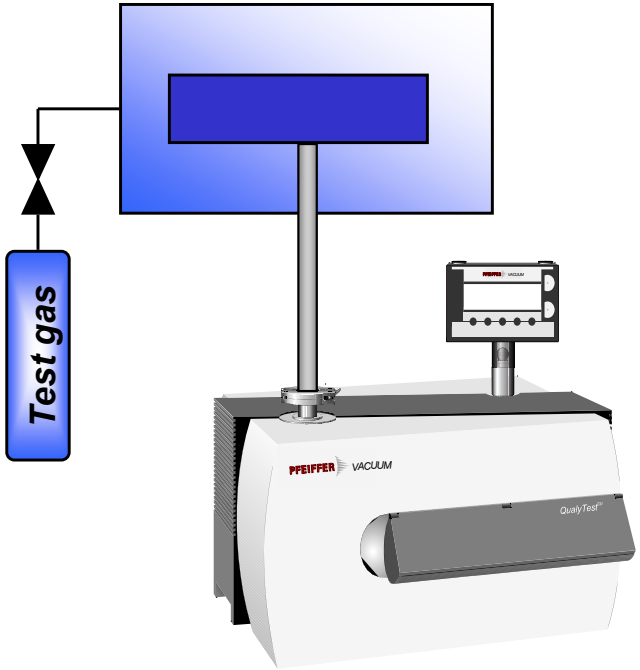
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Métodos de detección integral

Objeto a testear presurizado
Cámara de chequeo en vacío



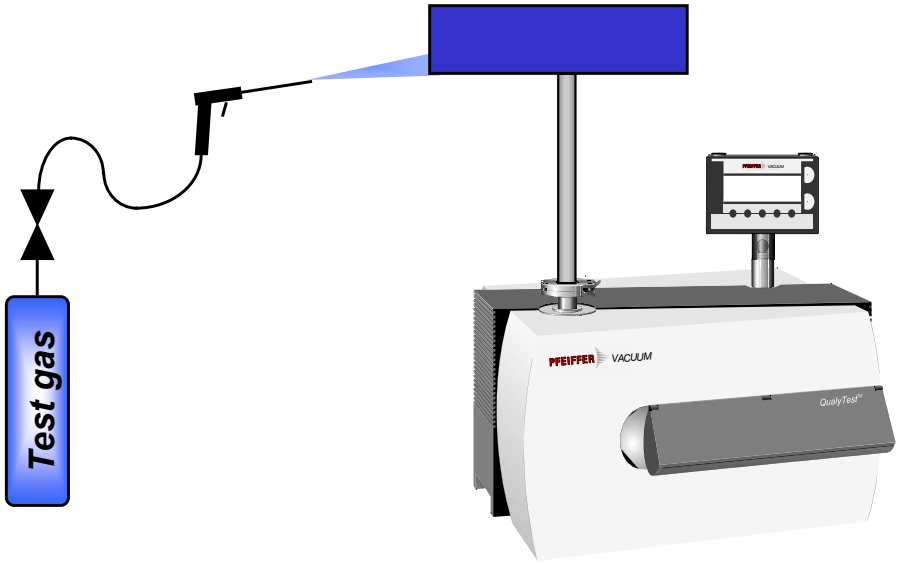
Objeto a testear en vacío
Cámara de chequeo presurizada



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Método de detección local

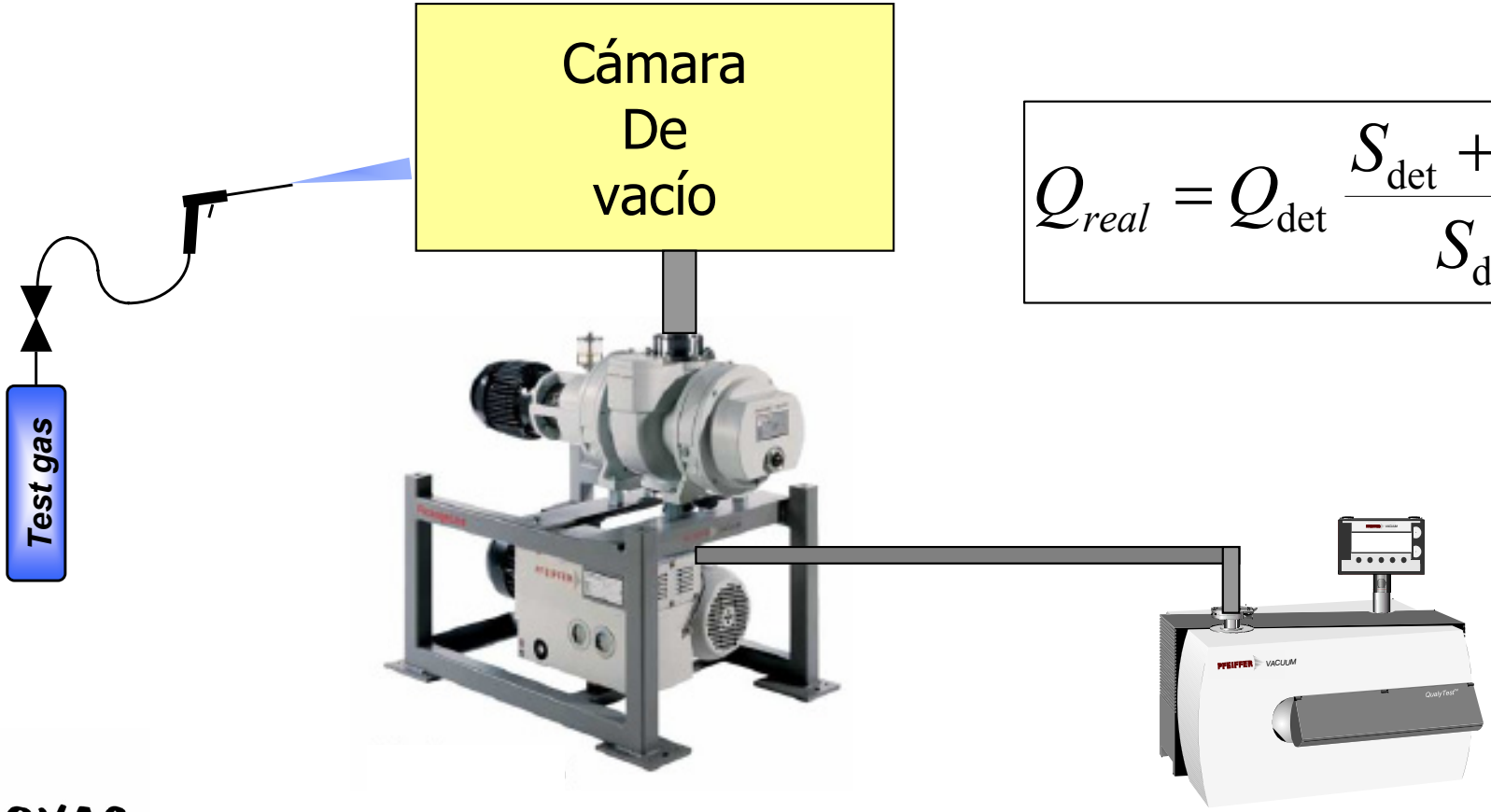
Objeto a testear en vacío



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Método de detección en vacío : Grandes volúmenes

Pieza a testear en vacío Grandes volúmenes



$$Q_{real} = Q_{\det} \frac{S_{\det} + S_{aux}}{S_{\det}}$$

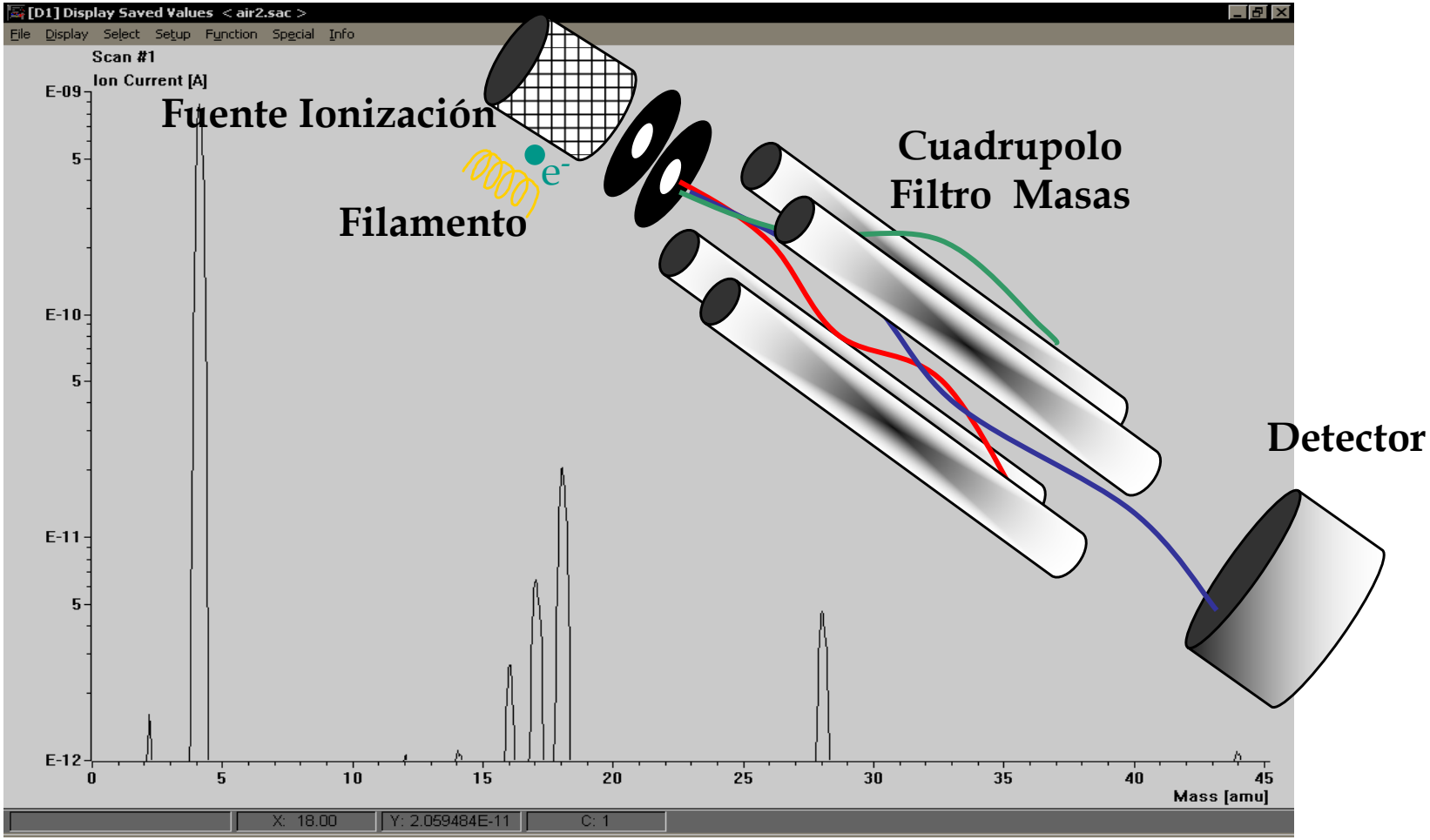
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Espectrometría de Masas Cuadrupolar

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

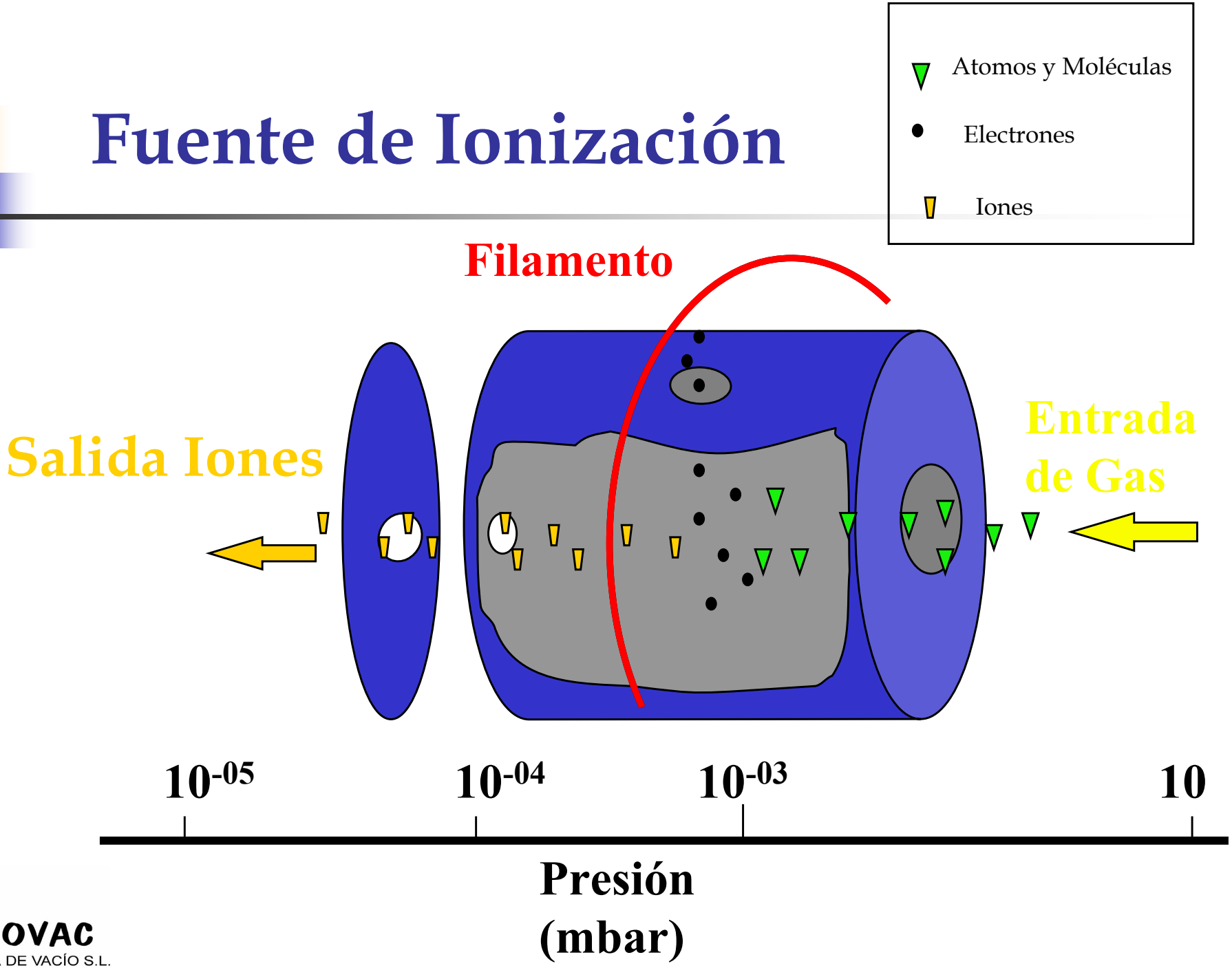
Fundamento de la Espectrometría de Masas Cuadrupolar

