

# Información General sobre Materiales, Seguridad y Equipos para la Nanotecnología

**ESC 211**

*Traducción: Prof. Carlos Vicente Prado – Universidad de Puerto Rico – Recinto de Río Piedras*

© 2013 The Pennsylvania State University

# **Unidad 2**

## **Infraestructura de Procesamiento y de Manufactura**

### **Conferencia 6**

### **Más Información Sobre Sistemas de Vacío, Parte III**

# Bosquejo de la Unidad

- Infraestructura
  - \* ¿Qué es?
  - \* ¿Por qué es necesaria para la nanotecnología?
- Facilidades
- Tipos de Sistemas
  - \* Sistemas al Vacío
  - \* Sistemas que no utilizan Vacío

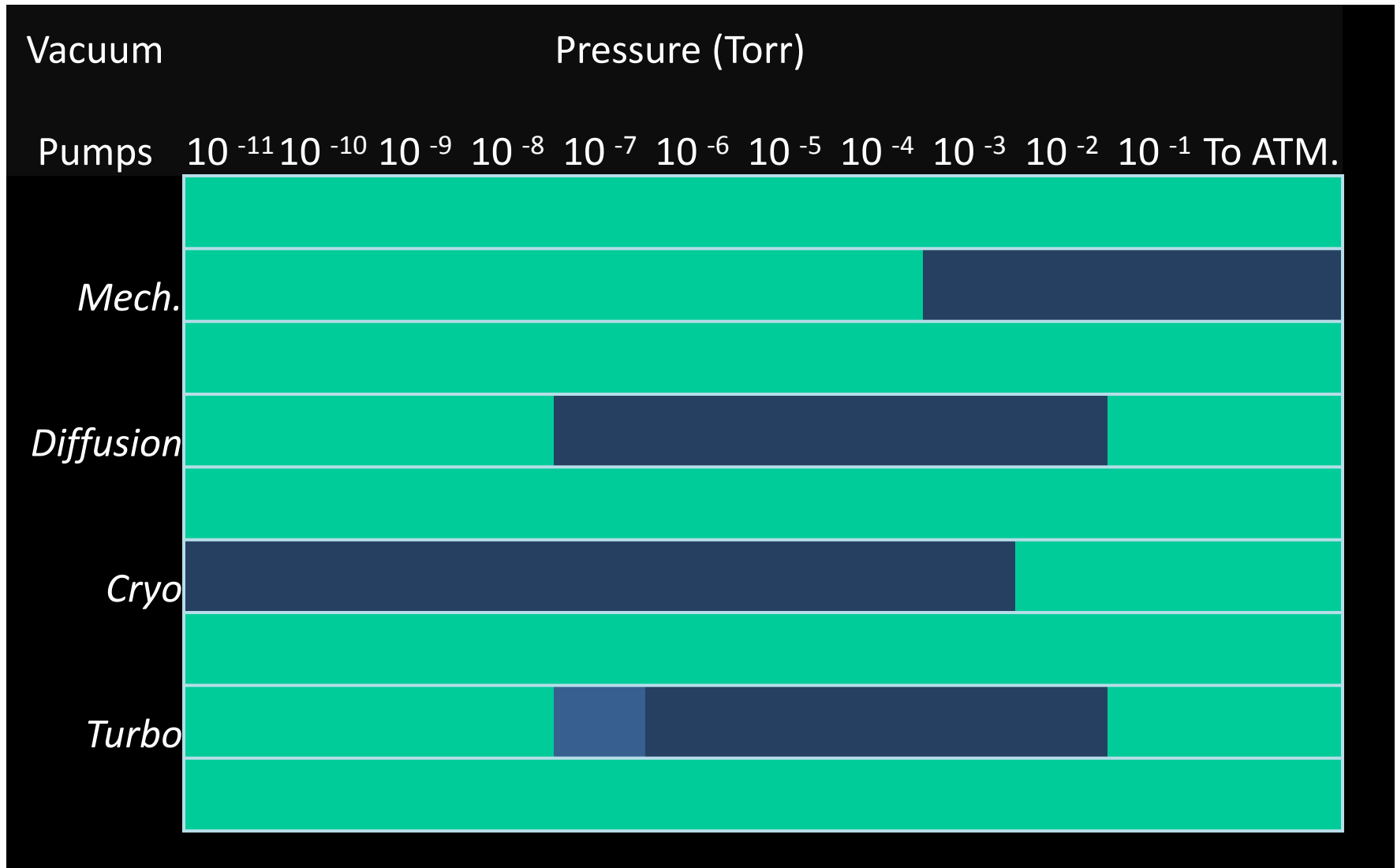
# Bosquejo de la Lección 6

- Bombas de Vacío
- Escapes en el Vacío

# Bombas de Vacío

- Las bombas se seleccionan y utilizan según los siguientes criterios:
  - Nivel del vacío requerido
  - Los gases que serán bombeados
  - Velocidad del bombeo
  - El rendimiento total
  - Tolerancia de gases corrosivos
  - Costo
  - Requisitos de mantenimiento
  - Tiempo de inactividad (“downtime”)
- ¿Podemos tener todos estos atributos con todas las bombas?
- La física operacional determina el desempeño

# Alcances Típicos para Bombas de Vacío



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Bombas de Vacío

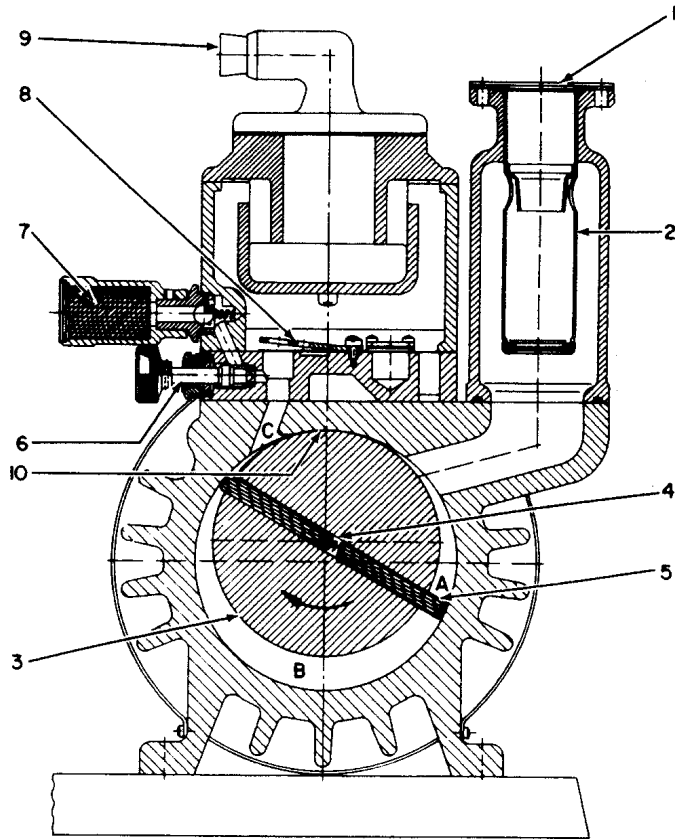
- Son aparatos utilizados para remover las partículas de gas de la cámara de procesamiento
  - De esta manera reducen la presión
- Las bombas de vacío utilizadas en nanofabricación puede dividirse en dos categorías:
  - Bombas mecánicas
  - Bombas de alto vacío

# Bombas Mecánicas

- Son capaces de reducir la presión a un estado débil de vacío con presión de aproximadamente  $10^{-3}$  Torr
- Las bombas mecánicas se utilizan como un paso inicial para reducir la presión en el sistema antes de alcanzar un alto nivel de vacío
- Las mas comunes son las bombas mecánicas de paleta rotatoria y sellado de aceite



# Bombas Mecánicas de Paleta Rotatoria y Sellado de Aceite



- El gas entra en la cámara (A) y es comprimido por el rotor (3) y la paleta (5) en la región B y expulsado a la atmósfera vía la válvula de descarga (8)
- Se logra un sello hermético mediante la acción de una o mas paletas presionadas por resortes contra la superficie selladora
- Las paletas y superficies que se encuentran entre el rotor y la estructura que contiene la bomba son selladas por aceite de baja presión de vapor que también lubrica la bomba

