



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



Facultad de Ingeniería

**Protocolo para permitir la permanencia de cilindros de gas comprimido
dentro del laboratorio**

Proyecto

PAPIME PE108925

UTILIZACIÓN DE GASES OXIDANTES EN LA RECUPERACIÓN DE
METALES A PARTIR DE MINERALES

Responsable: Dr. Dandy Calla Choque

Ciudad de México

2026



ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Ing. Armando Salinas Romero.	Dr. Dandy Calla Choque.	Dr. Dandy Calla Choque.



Índice

1.	Introducción	1
2.	Objetivo	2
3.	Normas y regulaciones aplicables	2
4.	Uso de cilindros de gas comprimido en el laboratorio	3
5.	Materiales.....	3
6.	Tipos de gases	4
7.	Uso de gases en el proyecto	5
8.	Requisitos de seguridad	6
8.1.	Seguridad de manejo de gases comprimidos.....	7
8.2.	Protección de cilindros de gas comprimido	8
8.3.	Inspección previa al uso	9
8.3.1.	Cilindros de gas comprimido.....	9
8.3.2.	Generador de ozono (O ₃)	9
8.3.3.	Mangueras, adaptadores y líneas de conexión	10
8.3.4.	Condiciones del área de trabajo	10
8.3.5.	Autorización para iniciar la operación	10
8.4.	Medidas durante la operación	11
8.5.	Almacenamiento.....	13
8.6.	Planes de respuesta ante emergencias	13
8.7.	Transporte de los cilindros de gas	15
9.	Manipulación de gases a baja presión.....	15
9.1.	Generalidades de gases a baja presión	15
9.2.	Consideraciones de gases a baja presión	15
9.3.	Condiciones de la instalación	16
10.	Mantenimiento	16
10.1.	Mantenimiento preventivo	16
10.2.	Mantenimiento correctivo.....	17
10.3.	Mantenimiento predictivo	17
11.	Referencias	19



Protocolo para permitir la permanencia de cilindros de gas comprimido dentro del laboratorio

1. Introducción

El uso de cilindros de gas comprimido constituye un accesorio fundamental en los laboratorios de investigación. Por ello, es imprescindible comprender las prácticas correctas de manipulación, transporte, almacenamiento y uso seguro de estos equipos. El presente documento aborda específicamente el uso de cilindros de volúmenes pequeños, de hasta 10 m³ por cilindro de oxígeno y nitrógeno, instalados dentro del laboratorio. Volúmenes mayores pueden requerir instalaciones externas con infraestructura especializada para el manejo de líquidos criogénicos, así como vaporizadores para convertir el líquido a fase gaseosa conforme a la demanda operativa del laboratorio.

El proyecto “Utilización de gases oxidantes en la recuperación de metales a partir de minerales” empleará gases comprimidos (Nitrógeno [N₂] y Oxígeno [O₂]). Para ello, se solicita la permanencia y operación de dos cilindros proporcionados por la empresa Linde, siguiendo estrictamente las recomendaciones técnicas y de seguridad emitidas por el proveedor [1, 2]. Dichos cilindros estarán acompañados del equipo de regulación, válvulas, manómetros y aditamentos certificados para su manipulación segura.

Adicionalmente, el proyecto incorporará un generador de ozono con capacidad de 1 gr/h, destinado a mejorar el control de las condiciones oxidantes dentro del sistema experimental. El uso de ozono, por su alto poder oxidante, requerirá controles adicionales de ventilación, monitoreo de fugas, operación en campana extractora, así como procedimientos de apagado de emergencia para evitar exposiciones accidentales.

El equipo responsable del proyecto cuenta con la asesoría del PhD. Javier Oscar Jara Valencia, quien posee más de 20 años de experiencia en el manejo de cilindros de gas comprimido en laboratorios de investigación (Canada Revenue Agency, Air Liquide Canada). Esto garantiza que las operaciones se realicen de acuerdo con los estándares internacionales de seguridad y con las mejores prácticas en la manipulación de gases industriales.



2. Objetivo

El propósito de este documento es establecer y reforzar las directrices para el uso, manipulación y almacenamiento seguro de cilindros de gas móviles dentro del Laboratorio de Preparación y Concentración de Minerales, ubicado en el Edificio C del Conjunto Norte de la Facultad de Ingeniería. Dado que estos equipos contienen gases a alta presión y, en algunos casos, sustancias con propiedades oxidantes o inertes, es indispensable aplicar medidas de seguridad estrictas que protejan al personal, las instalaciones y los equipos de trabajo.

3. Normas y regulaciones aplicables

Nacionales:

- **NOM-005-STPS-1998:** Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- **NOM-020-STPS-2011:** Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad.
- **NOM-026-STPS-2008:** Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

Internacionales:

- **ISO 45001:** Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo.
- **ISO 11114:** Compatibilidad de materiales de cilindros y válvulas con gases.