- Un compuesto en fase gas es ionizado, acelerado, separado de acuerdo a la relación masa/carga y detectado
- El proceso de ionización rompe el compuesto en fragmentos, cada uno de ellos con su propia relación (m/e)
- El patrón de fragmentos detectados es el espectro de masas del compuesto y puede ser utilizado para su identificación



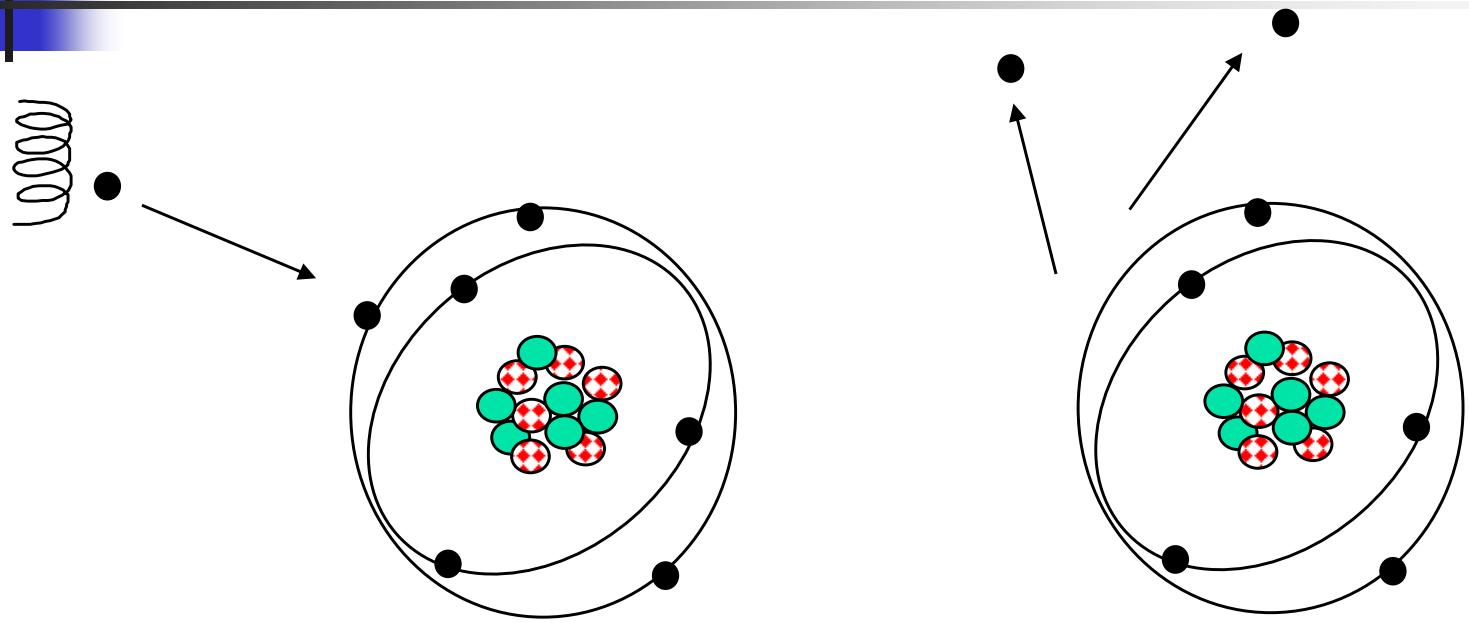
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Fuente de Ionización



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ionización



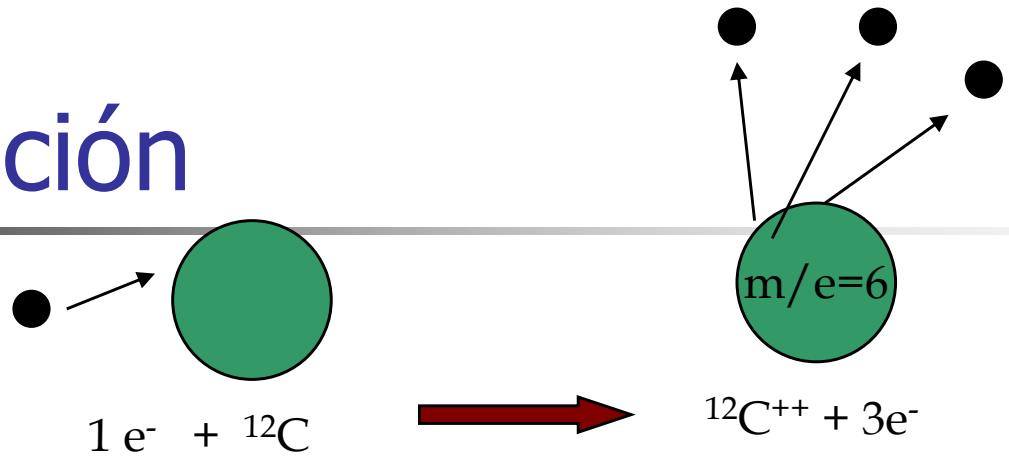
Atomo Ión

$$^{12}C + 1e^{-} \longrightarrow {}^{12}C^{+} + 2e^{-}$$

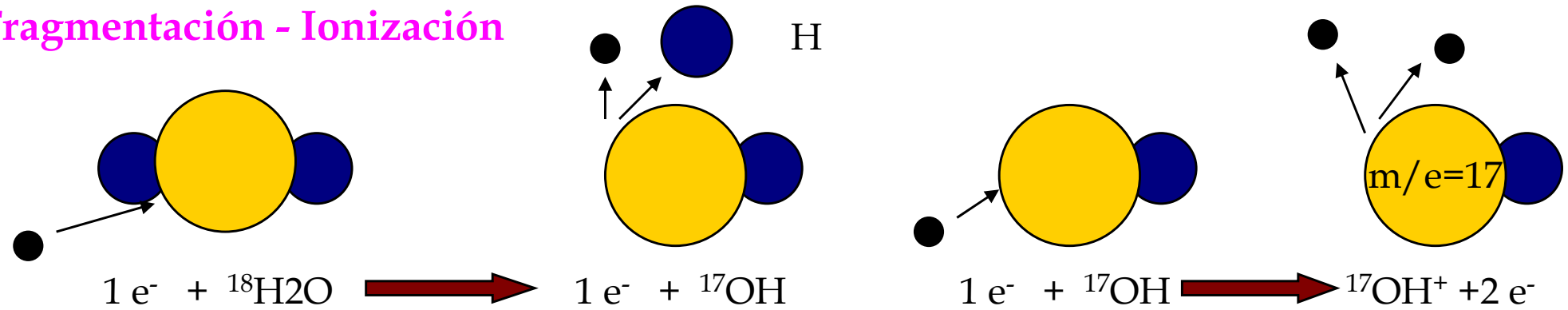
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ionización

Ionización



Fragmentación - Ionización



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Fuentes de Ionización

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Algunos Fragmentos Iónicos

(m/e)	Fragmentos probables	Masas adicionales Ión Molecular(s)	Nº (m/e)
6	C++	CO	12, 28, 29
	C++	CO2	12, 28, 44
	C++	CxHy	12, 13, 14, 26, 27 etc.
12	C+	CO	28, 29
	C+	CO2	28, 29, 44
	C+	CxHy	13, 14, 26, 27 etc.
14	N+	N2	28, 29
	N+	NH3	15, 16, 17
	CH2+	CxHy	12, 13, 26, 27 etc.
	CO++	CO	28, 29
16	O+	O2	32, 34
	O+	H2O	17, 18
	CH4+	CH4	12, 13, 14, 15
	NH2+	NH3	14, 15, 17
17	OH+	H2O	16, 18
	NH3+	NH3	14, 15, 16
18	H2O+	H2O	16, 17

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

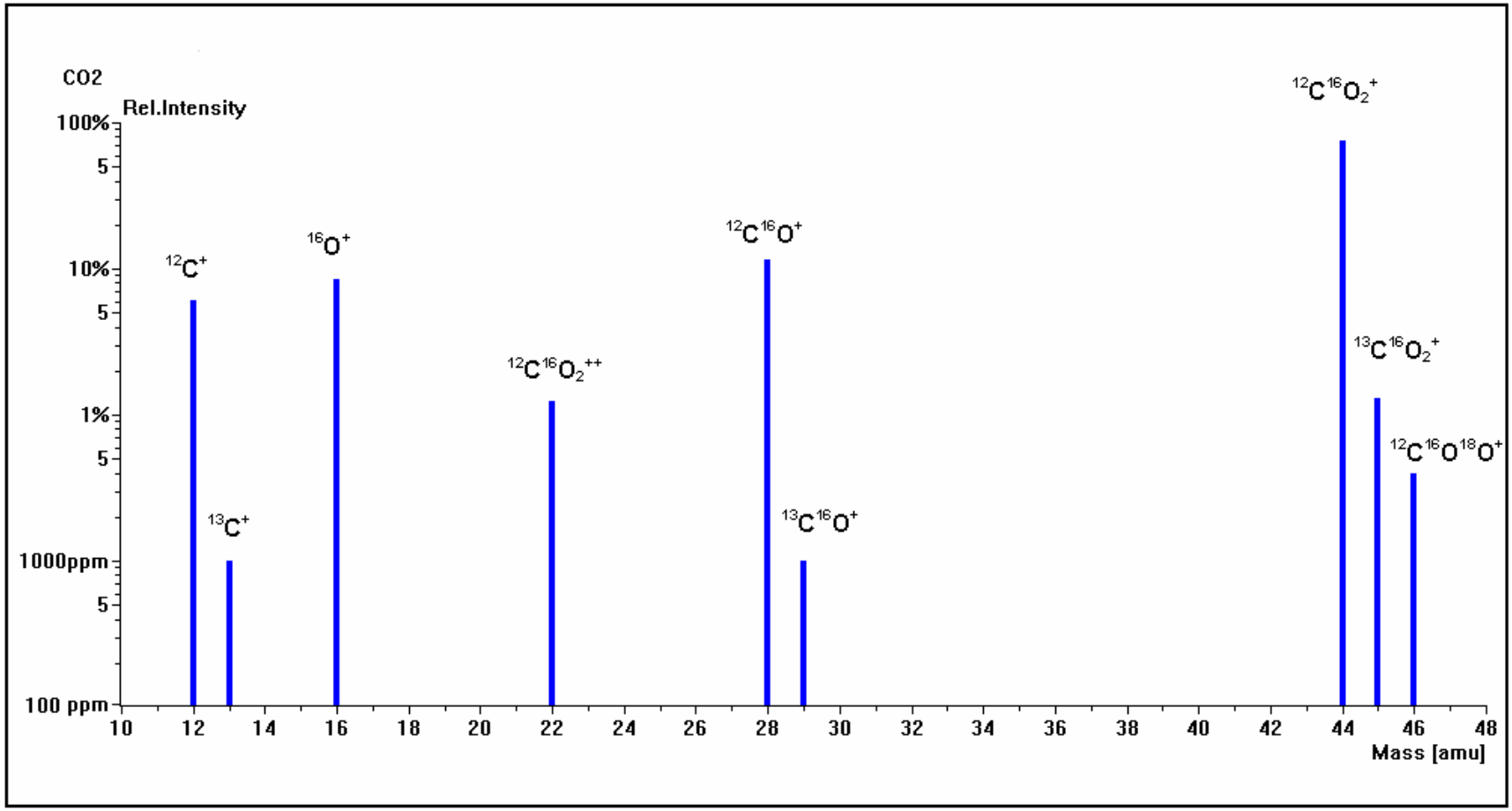
Probabilidades relativas de ionización a 100 feb referidas al N_2

He	0.15
Ne	0.30
D_2	0.35
H_2	0.44
Aire	1.0
N_2	1.0
0_2	1.0
H_2O	1.0
CO	1.05
Ar	1.2
NO	1.2
NH_3	1.3
HF	1.4
CO_2	1.4
HCl	1.6
N_2O	1.7
Kr	1.0
SO_2	2.1
SF_6	2.3
Xe	2.4
CH_4	1.6

C_2H_6	2.6
C_3H_8	3.7
C_4H_{10}	4.9
N-C_5H_{12}	6.0
C_6H_{14}	6.6
C_6H_6	5.9
C_6H_5Cl	7.0
$C_6H_5CH_3$	6.8
$C_6H_4(CH_3)_2$	7.8
CH_3OH	1.8
CH_3Cl	3.1
CH_2Cl_2	3.7
$CHCl_3$	4.8
CCl_4	6.0
CCl_2F_2	2.7
C_2H_5OH	3.6
C_2H_5Cl	4.0