# Bombas Mecánicas

- Ventajas

- Pueden utilizarse a presiones tan altas como 760 Torr
- Construcción Resistente
- Fáciles de mantener
- Bajo costo operacional
- Bajo costo inicial
- Larga vida útil
- Variedad de tamaños

- Desventajas

- Flujo a contracorriente del aceite (backstreaming)
- Ruidosas
- A presiones menores  $10^{-1}$  Torr disminuye la velocidad
- Sensitividad a los particulados
- Producen vibraciones de baja frecuencia

# Flujo a Contracorriente (Backstreaming)

- Posible fuente importante de contaminación
- En este proceso el aceite se evapora y sale de la bomba hasta llegar a la cámara de procesamiento.
- A medida que la presión en la cámara va disminuyendo, el flujo a contracorriente de aceite se vuelve un problema mayor
  - Depende de la presión de vapor del aceite que se emplee en la bomba
- Este problema ha ocasionado la movida de la industria en la dirección de bombas secas (que no emplean aceite)

# Aceite

- Si no es necesaria una presión de vapor muy baja, las bombas utilizan un aceite estándar basado en hidrocarburos:
  - Conocido como aceite mineral
- Sin embargo varias características del aceite mineral lo hacen inapropiado para el uso en bombas de alto vacío (baja presión)
  - La presión de vapor es muy alta
  - Es inestable en ambientes con alto contenido de oxígeno
  - A temperaturas altas los hidrocarburos se pueden descomponer o “rajarse” (“crack”)

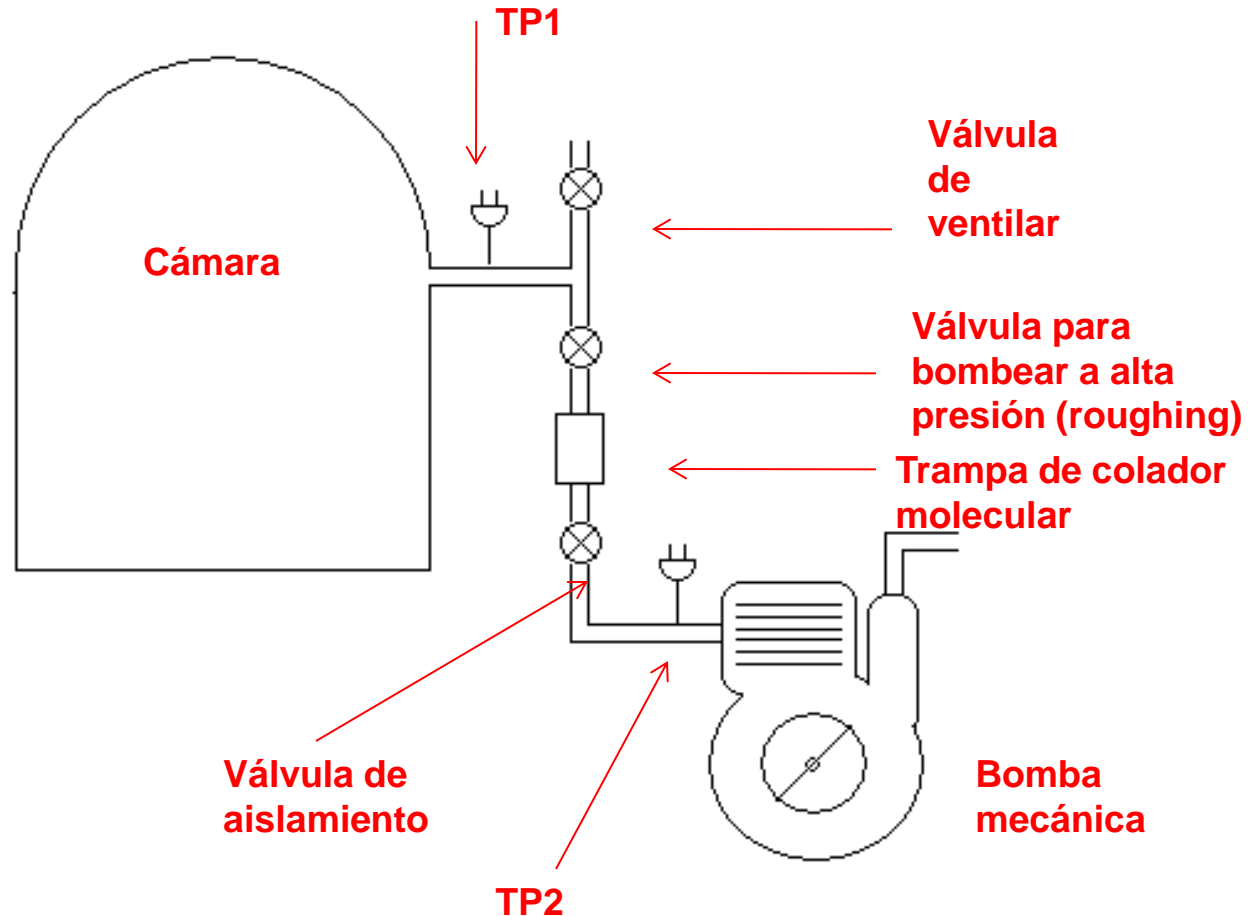
# Aceite Sintético

- Se desarrolla para superar las desventajas del aceite mineral
- Los aceites sintéticos tienen baja presión de vapor, alto índice de viscosidad (es decir, son bien resbalosos y por eso lubrican bien) y son químicamente inertes

# Fluoroquímicos

- Se caracterizan por ser inertes; no reaccionan con casi ningún compuesto:
  - Adecuados para el uso en ambientes con mucho oxígeno
- Hay dos variedades comerciales de aceite completamente fluorizado que se utilizan comúnmente:
  - Fomblin
  - Krytox

# Sistema de Bomba Mecánica



TP = Termopar

Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Bombas de Alto Vacío

- Las bombas de alto vacío son capaces de alcanzar presiones de menos de  $10^{-3}$  Torr
- Las bombas de alto vacío están hechas de materiales que no emanan ningún tipo de gas:
  - Acero inoxidable 304
  - Titanio
  - Kovar
  - Níquel
  - Vidrio de borosilicato
  - Cerámica
  - Tungsteno
  - Oro
  - Cobre libre de oxígeno de alta conductividad (OFHC)



# Bombas de Alto Vacío

- Existen varios tipos de bombas de alto vacío:
  - Difusión de aceite
  - Criogénica
  - Turbo-molecular
  - Bomba de sublimación de Ti