4. Uso de cilindros de gas comprimido en el laboratorio

- 1) Los gases comprimidos en cilindros de hasta 10 m³ de volumen se utilizan habitualmente en laboratorios universitarios e institutos de investigación a nivel mundial.
- 2) La cantidad permitida de cilindros de oxígeno en un área de laboratorio sin rociadores para apagar incendios de 500 ft² (45 m²) es de tres cilindros de 8 m³, y para el nitrógeno no hay restricciones [3].
- 3) En nuestro proyecto utilizaremos una botella de oxígeno y otra de nitrógeno de 8 m³ cada una.
- 4) El presente documento aborda los principales requisitos de seguridad en el uso de cilindros de oxígeno y nitrógeno dentro del laboratorio.

5. Materiales

- 1) 2 cortatubo de acero inoxidable de 15, MOD. RI-97212 MCA. RIDGID,
- 2) Mezclador de tubería,
- 3) Juego de llaves hexagonales 10 pzs HUSKY,
- 4) Pasta sella roscas, 200 grs.
- 5) Cinta teflón de 1/2" x 7.00 mts,
- 6) Tubing inoxidable de 13mm (1/2") x 6.10 mts. De largo, cal. 0.035 de pared,
- 7) Tuerca CGA 580 (conexión nitrógeno N₂),
- 8) Niple 1/4" largo,
- 9) Tuerca CGA 540 (conexión Oxígeno O₂),
- 10) Niple CGA 540,
- 11) Regulador SCL-280-R-16- N-N-1 (presión entrada 200 barg, gauge, Presión de salida máxima, 16 barg),
- 12) Manguera 2375 PVC.



6. Tipos de gases

- **Gas asfixiante:**
Una sustancia que puede causar asfixia al desplazar el oxígeno del aire, como los gases inertes: argón, dióxido de carbono, nitrógeno y helio. El monóxido de carbono es un gas asfixiante químico que desplaza el oxígeno a nivel celular en lugar de a nivel atmosférico.
- **Gas corrosivo:**
Un gas que causa una destrucción visible o alteraciones irreversibles en los tejidos vivos por acción química en el punto de contacto. Ejemplos de gases corrosivos incluyen amoníaco y cloro.
- **Gas inflamable:**
Gas que, a temperatura y presión ambiente, forma una mezcla inflamable con el aire. Los ejemplos de gases inflamables incluyen acetileno, monóxido de carbono, metano, hidrógeno y propano.
- **Gas inerte:**
Un gas no reactivo, no inflamable y no corrosivo. Los ejemplos incluyen nitrógeno, argón, helio, criptón y neón.
- **Gas oxidante:**
Un gas no inflamable que puede sostener y acelerar vigorosamente la combustión en presencia de una fuente de ignición y combustible. El oxígeno y el cloro son oxidantes.



7. Uso de gases en el proyecto

El proyecto “Utilización de gases oxidantes en la recuperación de metales a partir de minerales” contempla el uso de reactores de 1 L de capacidad, en los cuales se inyectará un caudal controlado de aproximadamente 1 L/min de oxígeno (O₂) o nitrógeno (N₂). La operación se llevará a cabo a baja presión, en el rango de 5 a 15 psi (≈1 barg) y con una duración máxima de una hora por prueba, lo que reduce significativamente los riesgos relacionados con sobrepresión o fallas en las líneas de suministro.

Como parte del sistema experimental, también se incorporará un generador de ozono (O₃) con capacidad aproximada de 1 gr/h, cuyo propósito será reforzar el medio oxidante en determinadas etapas de la prueba. Debido a su alta reactividad y su papel como oxidante fuerte, el uso de O₃ se efectuará únicamente en condiciones controladas, mediante inyección directa en el reactor y con estrictas medidas de ventilación y contención. La operación del generador requerirá su utilización dentro de una campana de extracción o en un área con renovación de aire suficiente, además de equipos de monitoreo para evitar acumulaciones indeseadas de ozono en el ambiente.

El uso de los gases se realizará de manera independiente, evitando mezclas no controladas entre oxígeno, nitrógeno y ozono. En este contexto, el oxígeno funcionará únicamente como gas oxidante, el nitrógeno como gas inerte, y el ozono como agente oxidante complementario empleado en concentraciones bajas y bajo supervisión directa. Estas condiciones reducen de forma significativa los riesgos potenciales asociados al uso de cilindros de gas comprimido y generadores de oxidantes dentro del laboratorio.



8. Requisitos de seguridad

Los cilindros de gas comprimido son ampliamente utilizados tanto en la industria como en los laboratorios de investigación. Se trata de contenedores metálicos de paredes gruesas, diseñados para almacenar gases, gases licuados o gases disueltos (como el acetileno) a altas presiones. Al comprimir un gas, se introduce una cantidad significativa de materia en un volumen reducido, lo que genera presiones internas elevadas y, en consecuencia, la necesidad de un manejo altamente cuidadoso.