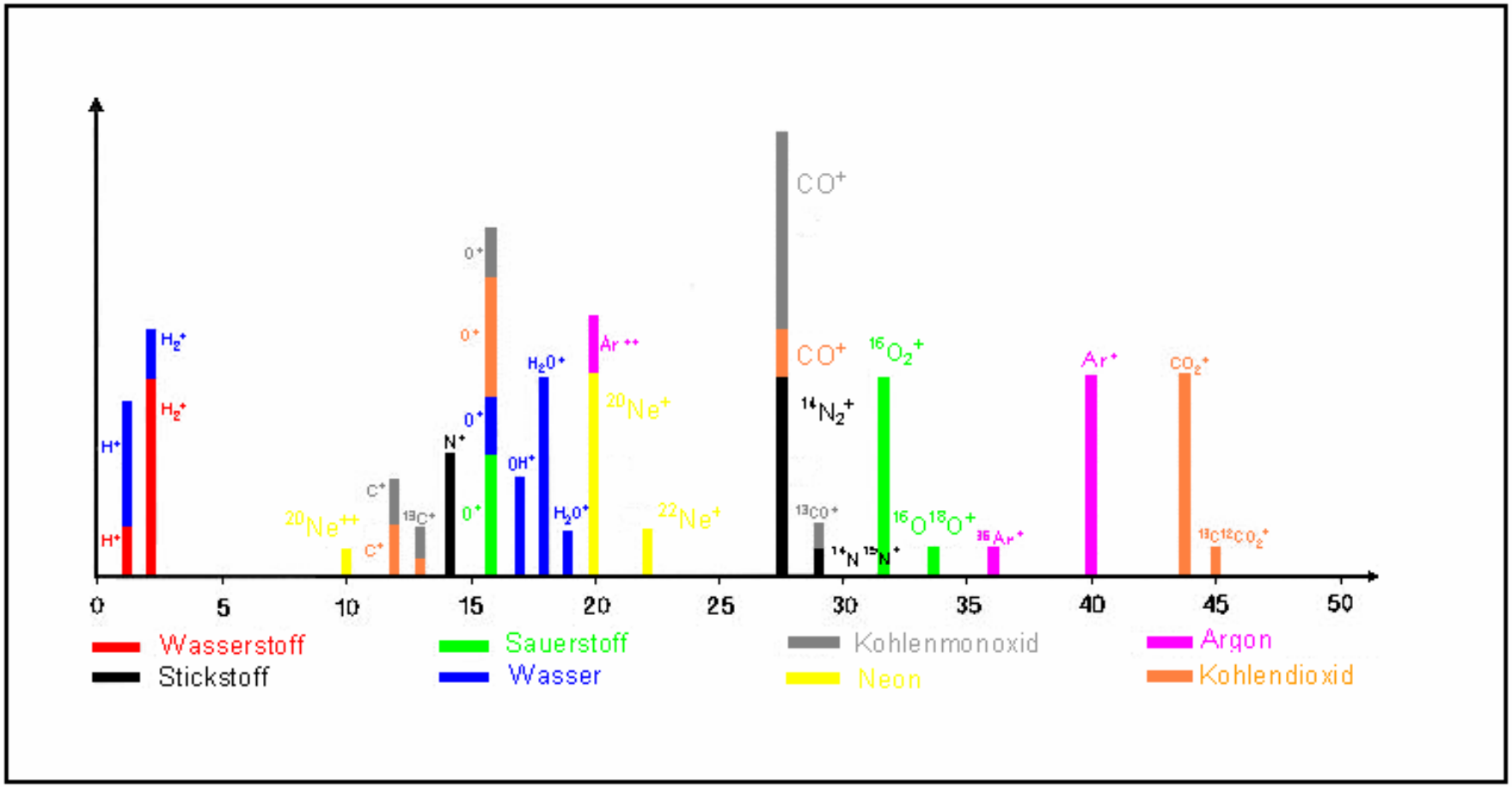
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Patrón de fragmentación de CO_2



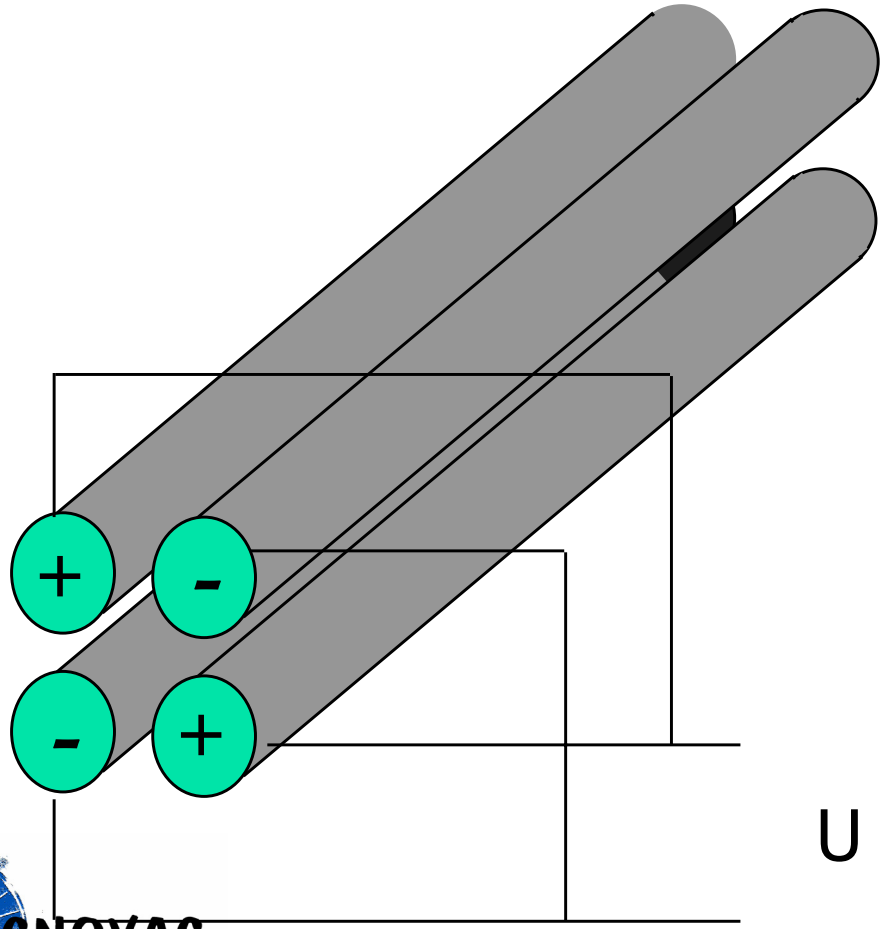
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Espectro de fragmentación de diferentes especies a 90 feb



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Cuadrupolo -Filtro de masas

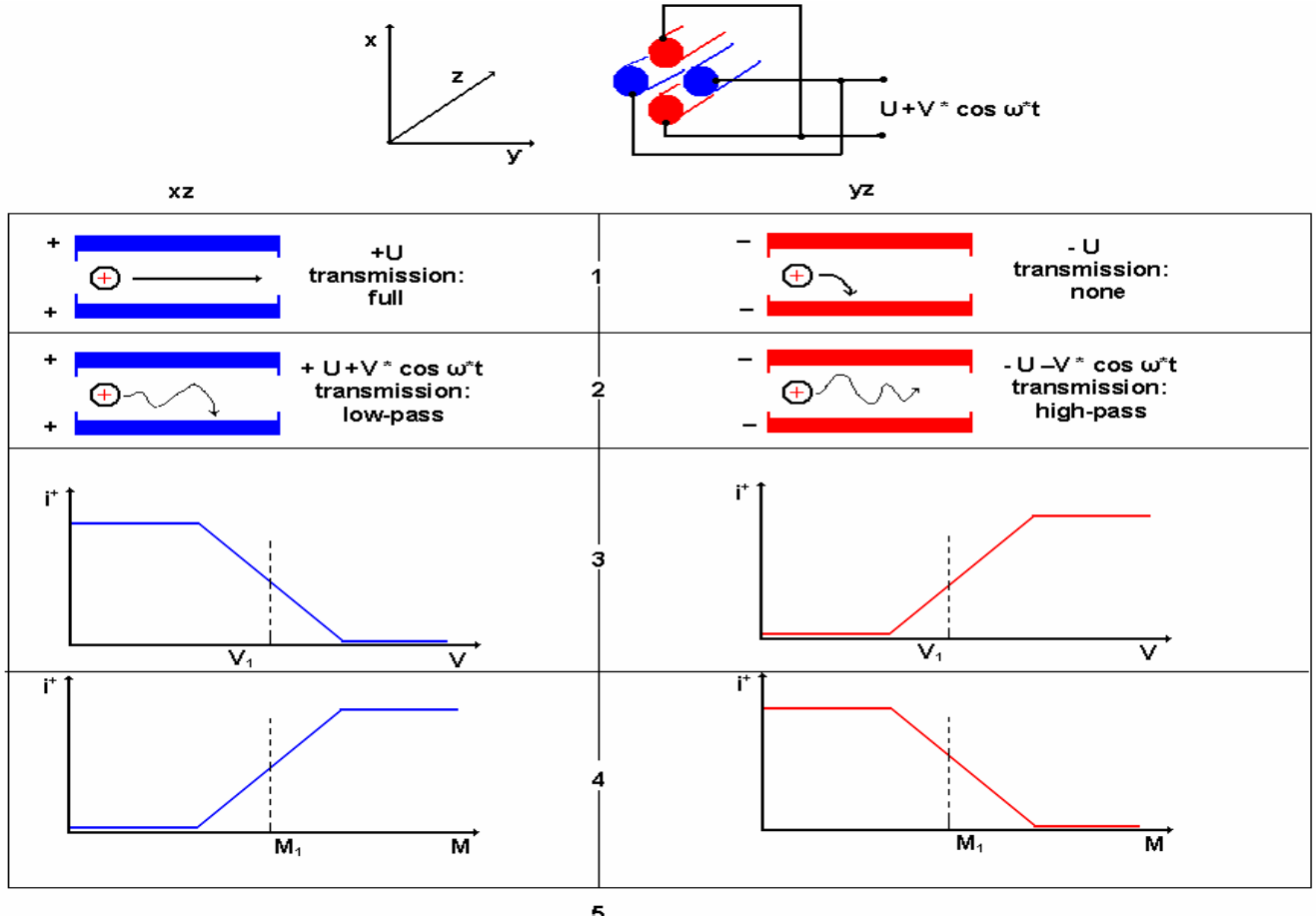


- Barras cilíndricas de acero inoxidable o Molibdeno
- La alineación es crítica y no es ajustable

U + V cos wt

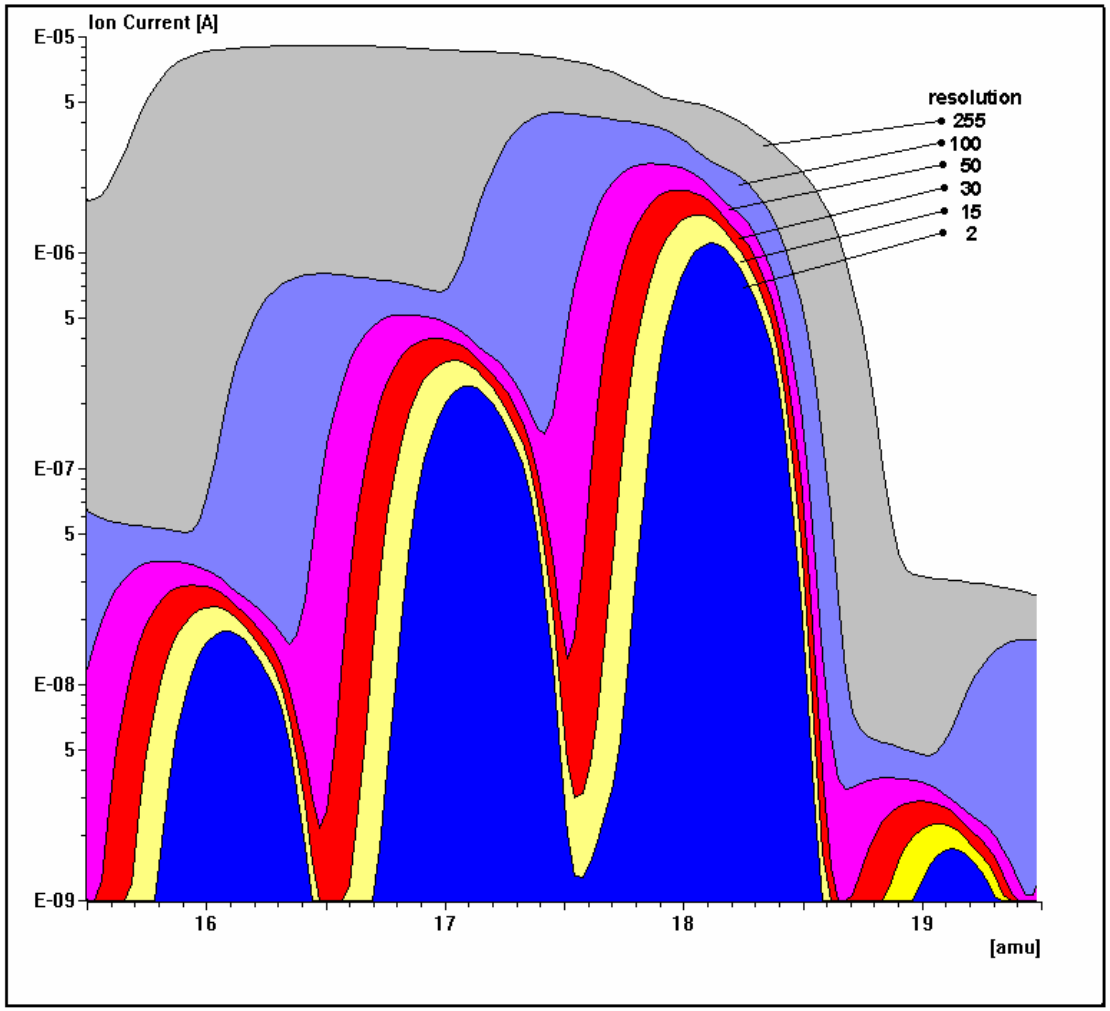
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Principio Funcionamiento Filtro Masas