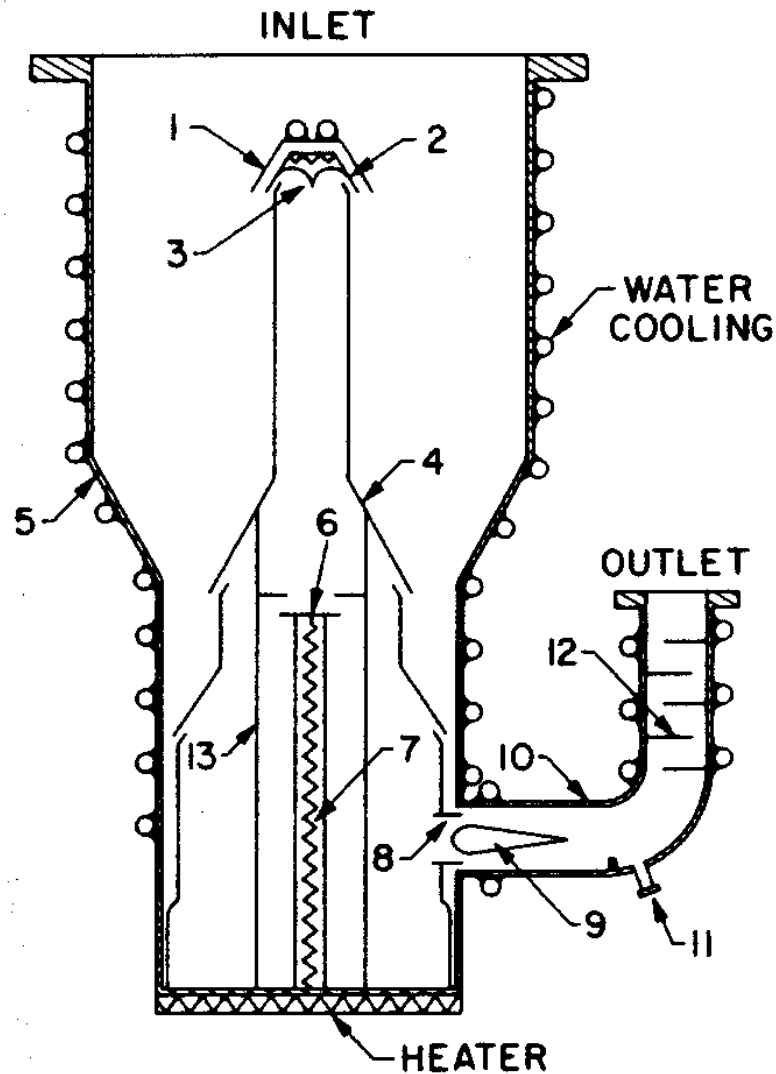
# Bombas de Difusión

- Utiliza un chorro de vapor que transporta el gas por transferencia de momentum causadas por las colisiones del gas a bombearse con el vapor.
- El aceite de esta bomba es calentado en una caldera hasta que se vaporiza

# Bombas de Difusión

- Las boquillas dirigen el vapor hacia abajo en la dirección de la pared exterior enfriada por agua, donde se condensa y vuelve a la caldera
- Todo gas que se difunde en la corriente de vapor es empujado hacia abajo y expulsado en una región de mayor presión
- Los modelos modernos tienen varias etapas que comprimen el gas a una presión cada vez más alta mientras este se transporta a la salida

# Bomba de Difusión



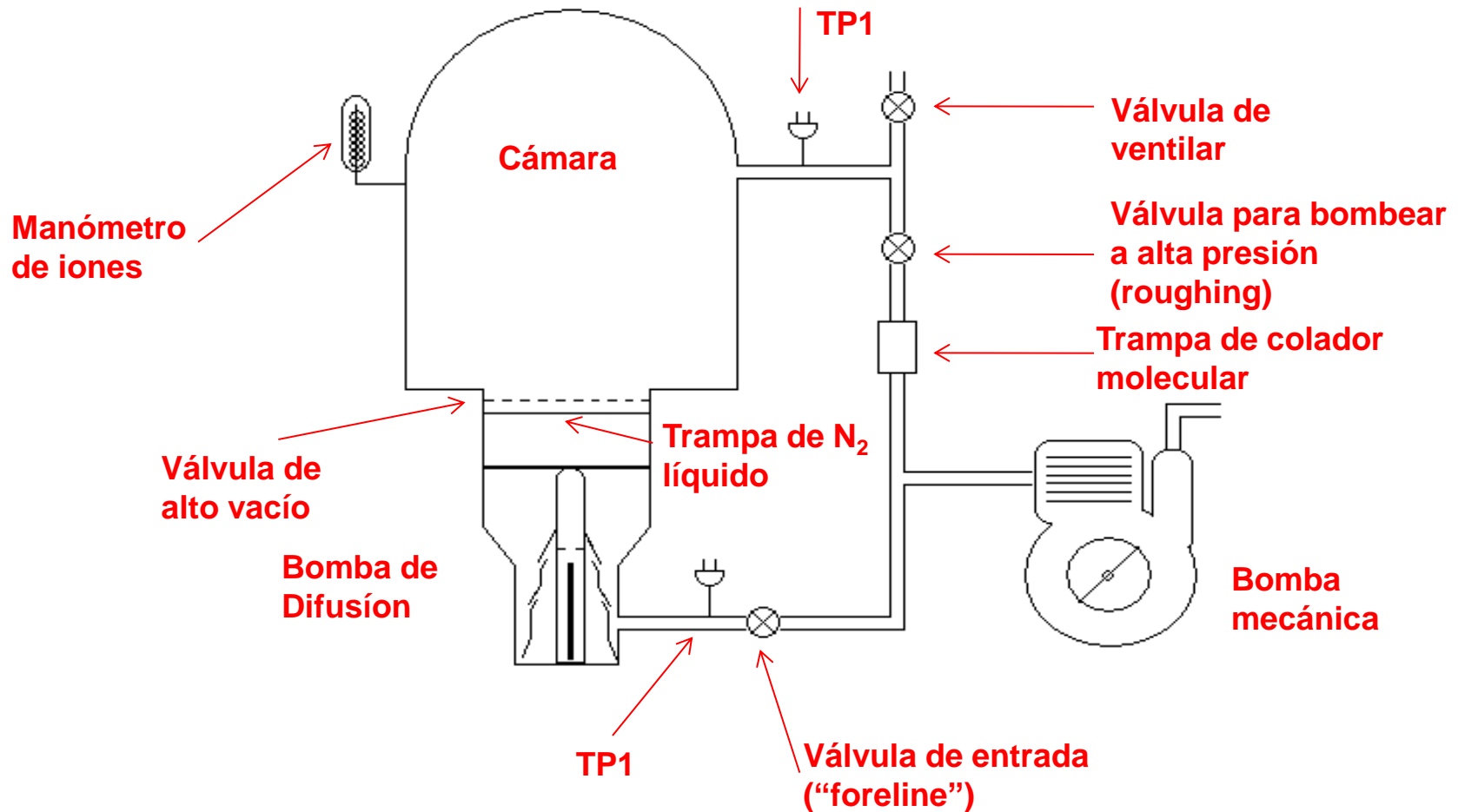
# Bomba de Difusión

- Ventajas
  - Confiable
  - No tiene partes que se mueven
  - Bajo costo
  - Relativamente rápidas y rapidez de bombeo es constante (no disminuye a bajas presiones)
  - Alto rendimiento de procesamiento
  - Bajo costo operacional
- Desventajas
  - Tienden a admitir el flujo a contracorriente de aceite: son sucias
  - No aptas para ambientes corrosivos o ricos  $O_2$ .
  - Requieren una trampa criogénica
  - Requieren una bomba mecánica de apoyo

# Aceite Basado en Silicón

- Una serie de polímeros de siloxano
  - Compuesto por una serie de unidades sucesivas de grupos de silicio y oxígeno con enlaces de silicio a grupos laterales (metilo, fenilo, alquilo, cloro, etc.)
- Una clase de aceite de silicón, el trisiloxano, es comúnmente usado en las bombas de difusión por muchas razones:
  - Estabilidad, resistencia a oxidación y baja presión de vapor
- Sin embargo, la falta de adhesión y la inhabilidad para formar una película sobre el acero limita la utilidad de estos aceites en otras bombas.

# Sistema de Bomba de Difusión



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Bombas Criogénicas

- Atrapan las moléculas del gas en una superficie fría por medio de las fuerzas débiles de van der Waals
  - Se basan en crio-condensación, crio-sorción y crio-entrapamiento
- Estas bombas usan helio o nitrógeno líquido para enfriar y segregar los gases
  - Son bombas de captura de gases



# Bombas Criogénicas

- Las crio-bombas están diseñadas con una serie de aletas en arreglo de pila en el centro de la bomba (un expansor)
  - El gas de la cámara se acumula en las paletas removiéndolo de el sistema y disminuyendo así la presión
- El expansor se enfría a medida que un compresor va introduciendo helio en el mismo desde la parte inferior
- A diferencia de otros tipos de bomba las crio-bombas pueden bombear eficientemente el vapor de agua.