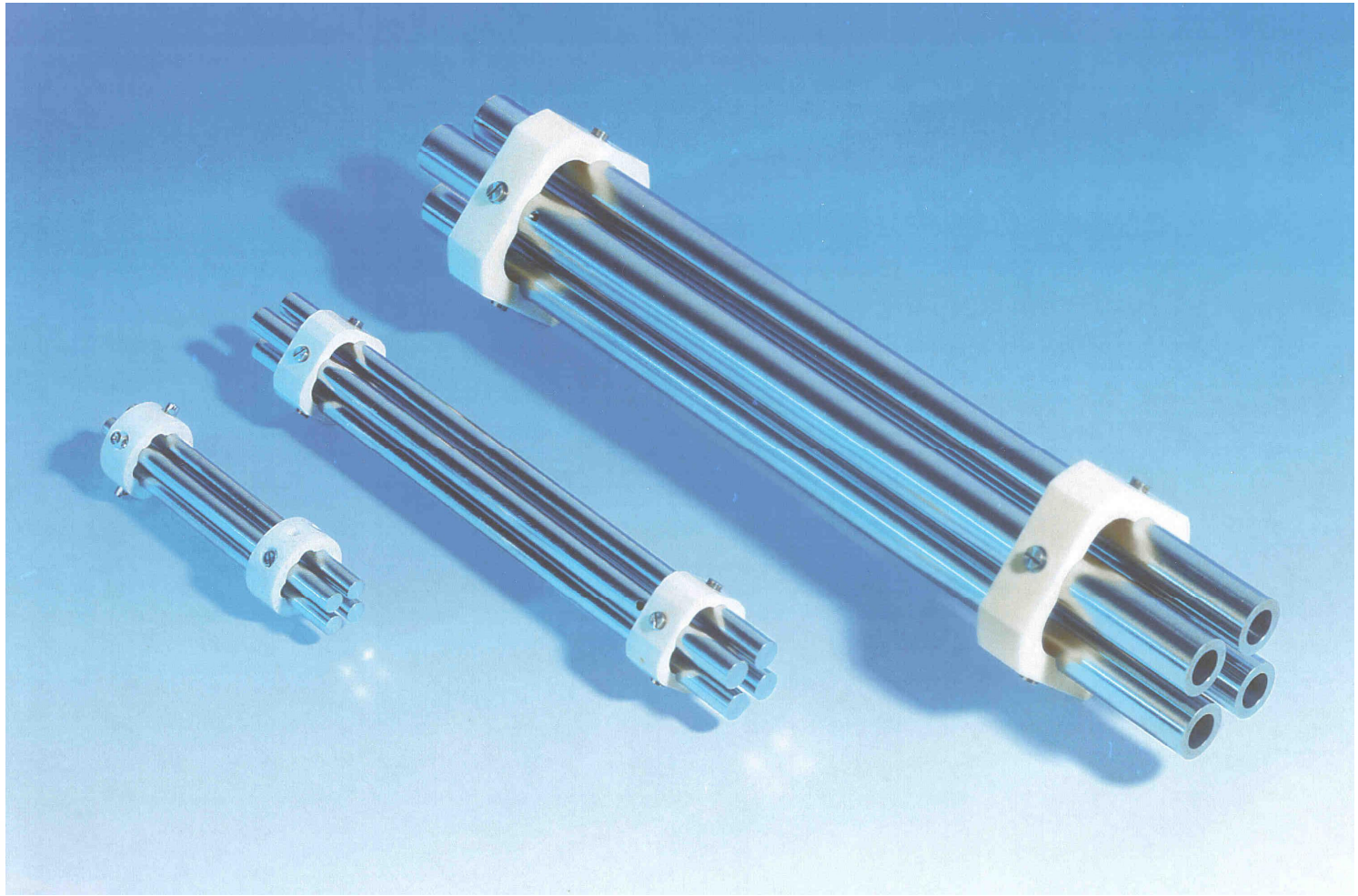
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S

Espectros con diferentes valores de resolución



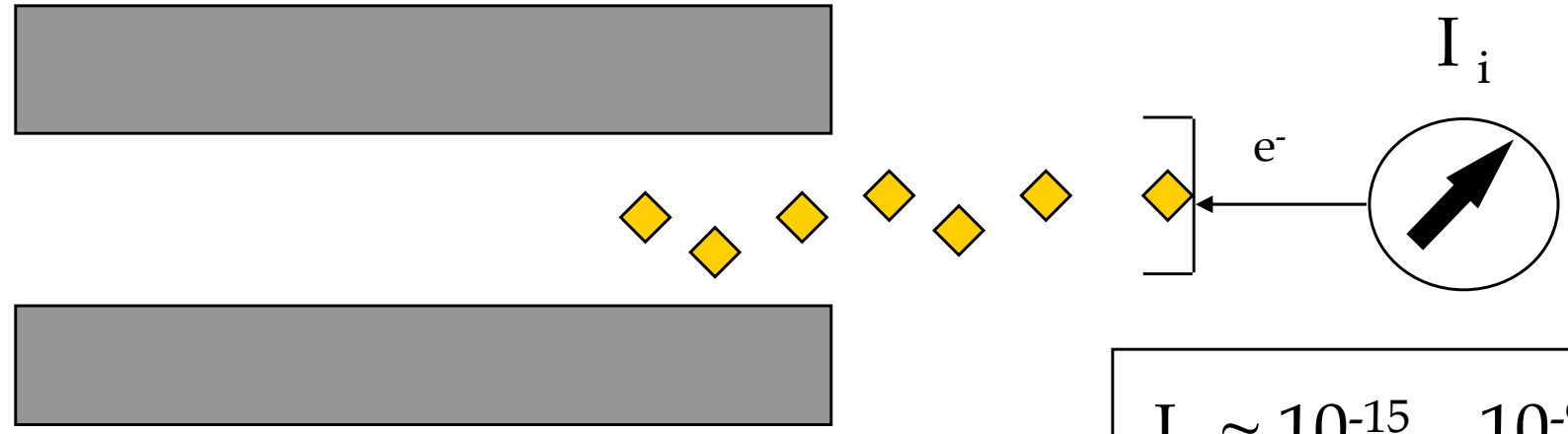
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Filtro de masas



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detector Faraday



$I_i \sim 10^{-15} \ldots 10^{-9}$ A

◆ = Iones positivos

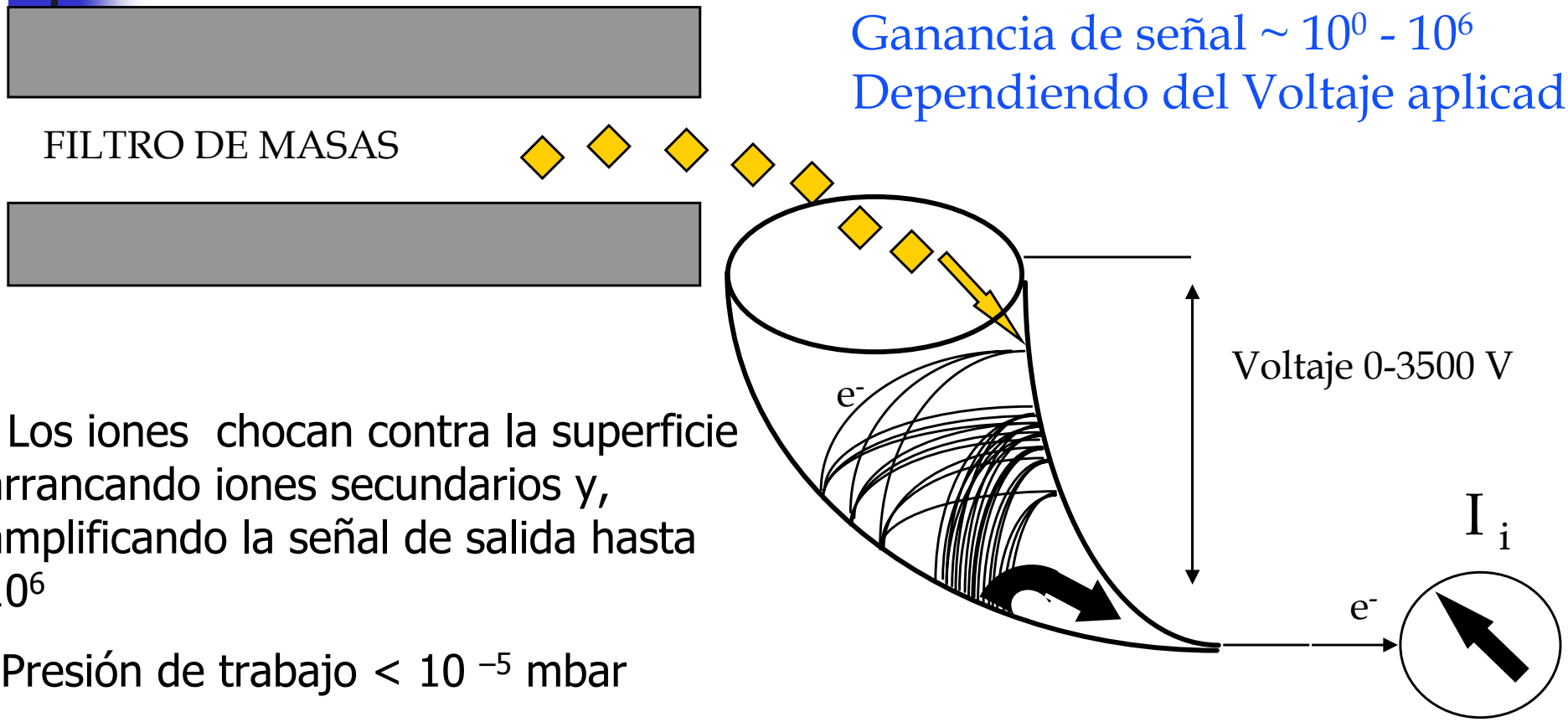
•Los iones chocan contra el detector y pierden su carga. Un convertidor de corriente en voltaje transforma la señal, que es proporcional a la corriente de iones.

•Rango de señal detectable 10^{-15} -10^{-9} A

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detector SEM/Channeltron

Ganancia de señal ~ 10^0 - 10^6
Dependiendo del Voltaje aplicado

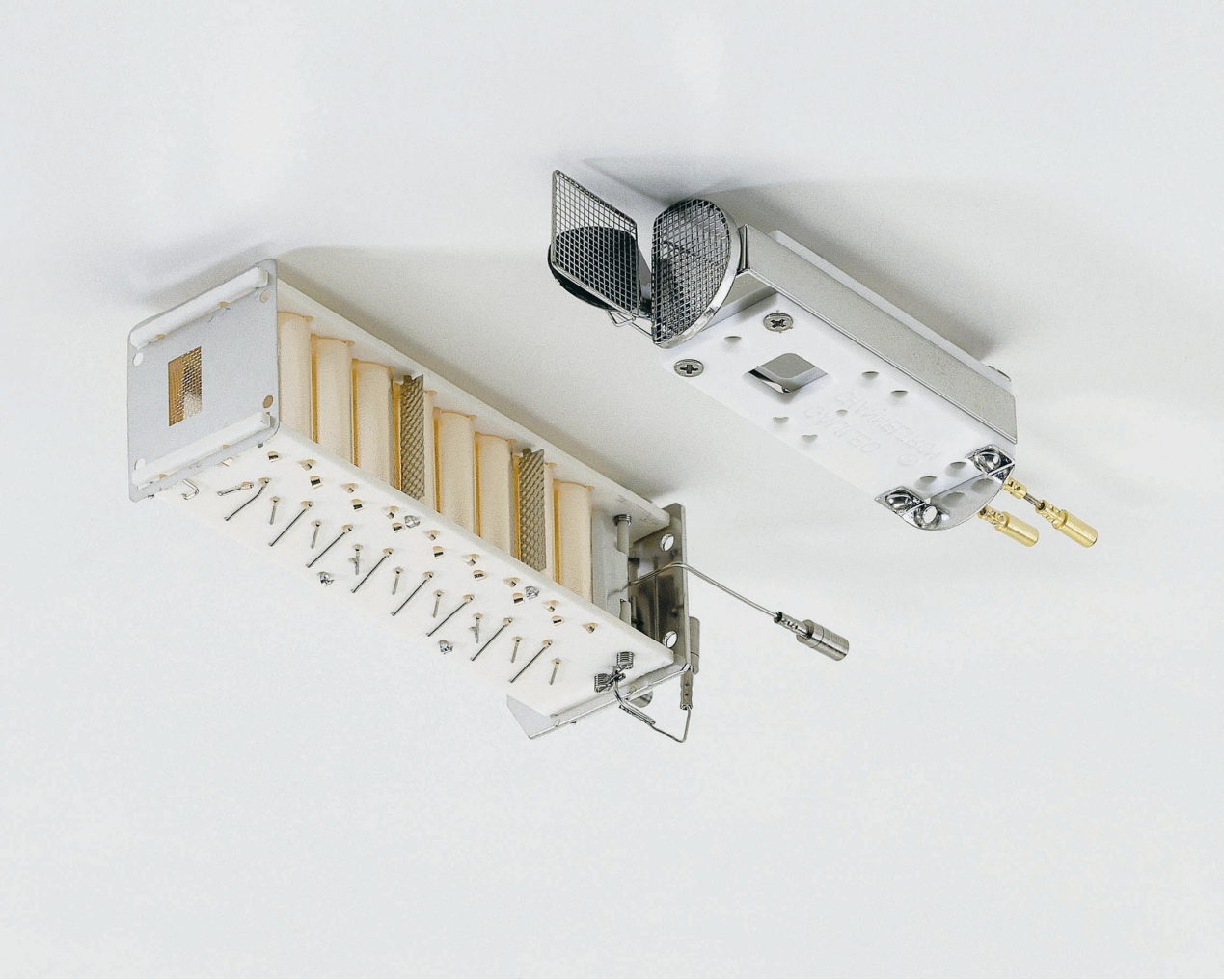


- Los iones chocan contra la superficie arrancando iones secundarios y, amplificando la señal de salida hasta 10^6
- Presión de trabajo < 10^{-5} mbar