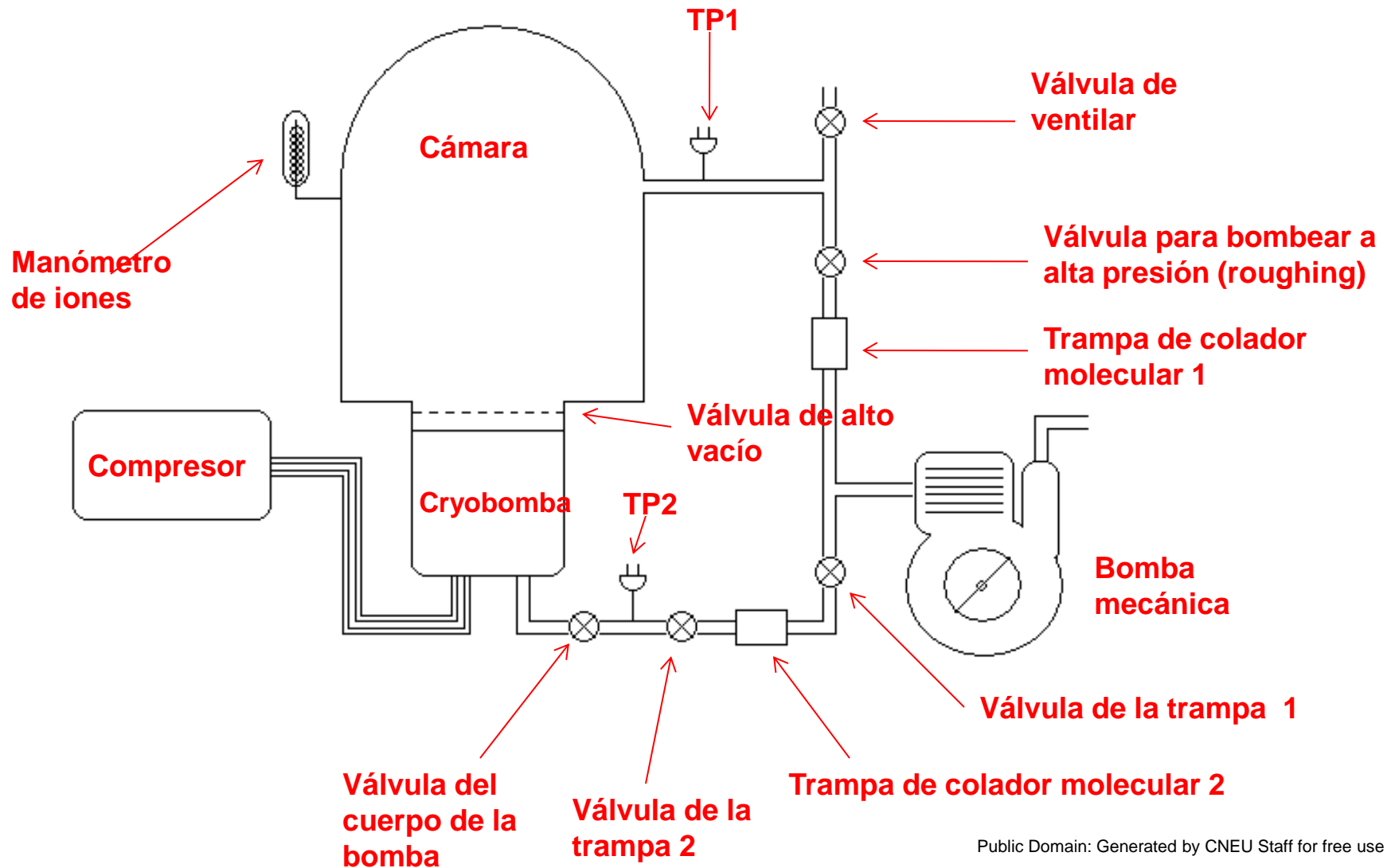
# Bombas Criogénicas



# Bombas Criogénicas

- Ventajas
  - Alta velocidad
  - Alto rendimiento de proceso
  - Limpias
  - Bajo costo operacional
  - No requiere bomba mecánica de apoyo
- Desventajas
  - Requiere regeneracion
  - Requiere mantenimiento periodico
  - Requiere un refrigerante ultra puro
  - Pueden explotar (dependiendo de la cantidad de gas)

# Sistema de Bomba Criogénica



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

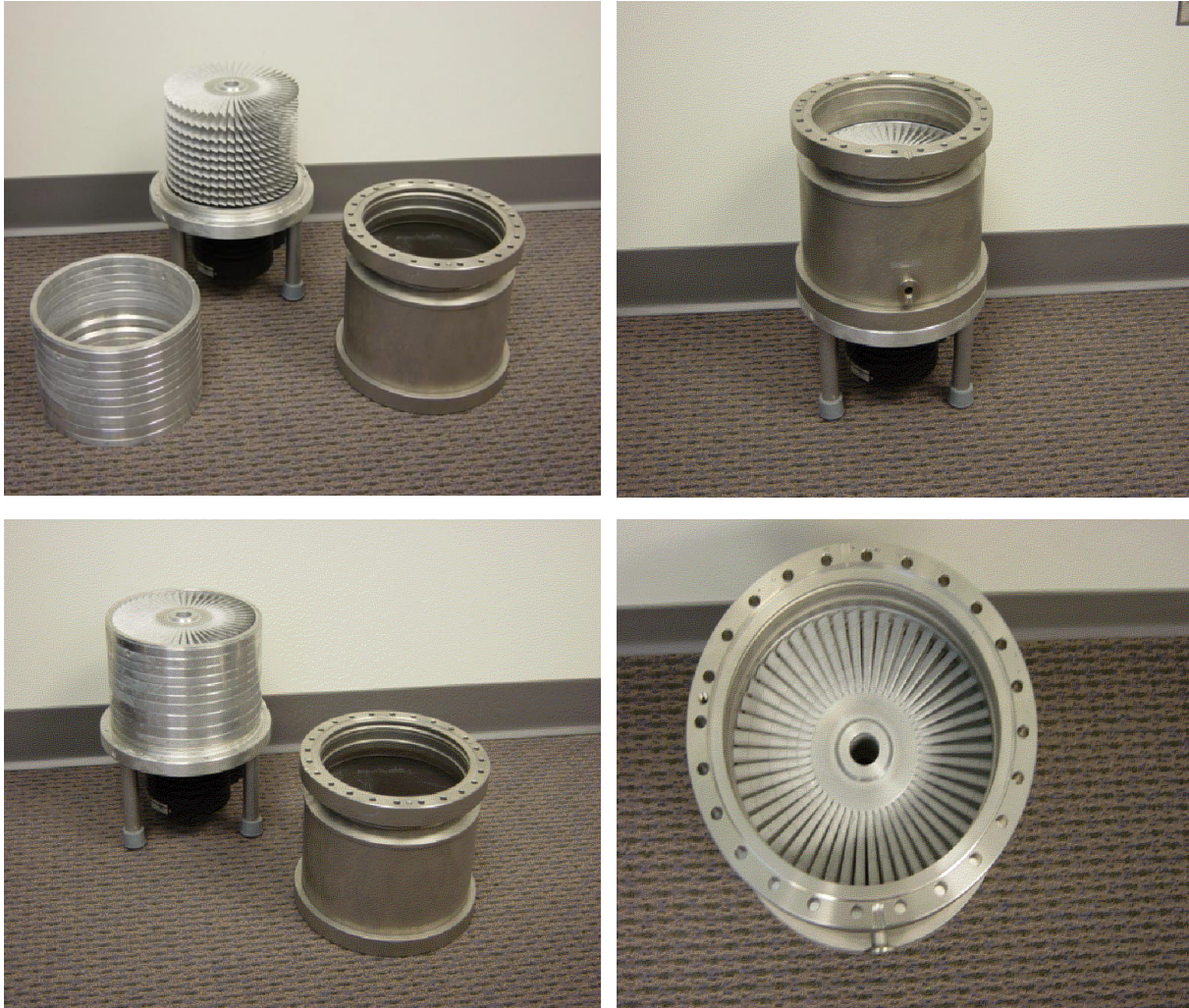
# Bomba Turbomolecular

- Tienen un diseño similar a la turbina de un avión de propulsión a chorro (jet)
- Una serie de láminas con aspas que rotan a velocidades muy altas en torno a un eje central (de 24,000 a 40,000 rpm)
- Su funcionamiento se basa en el principio de transferencia de momentum
  - En esto se parecen a las bombas de difusión

# Bomba Turbomolecular

- Las moléculas del gas en la cámara encuentran la primera superficie y adquieren momentum debido a la colisión con las aspas en rotación
- La dirección del momentum adquirido es hacia abajo lo que los impulsa a la próxima superficie donde vuelve a ocurrir lo mismo. Así se logra remover el gas de la cámara y disminuir la presión.

# Bomba Turbomolecular



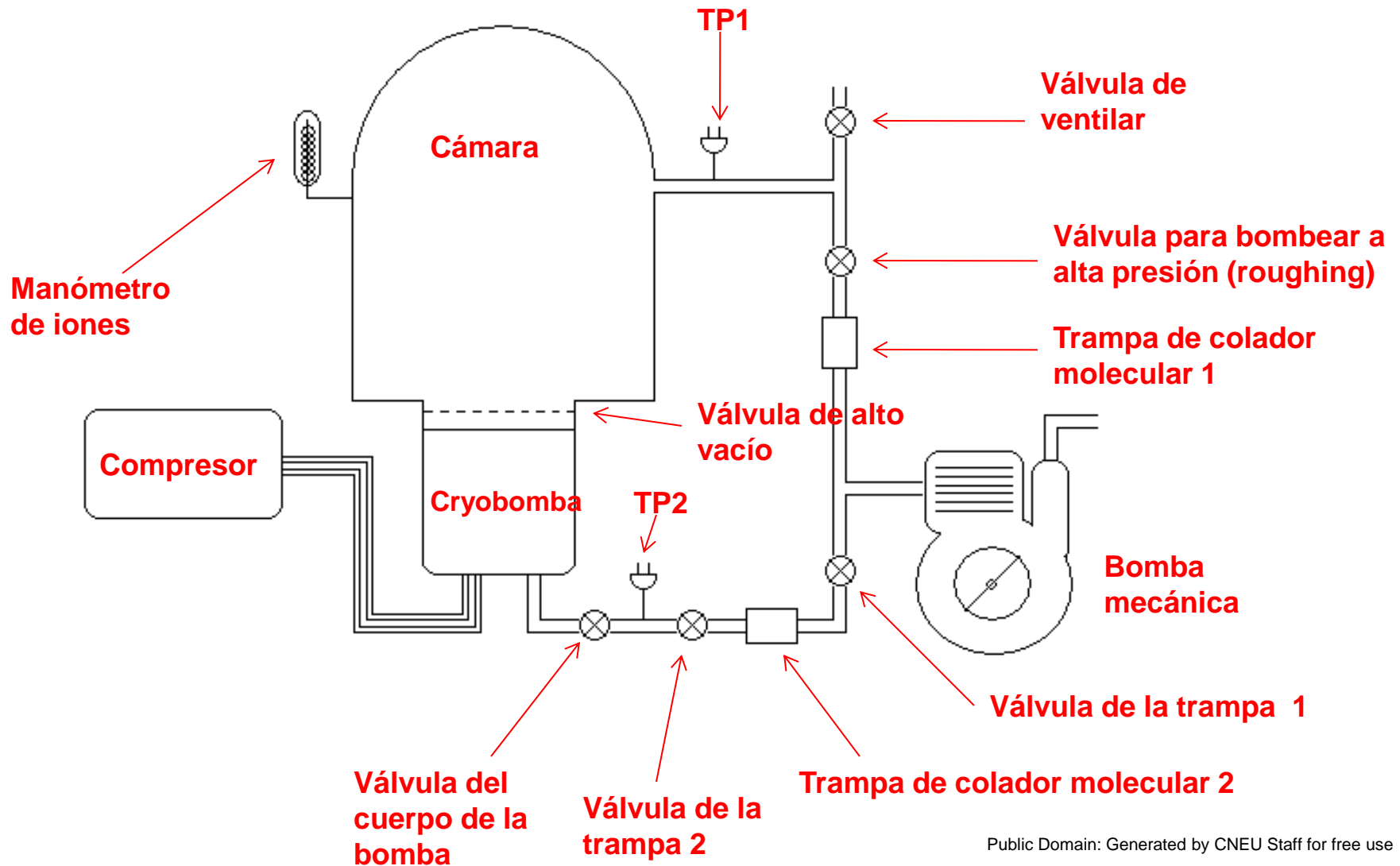
Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Bomba Turbomolecular

- Ventajas
  - No usan aceite y por lo tanto no hay flujo de aceite a contracorriente
  - Pueden manejar materiales corrosivos o mezclas de gases con alto contenido de  $O_2$
  - Alto rendimiento de proceso
  - Tardan poco en ponerse en marcha
  - Velocidad constante
- Desventajas
  - Costosas
  - Corta vida útil (1 año)
  - Utilizan cajas de bolas
  - No pueden comenzar a usarse a presión atmosférica (necesitan una bomba de apoyo)
  - La velocidad es baja para hidrogeno y helio

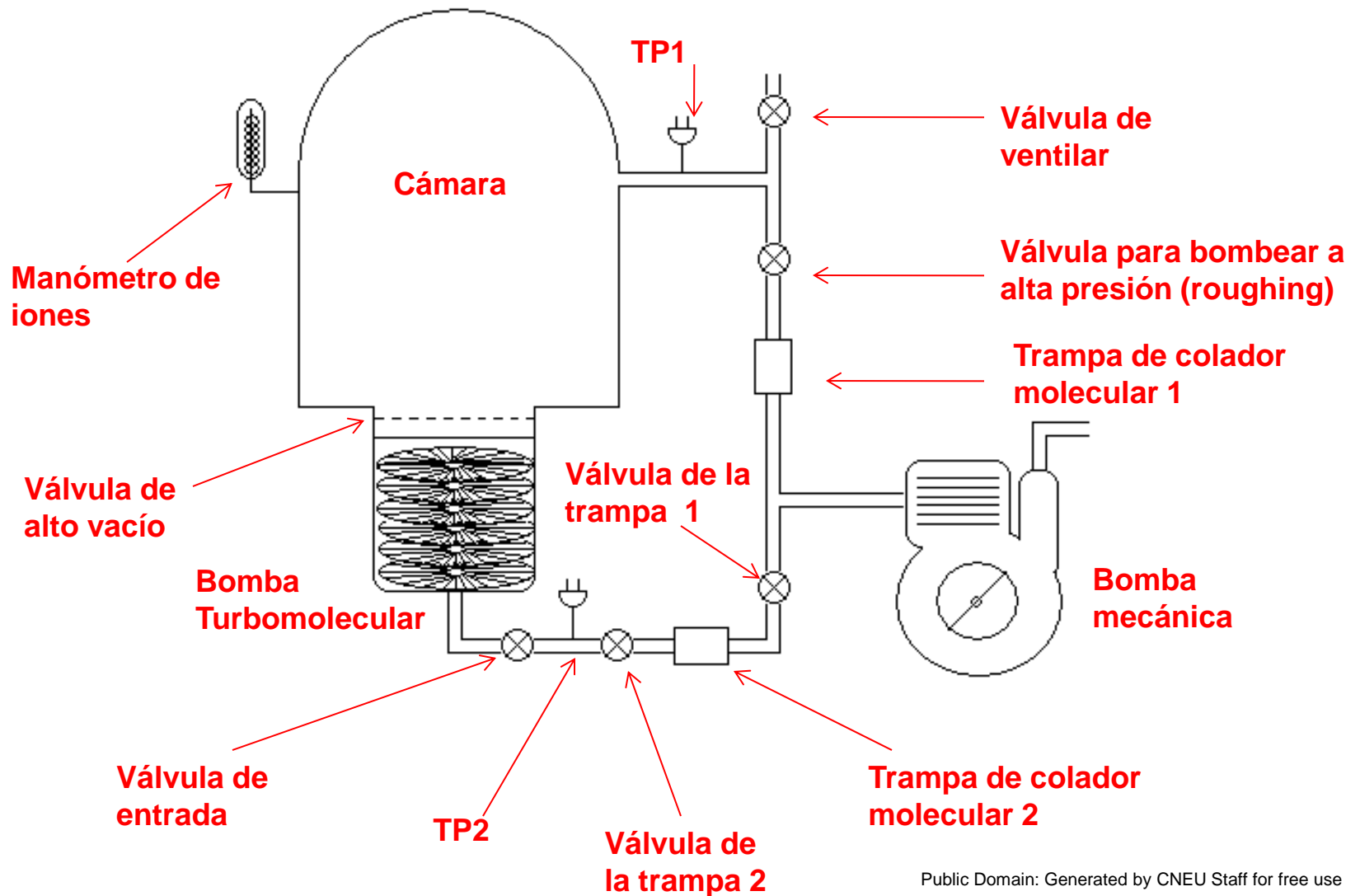


# Sistema de Bomba Criogénica



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Sistema de Bomba Turbomolecular