$I_i \sim 10^{-14} \ldots 10^{-5}$ A

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detectores SEM y Channeltron

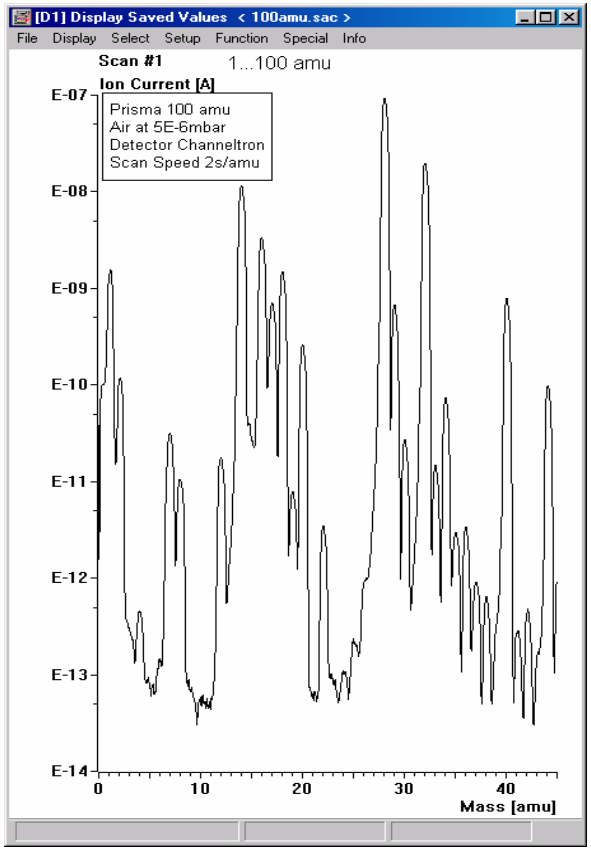


TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

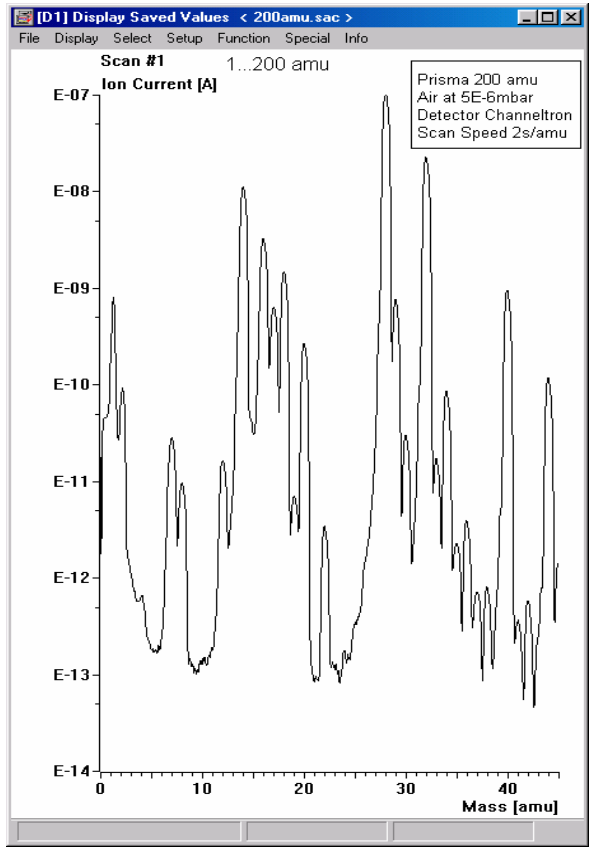
Tipos de espectros

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

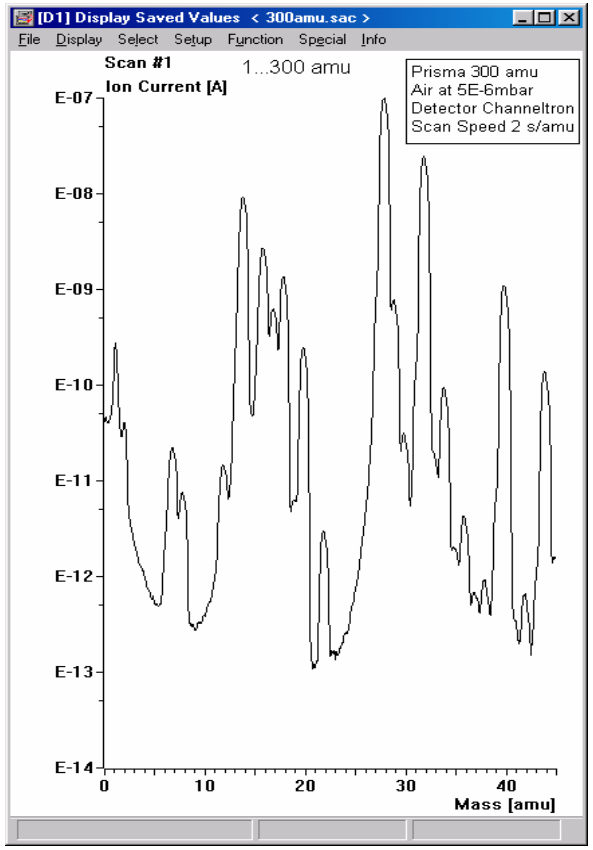
Espectro Analógico



1-100 uma



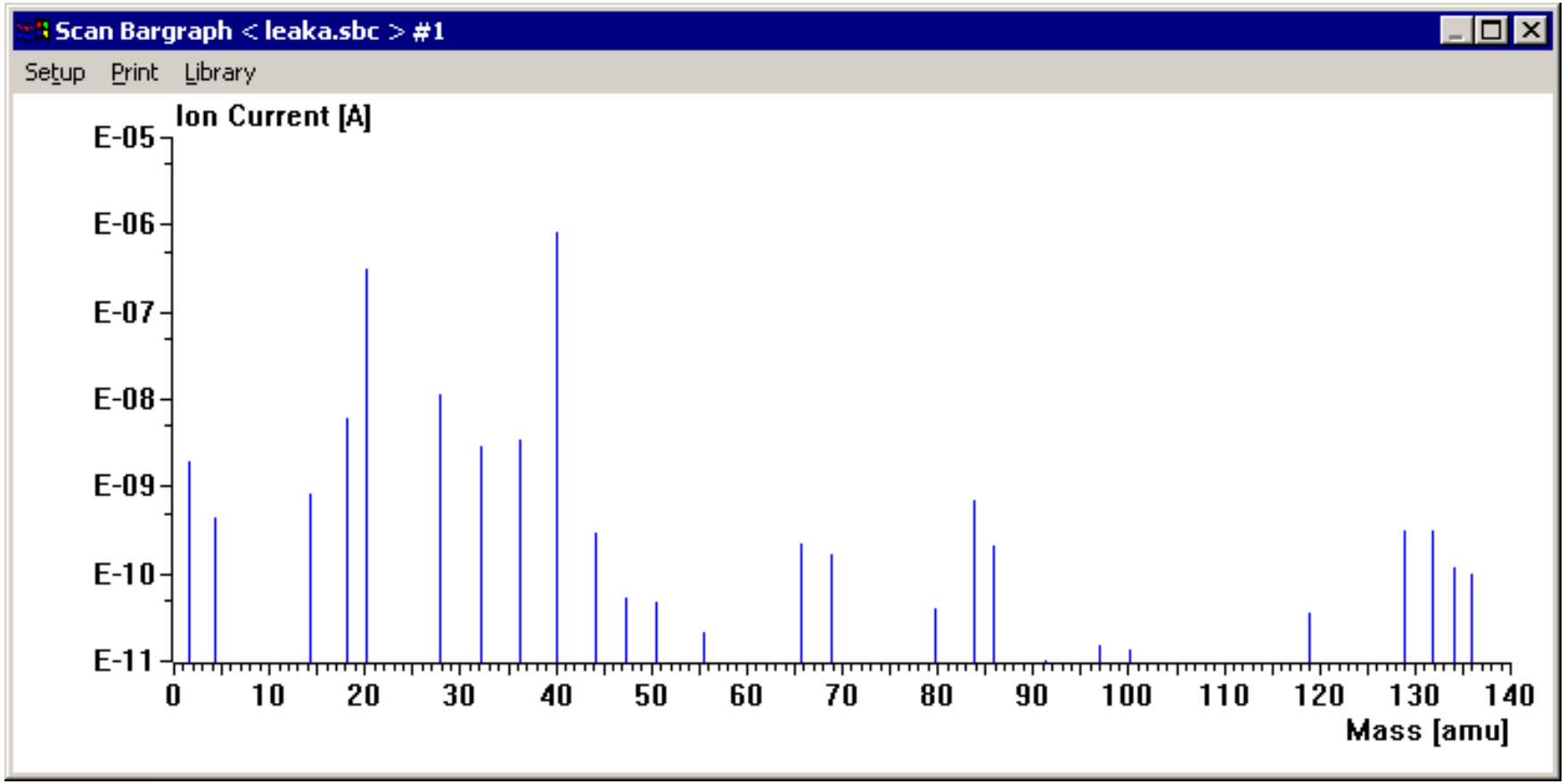
1-200 uma



1-300 uma

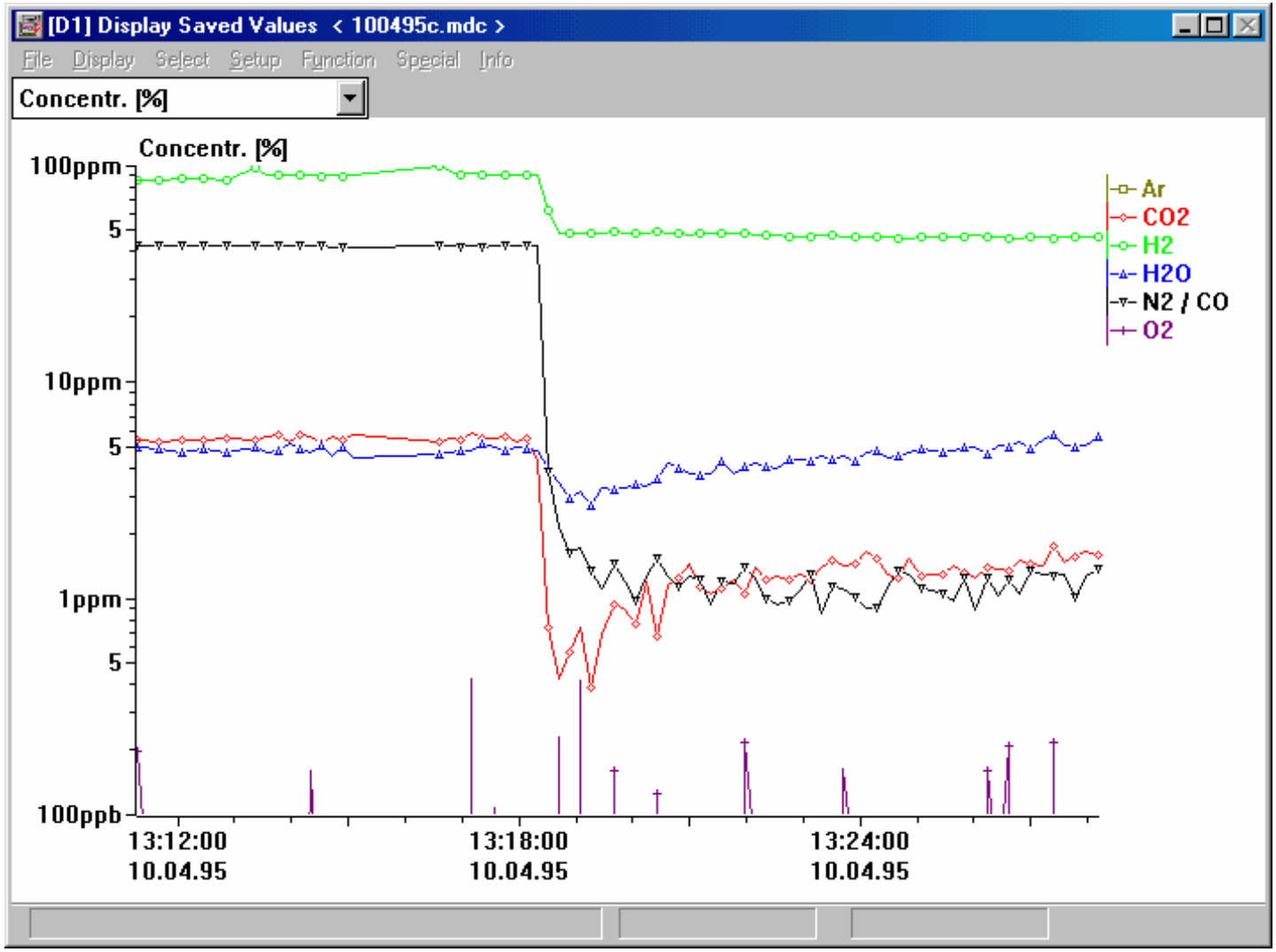
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Espectro de Barras



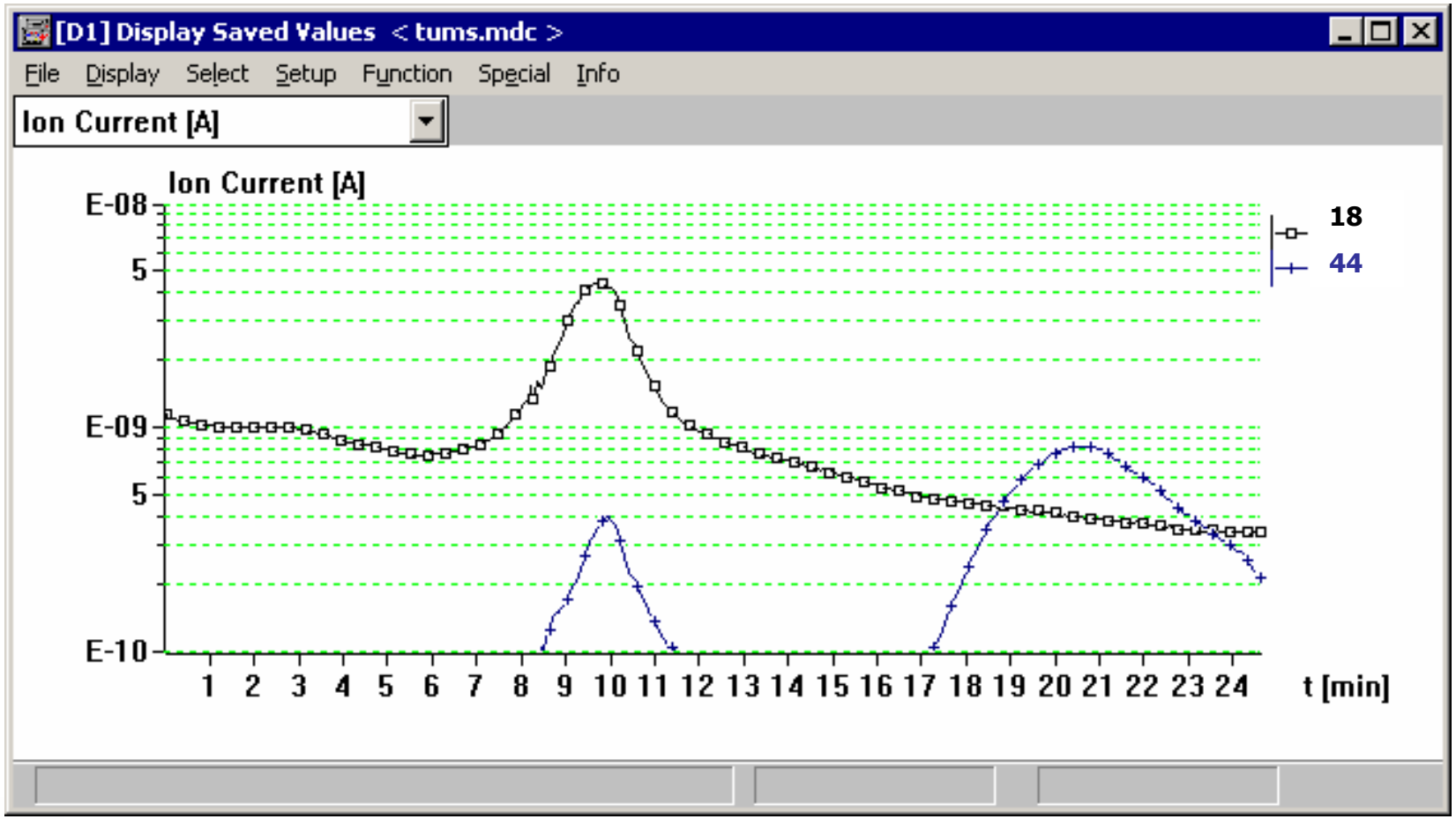
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detección de Concentraciones múltiples



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Detección de Iones Múltiples



Selección de hasta 64 masas
(evolución en continuo)

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Definiciones términos

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Resolución

$$R = \frac{m}{\Delta m'}$$

Se define como la relación entre la masa m, y la distancia en unidades de masa, Δm.

m es la masa en la que se determina la resolución,

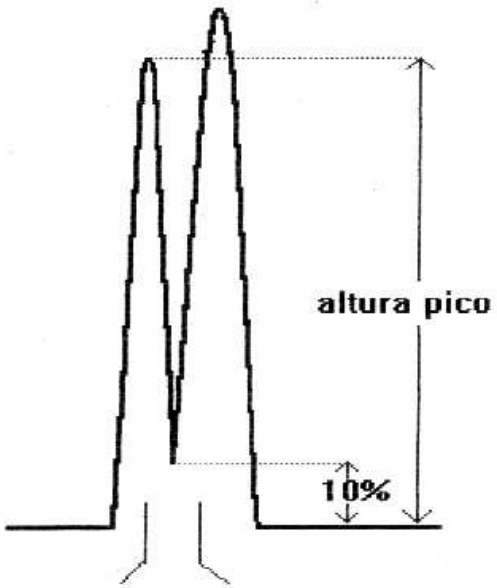
Δ**m** hay dos definiciones

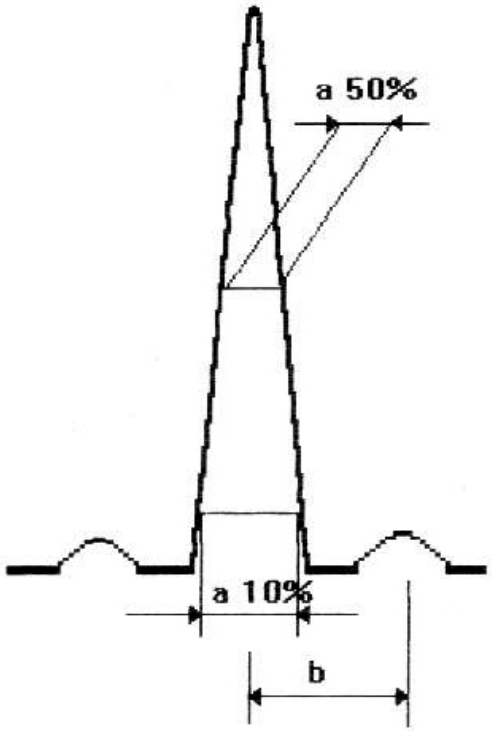
Resolución al 10 % del valle

- Significa que dos masas contiguas, **m y m+Δm,** con similar altura del pico se encuentran resueltas de forma que la señal del valle entre los picos es el 10% con respecto a la altura del pico.

Resolución con respecto anchura del pico

- Dos masas contiguas con similar altura de pico son poco frecuentes, por lo cual seria mejor definir la resolución con respecto a la anchura del pico al 10% ó 50% de su altura.





$$R_{x\%} = \frac{m}{\Delta m} = \frac{m}{a/b}$$

Resolución 10% valle

Resolución anchura pico

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Sensibilidad

La sensibilidad (S) del espectrómetro de masas, para un determinado gas, es la relación entre la corriente de iones (1^+) recogida en el detector con respecto a la presión parcial (Pp) del mismo en la fuente de ionización.

$$S_{Ar} = \frac{1+_{Ar}}{P_{PAr}}$$

Para determinar la sensibilidad es necesario especificar la corriente de emisión del filamento, la energía electrónica y el valor de resolución

Presión Parcial mínima detectable

Se define como la presión que origina una señal cuyo valor es dos veces mayor que la señal generada por el ruido

$$Pm = \frac{2\Delta 1}{S}$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Procedimientos prácticos de verificación de fugas en cámaras de vacío

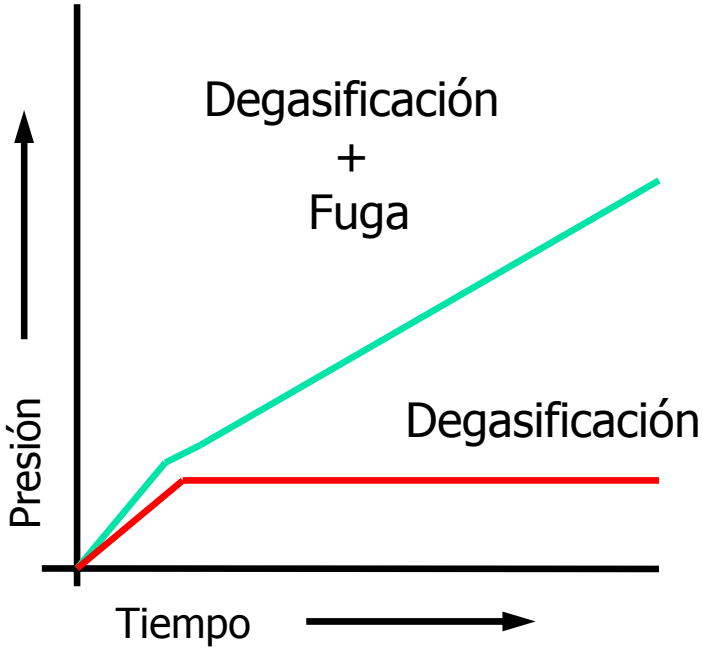
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Volúmenes pequeños, P>10^{-3} mbar sin detector de fugas de Helio

Cuando no conseguimos la presión final esperada en un sistema de vacío y siempre que tengamos una válvula de aislamiento entre bomba y cámara, debemos proceder como sigue :

- Comprobar que el sensor Pirani no esté contaminado
- Colocar el sensor en la boca de aspiración de la bomba y comprobar que llega a su vacío final
- Hacer vacío al sistema, cerrar la válvula y comprobar el aumento de presión durante un tiempo de t> 30 min.

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.



- Si hay fuga, se debe rociar con alcohol cada una de las uniones y soldaduras. Cuando se produzca una variación de presión en el sensor Pirani, nos indicará el punto de fuga

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Volúmenes grandes, $P>10^{-3}$ mbar Detector de fugas de Helio

Sistemas de alto y ultra alto vacío

Proceder de forma similar a la mencionada anteriormente. Si la prueba de ΔP demuestra que existe fuga se debe proceder :

- Adaptar la conexión del detector de fugas entre bomba rotativa y cámara
- Comenzar a hacer vacío al sistema hasta llegar a P<25 mbar, se conecta el detector de fugas y con una pequeña botella de Helio se comienza a rociar de “arriba hacia abajo” todas las uniones y soldaduras

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Sistemas de alto-ultra alto vacío, P< 10^{-4} mbar Espectrómetro de masas Cuadrupolar

- Se conecta el Espectrómetro de Masas a una de las bridas de la cámara de vacío
- Se hace vacío a la cámara y si P> 10^{-4} mbar, se rocía con alcohol las uniones y soldaduras. Si se produce una variación en la medida del sensor, es indicador del punto de fuga
- Si P<10^{-4} mbar, se pone en funcionamiento y se hace un espectro de gases residuales
- Si se sigue la relación H_20/N_2 a una P= $5x10^{-6}$ mbar, se pueden tomar, como aproximados los siguientes valores de fugas

Valor de fuga	*Relación H_2O / N_2*
0,35 x 10^{-4} mbar l/s	43
1 x 10^{-4} mbar l/s	27
8,0 x 10^{-4} mbar l/s	15

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Materiales usados en cámaras de vacío

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Propiedades

- ***Resistencia mecánica*** : Soportar, sin deformarse, la diferencia de presiones a las que son sometidos
- ***Impermeabilidad*** : En ningún caso deben pasar los gases desde el exterior a la cámara de vacío
- ***Inertes*** : No sufrir corrosión, ni reacciones a alta temperatura, etc.
- ***Baja presión de vapor***
- ***Alto índice de degasificación***

Tratamientos superficiales

Se suelen tratar las paredes interiores de las cámaras de vacío, para eliminar los componentes adheridos a su superficie (aceites, grasas, óxidos, partículas de polvo, etc)

Alguno de los métodos de limpieza son :

- ***Pulido de la superficie***, empleando lijas de pequeña granulometría y polvos de pulir.
- ***Desengrasado****:* Inmersión del componente en cuba de disolventes y tratamientos de ultrasonidos
- ***Desengrasado*** con disolvente en fase vapor

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

- ***Limpieza química:*** Hay que elegir los agentes apropiados dependiendo del tratamiento. Las cámaras de ultra alto vacío requieren tratamientos muy especiales
- ***Aclarado:*** Se suele emplear agua desmineralizada. Posteriormente se añade alcohol isopropílico para eliminar los restos de agua
- ***Secado***

A las cámaras de vacío, una vez producida su limpieza, se deben cerrar todas sus bocas y tocar con guantes la superficie tratada

Índices de desorción (Q)