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

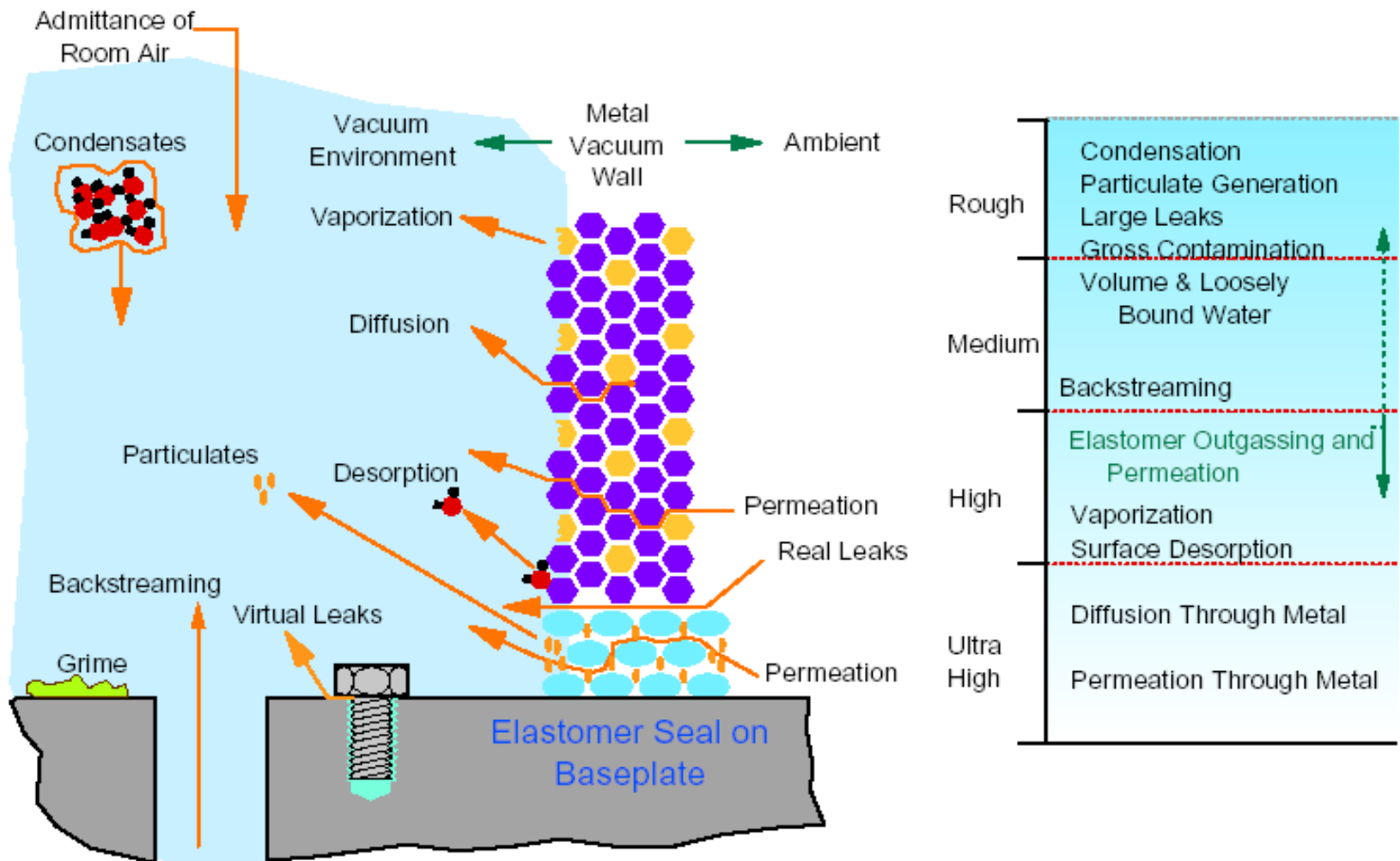
# Bosquejo de la Lección 6

- Bombas de Vacío
- Escapes en sistemas de vacío

# Escapes en Sistemas de Vacío

- Se definen como un aumento en la presión del sistema después de que se logra el vacío
- 
- Es imposible lograr un vacío perfecto:
  - Siempre habrá algún tipo de escape
- Existen dos tipos de escapes:
  - Virtuales
  - Reales

# Enemies of Vacuum & Cleanliness



Copyright 1998 MKS Instruments, Inc.

# Escapes Reales

- Cualquier ruta que el gas pueda utilizar para viajar de la región de afuera del vacío hacia el interior
- Estos prodrian ser:
  - Una junta o sello roto
  - Una junta o sello mal instalado
  - Una bomba que no este funcionando bien

# Escapes Virtuales

- Esto es un fenómeno completamente interno del sistema
  - La ruta del escape hacia el vacío se origina dentro del sistema. El gas no proviene de la atmosfera.
- Causas
  - Emanación de gases provenientes de los materiales
  - Contaminación
  - Residuos de vapor de agua
  - Flujo de aceite a contracorriente

# Contaminación con Agua

- Hay que prestar atención especial al agua:
  - El vapor de agua esta presente en el aire en grandes cantidades
  - El vapor de agua tiende a pegarse a las paredes de la cámara de procesamiento y es particularmente difícil de remover en un sistema de vacío
  - Es común observar que la velocidad de la bomba disminuya debido a la presión del vapor de agua presente en la cámara. Esto se observa a una presión de aproximadamente  $10^{-4}$  Torr
- En general mientras mas baja la presión de vapor de un liquido mas se tardara el mismo en evaporarse



# Presión de Vapor de un Líquido

La presión de vapor de un líquido es causada por el hecho de que todos los líquidos tienen una tendencia a evaporarse y todos los gases tienen tendencia a condensarse regresando así a su estado líquido. Estas tendencias entran en equilibrio en un sistema cerrado, que está a una temperatura  $T$ , estableciendo la presión de vapor del líquido a la temperatura  $T$ . Una alta presión de vapor significa que las moléculas de líquido tienden a escapar del líquido.

La evaporación o condensación ganará si el sistema no está cerrado. Evaporación va a ganar si no puede alcanzarse la presión de vapor (por ejemplo, el vapor es bombeado ) y condensación ganará si la presión de vapor es superior a lo que debería ser a la temperatura ambiental  $T$ .

# Presión de Vapor de un Líquido

La temperatura de ebullición a presión atmosférica de un líquido es la temperatura a la cual la presión de vapor es igual a la presión atmosférica ambiental. Con cualquier aumento de la temperatura, la presión de vapor llega a ser suficiente para superar la presión atmosférica formando burbujas.