Material	***Características.*** ***Superficie***	*Condición* ***superficie***	*Q mbar l / s.cm²* *1 hora*	*Q mbar l / s.cm²* *4 hora*	*Q mbar l / s.cm²* *10 hora*
Acero nox.	sin tratar	limpia	$2,7x10^{-7}$	$5,4x10^{-8}$	$2,7x10^{-8}$
Acero inox	pulida	limpia	$2x10^{-8}$	$4x10^{-9}$	$2x10^{-10}$
Acero inox	"caustic"	Calentada 1 hora con aire	$1,4x10^{-9}$	$2,8x10^{-10}$	$1,4x10^{-10}$
Acero inox	granallada	Calentada 1 hora con aire	$3x10^{-10}$	$6,5x10^{-11}$	$4x10^{-11}$
Ni plateado	pulida	limpia	$2x10^{-7}$	$1,5x10^{-8}$	$5x10^{-9}$
Cr plateado	pulida	limpia	$1,3x10^{-8}$	$2,2x10^{-9}$	$1,2x10^{-9}$
Acero		oxidada	$6x10^{-7}$	$1,6x10^{-7}$	$1x10^{-7}$
Acero	sin tratar	limpia	$5x10^{-7}$	$1x10^{-7}$	$5x10^{-8}$
Acero	granallada	limpia	$4x10^{-7}$	$8x10^{-8}$	$3,8x10^{-8}$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Material	***Características.*** *Superficie*	*Condición* ***superficie***	*Q mbar l / s.cm²* *1 hora*	*Q mbar l / s.cm²* *4 hora*	*Q mbar l / s.cm²* *10 hora*
Aluminio		limpia	$6x10^{-8}$	$1,7x10^{-8}$	$1,1x10^{-8}$
Latón		limpia	$1,6x10^{-6}$	$5,6x10^{-7}$	$4x10^{-7}$
Cobre		limpia	$3,5x10^{-7}$	$9,5x10^{-8}$	$5,5x10^{-8}$
Vidrio		limpia	$4,5x10^{-9}$	$1,1x10^{-9}$	$5,5x10^{-10}$
Neopreno			$4x10^{-5}$	$2,2x10^{-5}$	$1,5x10^{-5}$
Perbunan			$4x10^{-6}$	$1,7x10^{-6}$	$1,3x10^{-6}$
Vitón			$1,2x10^{-6}$	$3,6x10^{-7}$	$2,2x10^{-7}$
Vitón		Calentado a 100ºC (4 h)	$1,2x10^{-7}$	$5x10^{-8}$	$2,8x10^{-8}$
Vitón		Calentado a 150ºC (4 h)	$1,2x10^{-9}$	$3,3x10^{-10}$	$2,5x10^{-10}$
Teflón		Desgasificado	$8x10^{-7}$	$2,3x10^{-7}$	$1,5x10^{-7}$

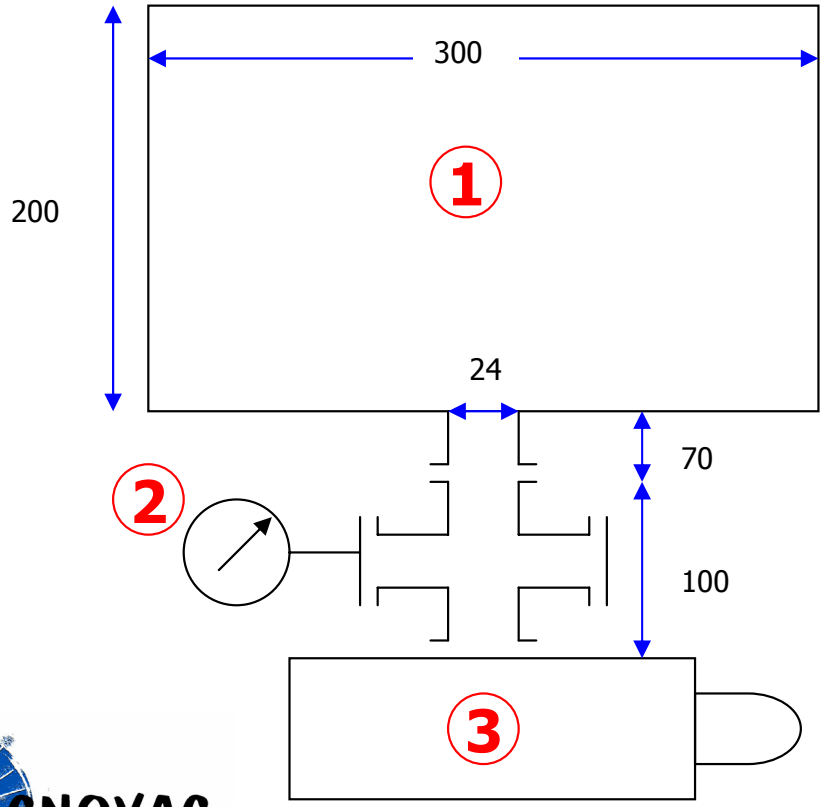
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejercicios

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejercicio nº 1

Calcular el tiempo de bombeo para alcanzar en una cámara de 14 litros una P= 5 x 10^{-2} mbar



1. Cámara de vacío 14 l
2. Medidor Pirani
3. Bomba de vacío rotativa de 10 m^3/h de capacidad nominal

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Cálculos

1 Cálculo de la conductancia

$$C = 7750\frac{r^4 P_m}{l} = 7750\frac{1.2^4 \times 0.05}{17} = 47m^3/h$$

2 Cálculo de la capacidad de bombeo efectiva

$$S_{eff} = \frac{C \times S}{C + S} = \frac{47 \times 10}{47 + 10} = 8{,}2m^3/h$$

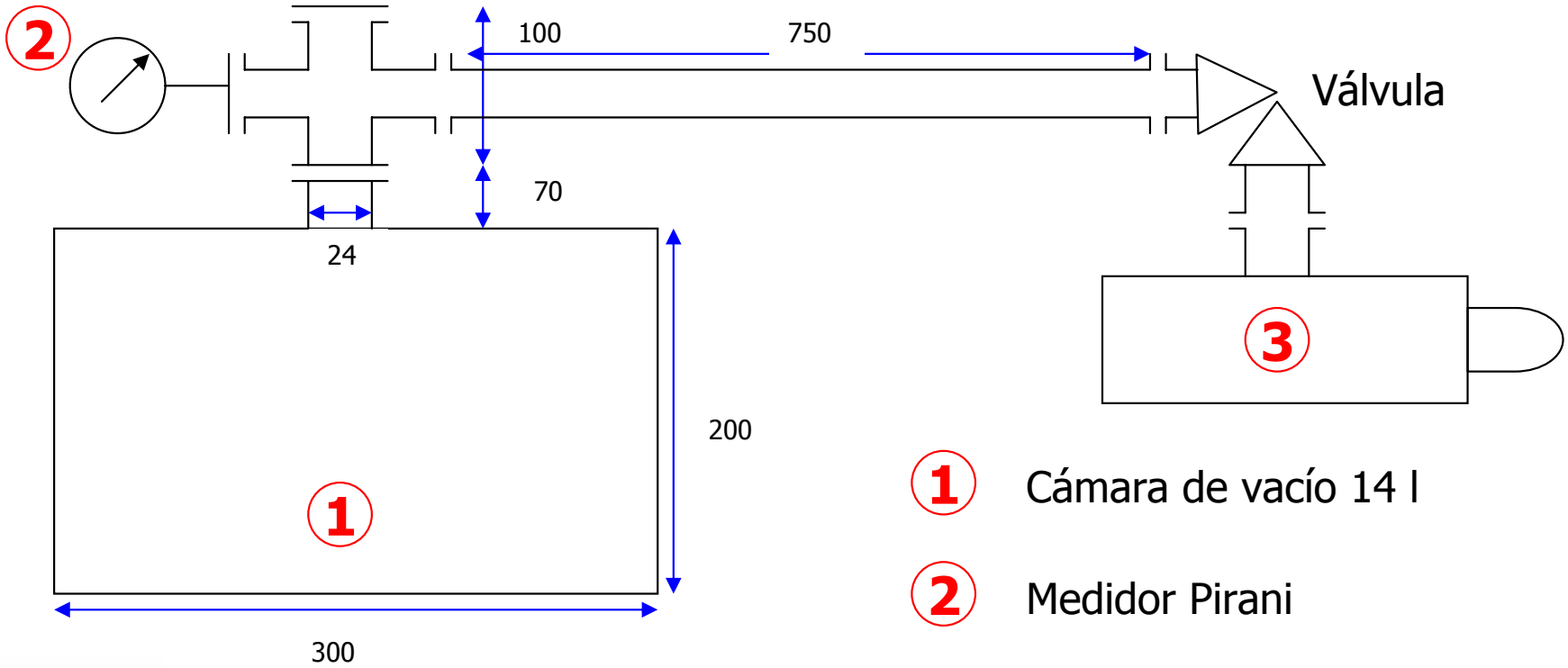
3 Cálculo del tiempo de bombeo

$$t = \frac{V}{S_{eff}} L_n \frac{P_1}{P_2} = \frac{0.014}{8.2} L_n \frac{1000}{0.05} = 61s$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejercicio nº 2

Mismas condiciones que en el ejercicio 1 pero introduciendo conducciones , válvulas y codos



1 Cámara de vacío 14 l

2 Medidor Pirani

3 Bomba de vacío rotativa de 10 m^3/h de capacidad nominal

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Cálculos

1 Cálculo de la conductancia

$$C = 7750\frac{r^4 P_m}{l} = 7750\frac{1.2^4 \times 0.05}{116} = 6.9m^3/h$$

2 Cálculo de la capacidad de bombeo efectiva

$$S_{eff} = \frac{C \times S}{C + S} = \frac{6.9 \times 10}{6.9 + 10} = 4m^3/h$$

3 Cálculo del tiempo de bombeo

$$t = \frac{V}{S_{eff}} L_n \frac{P_1}{P_2} = \frac{0.014}{4} L_n \frac{1000}{0.05} = 124s$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejercicio nº 3

El flujo de gas que desplaza una bomba turbomolecular con una capacidad efectiva de bombeo de 70 l/s a una P=0.02 mbar

¿ Qué Presión se alcanzará en el vacío primario, trabajando con una bomba primaria seca de membrana de 1 m^3 /h ?

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejercicio nº 4

Valor de fuga máximo considerando que conectamos un detector HLT 260 en test port 2 a la boca de una bomba Roots de 4000 m^3/h (WKP 4000)

$$S_{WKP4000} = \frac{4000}{3.6} = 1.110 l/s$$

$$Q_R = Q_{FD} \times \frac{0.01 + 1.100}{0.01}$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejemplo 5
Indice de fuga en mbar l/s

Una rueda de bicicleta puede tener una pérdida máxima de presión de 1000 mbar en 175 días.

Volumen	=	*1.5 litros*
175 días	=	*$1.5x10^7$ segundos*

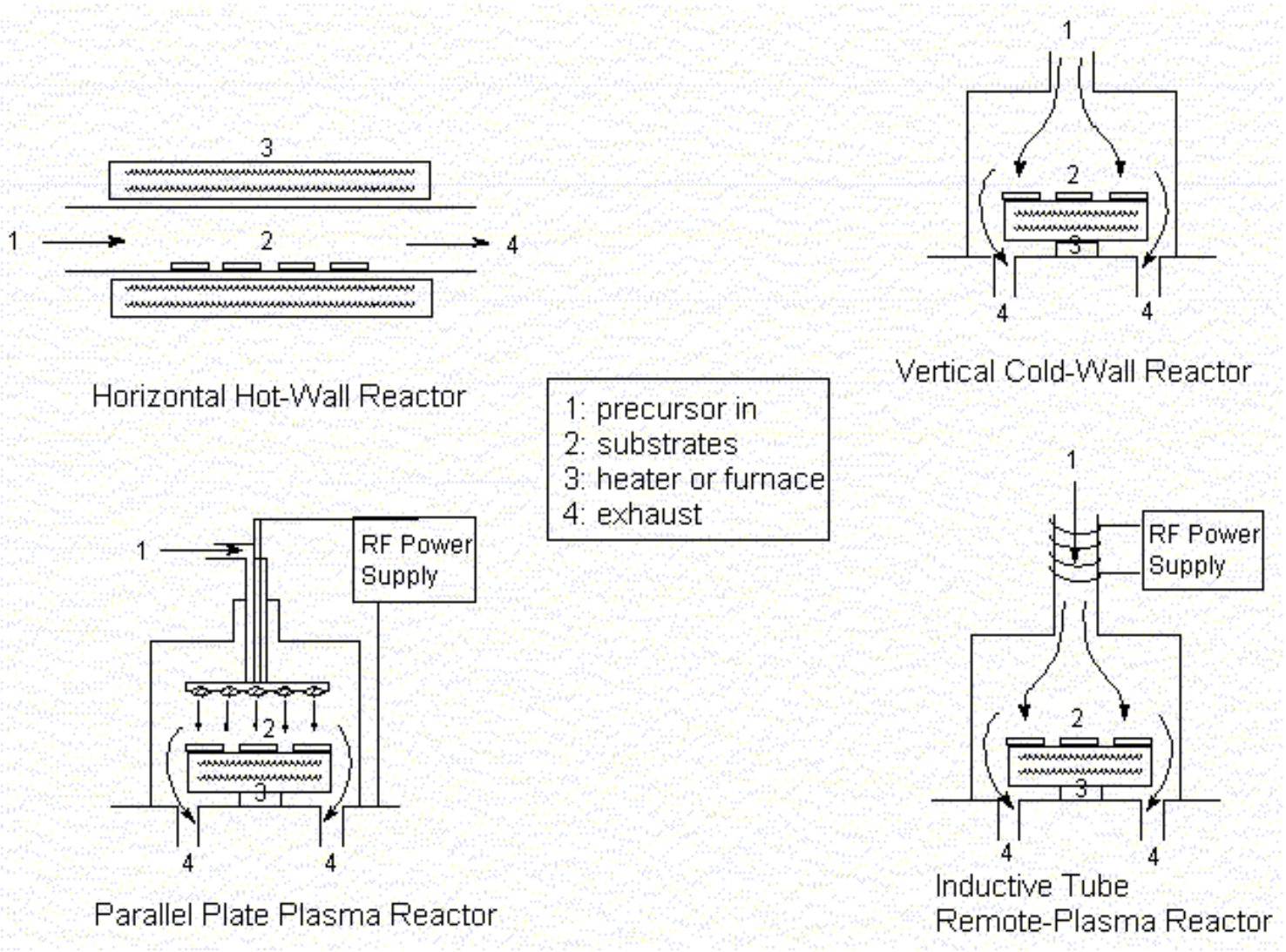
$$LR = \frac{mbar * l}{s} = \frac{1000 * 1.5}{1.5x10^7} = 1.0x10^{-4}\, mbarl / s$$

TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Sistemas de evaporación

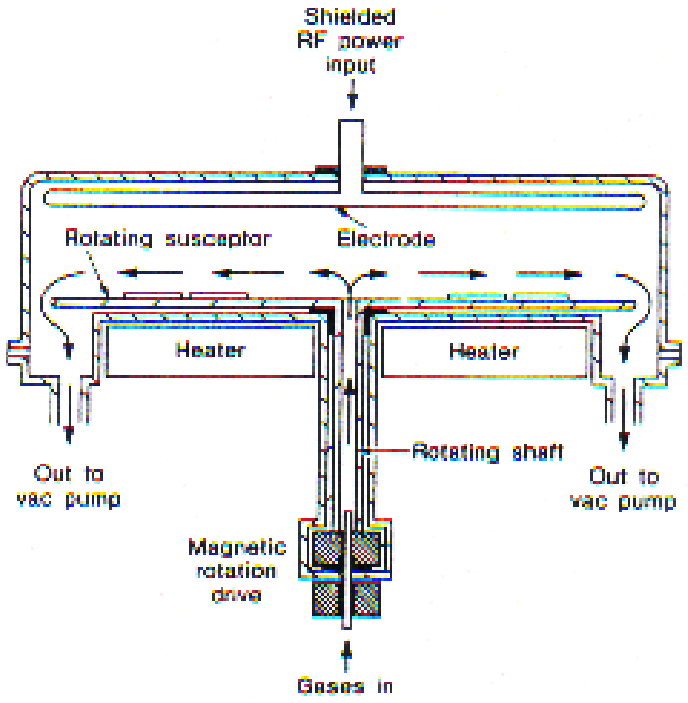
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

CVD (Chemical Vapour Deposition)



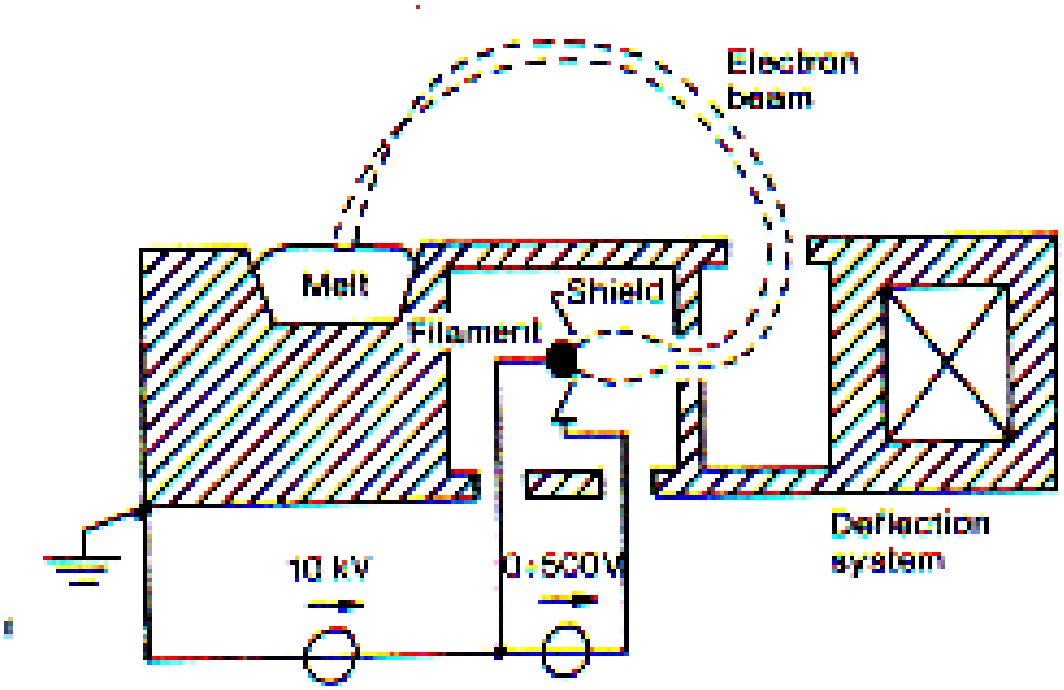
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.

Sección de PE CVD



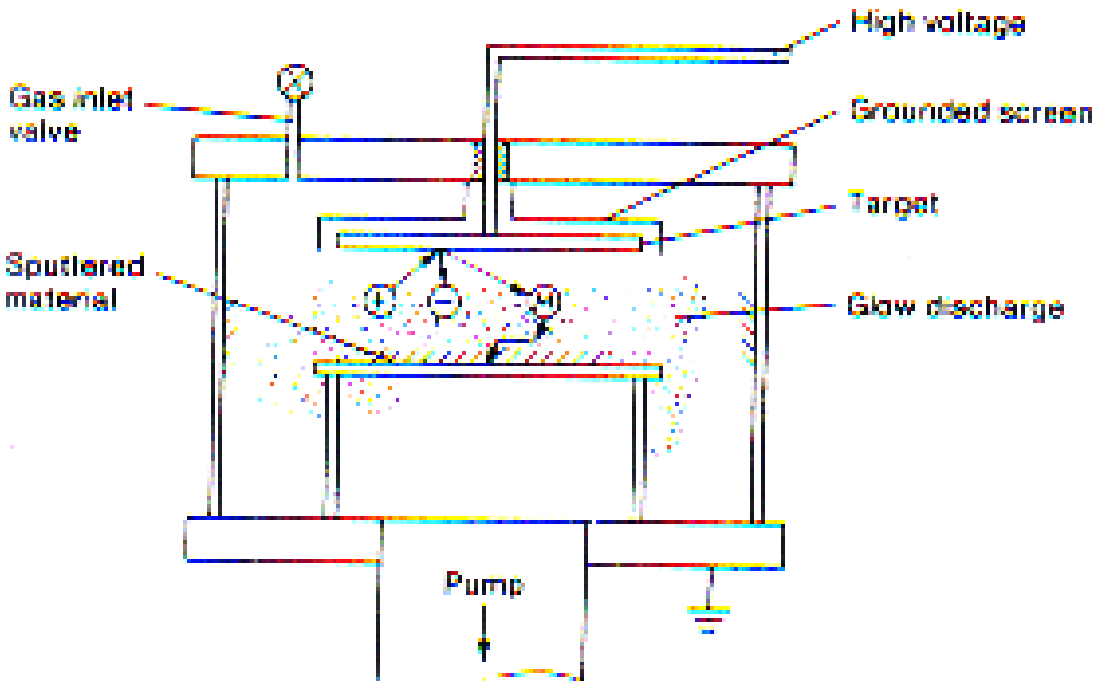
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Evaporador con cañón de electrones



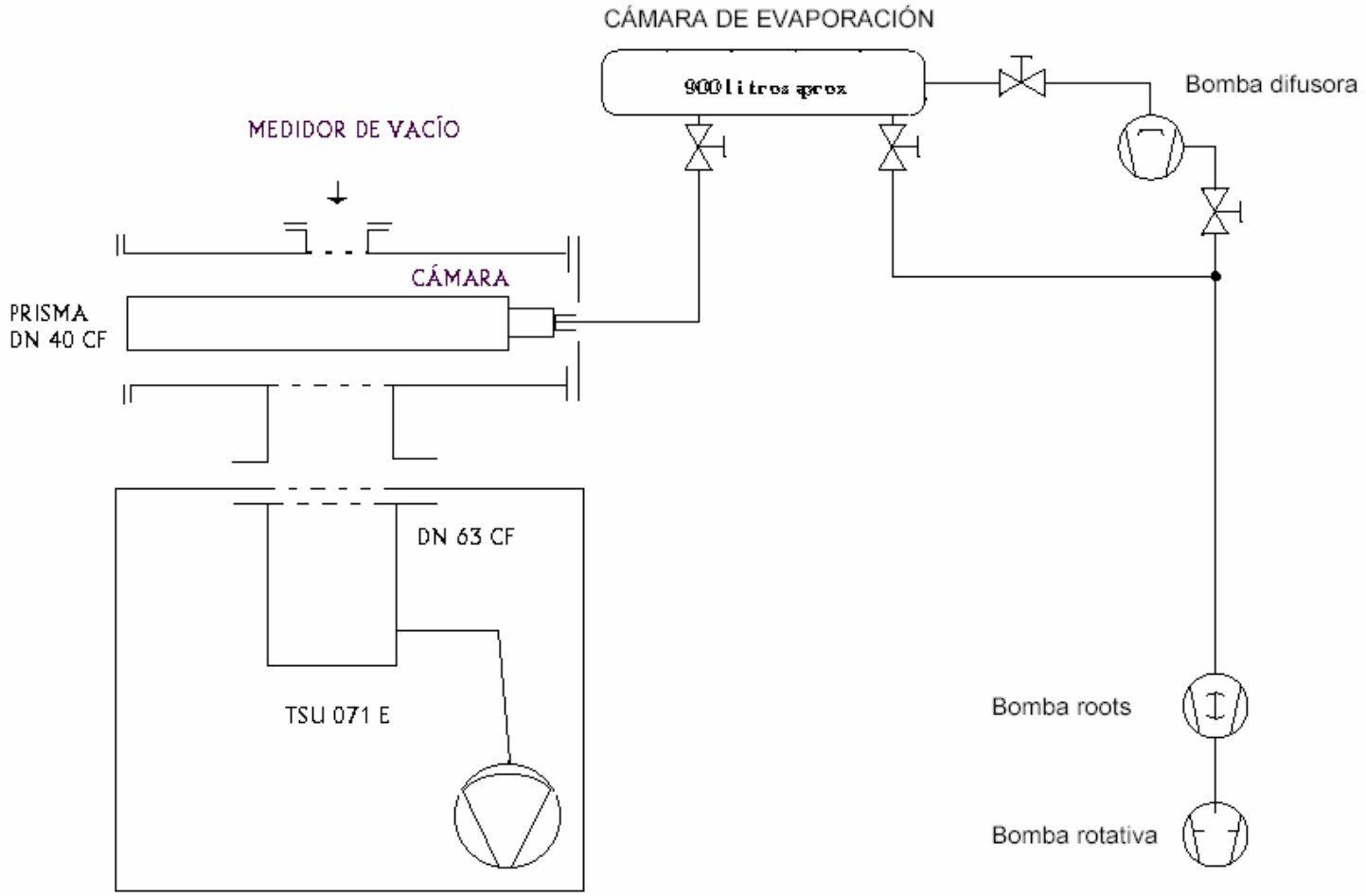
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Esquema de un Sputtering



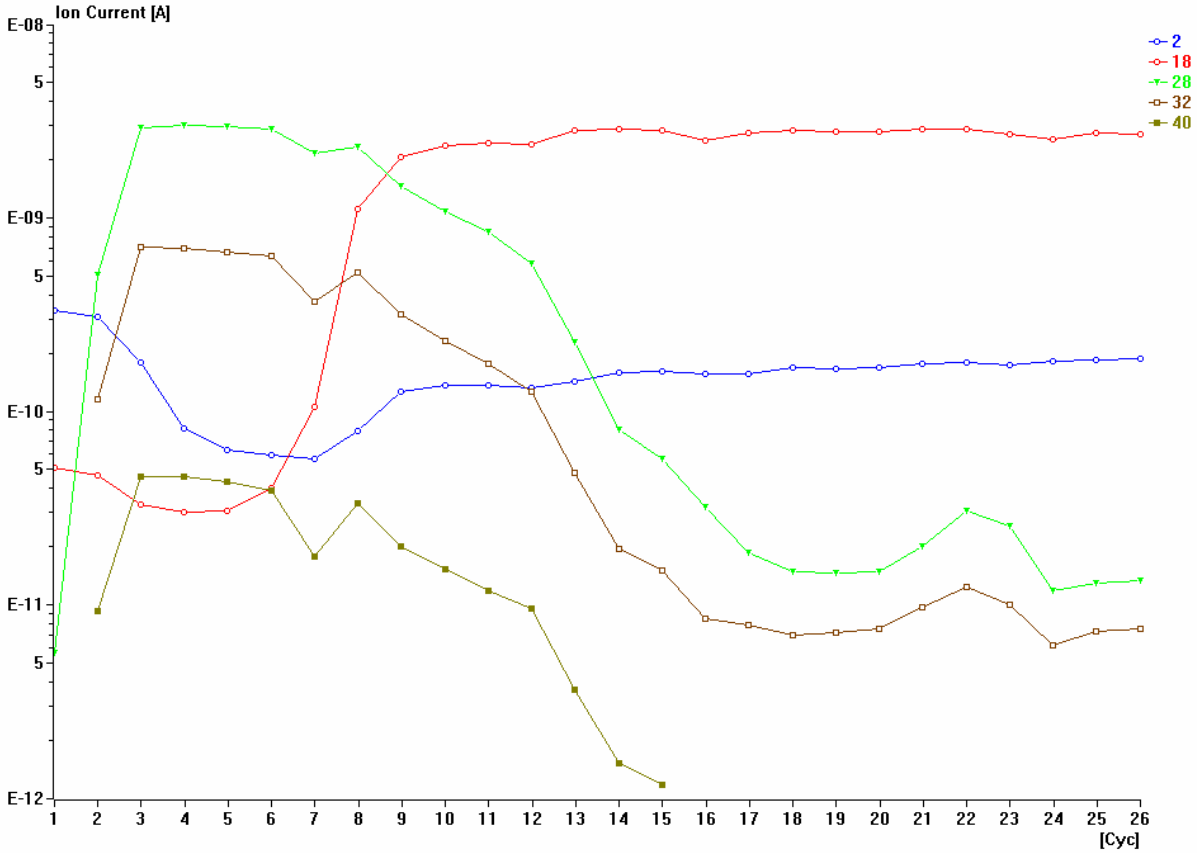
TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejemplo Cámara evaporación



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.

Ejemplo Espectrometría de masas



TECNOVAC
TECNOLOGÍA DE VACÍO S.L.