# Presión de Vapor de un Líquido

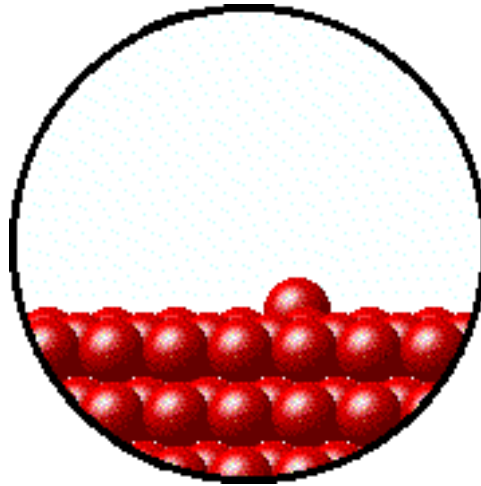


<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/liquids/vpress.html>

# Presión de Vapor de un Sólido

La presión de vapor de un sólido es causada también por el hecho de que sólidos también tienen una tendencia a evaporarse (a sublimarse) y el gas proveniente de la sublimación (vapor) tiene una tendencia a condensarse regresando a el estado sólido. Estas tendencias entran en equilibrio en un sistema cerrado, que está a una temperatura  $T$ , fijando la presión de vapor del sólido a la temperatura  $T$ . Cuando esta presión de vapor es significativa, el sólido se dice que se sublima

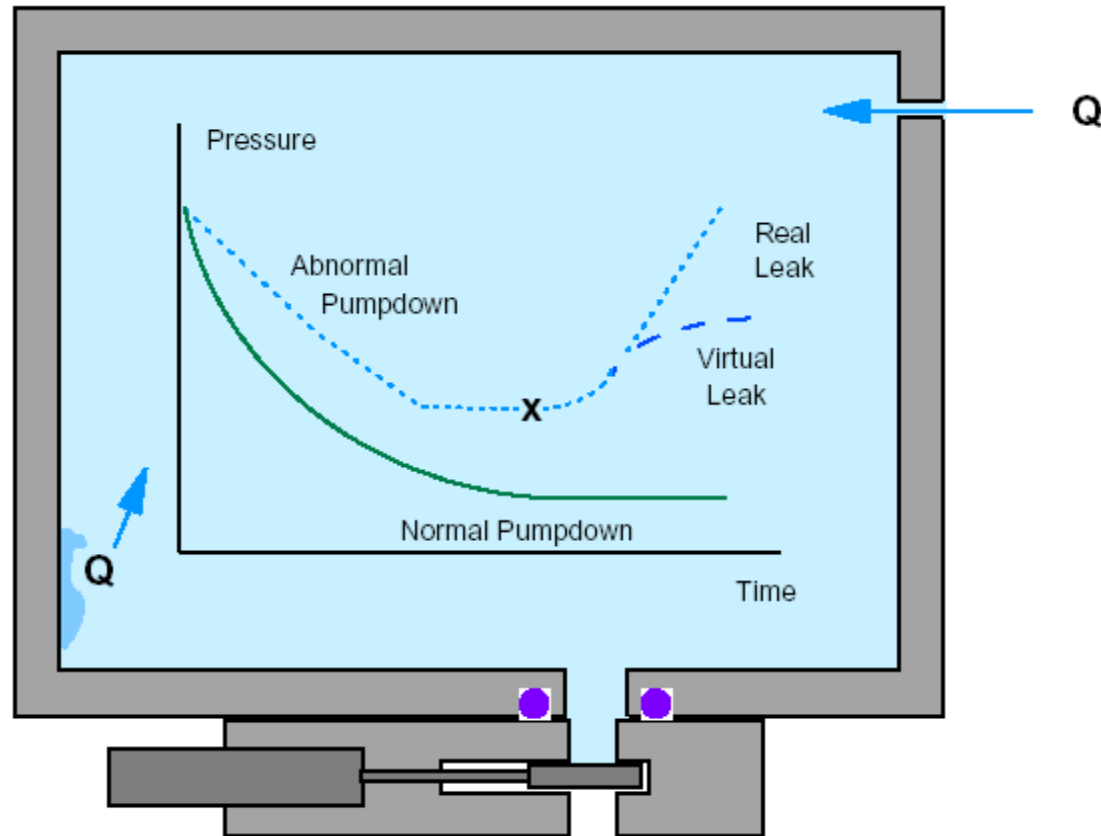
# Presión de Vapor de un Sólido



<http://www.chem.purdue.edu/gchelp/liquids/vpress.html>

Presión de vapor de agua a varias temperaturas		Presión de vapor de algunos otros líquidos a temperatura ambiente (20 ° C)	
Temperatura ° C	Presión de Vapor (Torr)	Líquido	Presión de Vapor (Torr)
100	760	Benzeno	74
50	93	Alcohol etílico	43.9
25	24	Alcohol metílico	96.0
0	4.8	Acetona	184
-40	0.1	Trementina	4.4
-78.5	$5 \times 10^{-4}$	Agua	17.5
-196	$10^{-24}$	Aceite de bomba de alto vacío	$10^{-7}$

# Diagnósticos simples del funcionamiento del sistema

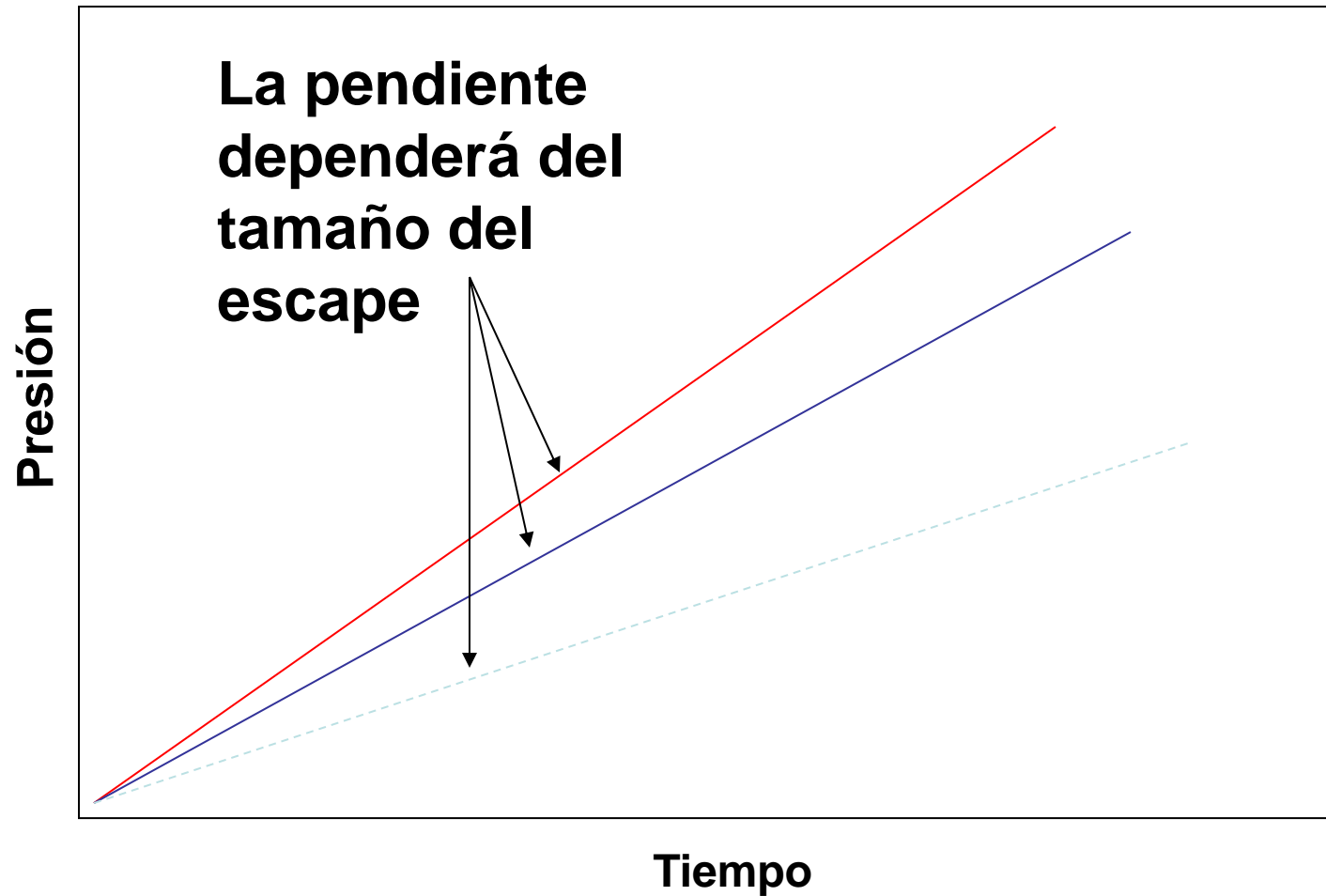


# Verificación de Escapes en el Sistema

- Se puede detectar un escape haciendo la siguiente prueba (conocida como “**up-leak test**”):
  - Se bombea la cámara hasta alcanzar la presión de base deseada
  - Se aísla la cámara de las bombas de vacío y se monitorea el aumento en la presión de la misma
  - El grado de aumento en la presión permite determinar el tipo de escape en el sistema

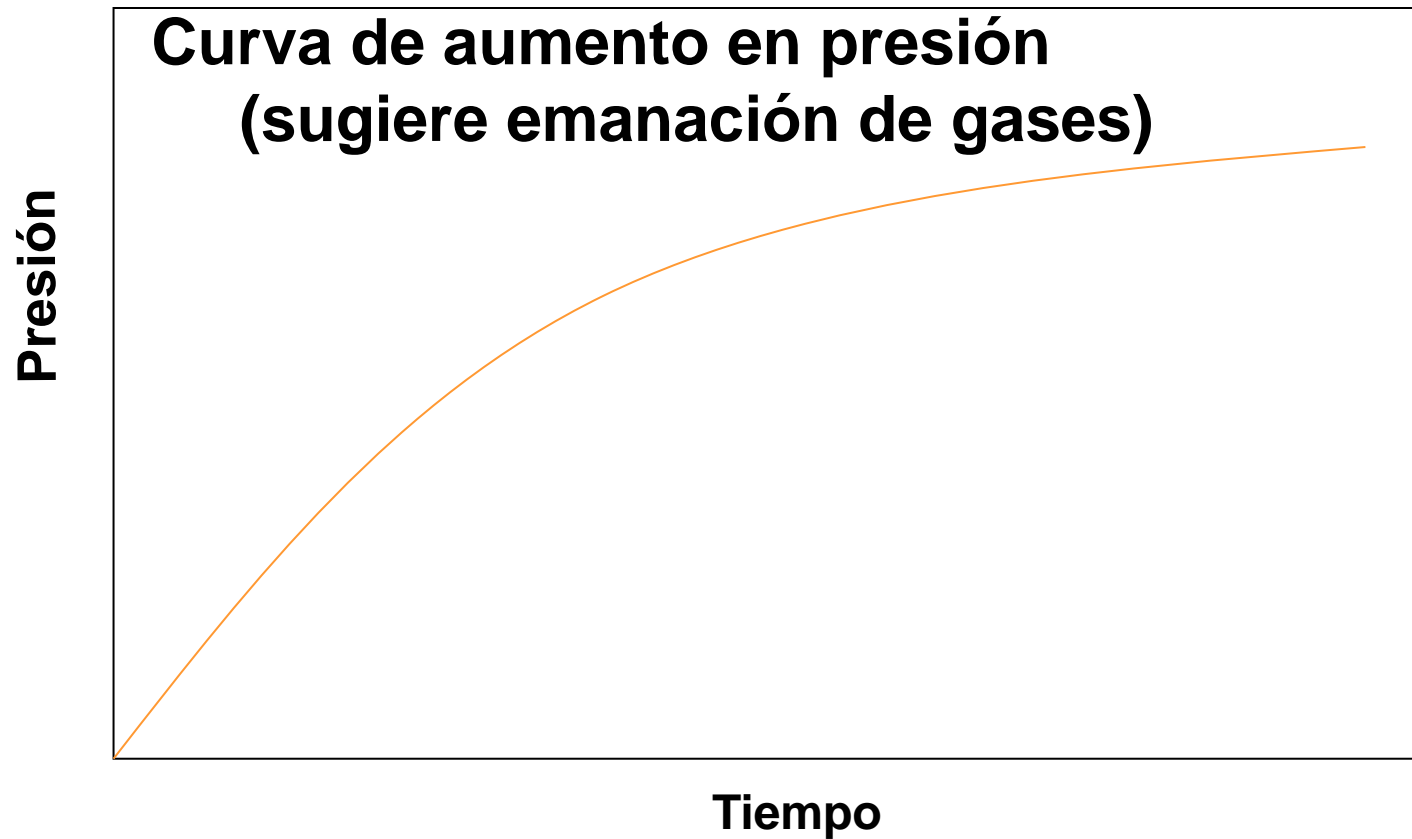


# Escape Real



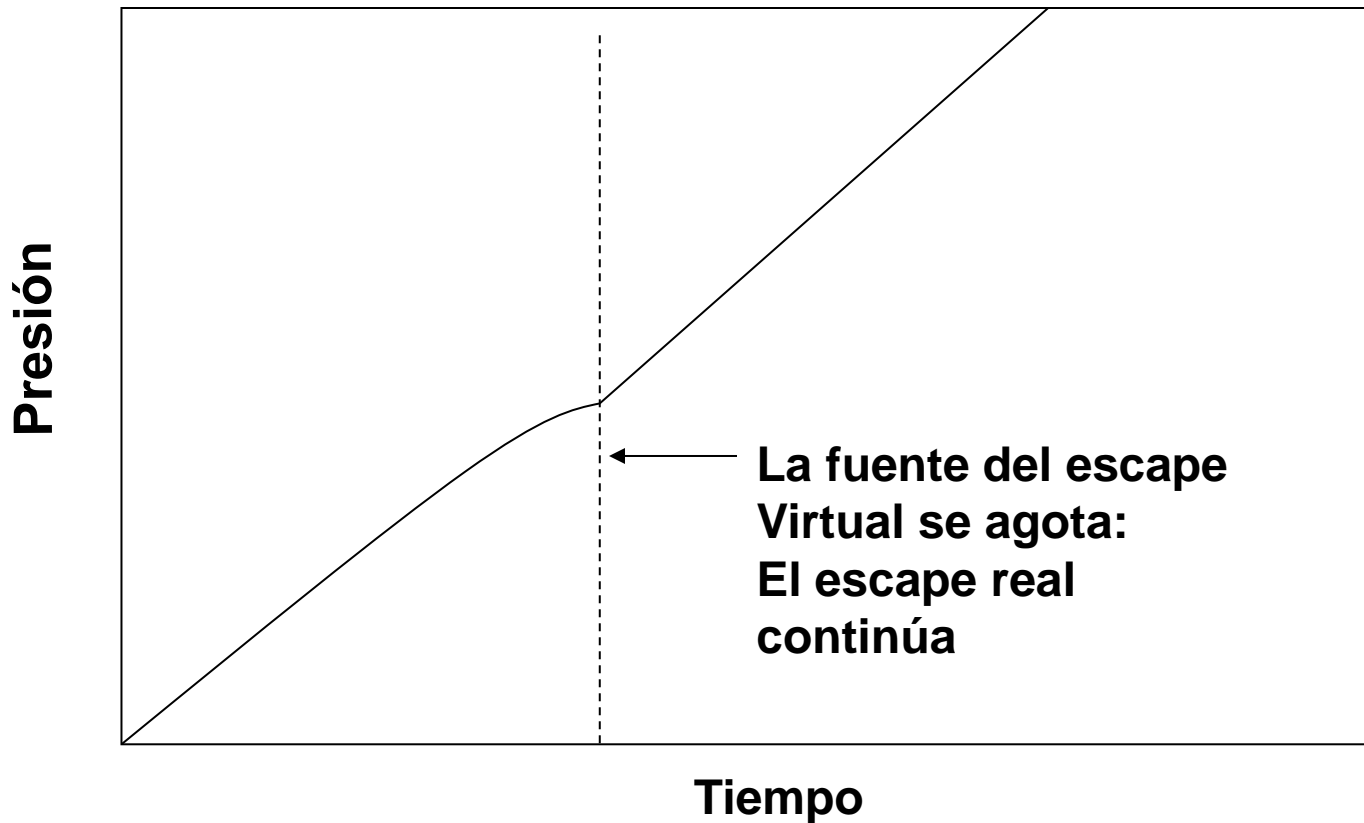
Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Escape Virtual



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use

# Combinación de Escape Real y Escape Virtual



Public Domain: Generated by CNEU Staff for free use