El empleo de cilindros implica riesgos potenciales relacionados con fugas, sobrepresión, reactividad química, proyección mecánica en caso de daño y exposición a sustancias peligrosas. Por ello, las medidas de seguridad recomendadas para su uso, manipulación, transporte interno, almacenamiento y vaciado deben observarse siempre como complemento a la reglamentación vigente y a las normas oficiales aplicables. Estas recomendaciones se basan no solo en estándares internacionales, sino también en la experiencia práctica derivada de incidentes y accidentes documentados, lo cual permite fortalecer la prevención y la respuesta ante situaciones de riesgo.

Las prácticas descritas son aplicables tanto a los cilindros individuales como a los bloques o bancos de gas, así como a bidones o recipientes presurizados equipados con aros de rodadura, montados sobre patines o alojados en marcos especiales para su movimiento seguro. Todos estos recipientes, independientemente de su configuración, requieren dispositivos de sujeción adecuados, inspecciones periódicas, verificación de válvulas y reguladores, así como capacitación continua del personal encargado de operarlos.

El cumplimiento de estas medidas garantiza una operación más segura, reduce la probabilidad de incidentes y asegura la integridad del personal, las instalaciones y los equipos de laboratorio.



8.1. Seguridad de manejo de gases comprimidos

- **Hoja de datos de seguridad (Safety Data Sheet, SDS):**

Es una hoja de información que cada fabricante debe preparar para los productos peligrosos que vende. La información contenida en una SDS está destinada a comunicar los peligros, las propiedades, las pautas de manejo, almacenamiento y eliminación, y los requisitos de respuesta de emergencia [4, 5].

- **Etiquetas de cilindros:**

Los cilindros de gas comprimido contarán con etiquetas en el hombro del cilindro (Figura 1). La etiqueta sirve para identificar el contenido del cilindro, el distribuidor del producto y describe brevemente los peligros del gas. Esta etiqueta sirve como etiqueta del lugar de trabajo para el cilindro. La etiqueta nunca debe ser removida. Los usuarios no deben dibujar ni escribir en la etiqueta del cilindro de gas comprimido [6].



Figura 1. Etiquetas de los cilindros.

8.2. Protección de cilindros de gas comprimido

Las tapas de válvulas y cadenas son ejemplos típicos de protección contra daños mecánicos (Figura 2). La tapa protege la válvula conectada al cilindro, mientras que la cadena evita que el cilindro se vuelque o se caiga. Todo cilindro almacenado que contenga gas comprimido deberá tener enroscada la tapa [7].



Figura 2. Protección contra daños mecánicos: Las correas de nailon o las cadenas aseguran que un cilindro no se caiga. Cuando un cilindro no está en operación, almacenado o en tránsito, se debe usar una tapa de protección de la válvula, tal como se muestra en el último cilindro a la derecha.

Conexión de un regulador y mangueras a un cilindro de gas comprimido:

Antes de intentar conectar un regulador (Figura 3), a un cilindro de gas comprimido, asegúrese de haber seleccionado el regulador adecuado, use los accesorios del regulador dictados por la Asociación de Gas Comprimido (CGA).



Figura 3. Regulador de presión y sus conexiones.

8.3. Inspección previa al uso

Antes de iniciar cualquier operación con cilindros de gas comprimido, el generador de ozono (O₃) o sus sistemas de conexión, es obligatorio realizar una inspección previa al uso. Esta revisión tiene como objetivo identificar condiciones inseguras, prevenir fugas, evitar fallas operativas y asegurar que todos los componentes se encuentren en estado óptimo antes de su puesta en marcha. Ningún equipo podrá utilizarse sin haber completado satisfactoriamente esta verificación.

8.3.1. Cilindros de gas comprimido

El personal deberá confirmar lo siguiente:

- **Integridad física del cilindro:** sin golpes, corrosión, abolladuras, deformaciones o signos de reparación no autorizada.
- **Válvula principal en buen estado:** movimiento suave, sin obstrucciones ni fugas perceptibles.
- **Reguladores y manómetros:** instalados correctamente, sin grietas en la lente y con agujas que marquen presión estable.
- **Fecha de retesteo vigente:** inspeccionar la marcación estampada en el cuello o cuerpo del cilindro.
- **Conexiones y empaques:** asegurarse de que estén limpios, libres de polvo, aceite o grasa (especialmente crítico para oxígeno).
- **Sujeción mecánica:** verificar que el cilindro esté firmemente asegurado con cadena, abrazadera o soporte homologado.
- **Etiquetado y contenido:** corroborar que la etiqueta esté legible, actualizada y coincida con el gas requerido para la operación.

8.3.2. Generador de ozono (O₃)

Antes de usar el generador se deberá revisar:

- **Estado general del equipo:** carcasa limpia, sin daños visibles o cables expuestos.
- **Sistema eléctrico:** cableado íntegro, sin torceduras, humedad ni conexiones flojas.
- **Ventilación y disipación térmica:** asegurar que los ventiladores funcionen adecuadamente y las entradas de aire no estén obstruidas.
- **Líneas de conducción de O₃:** verificar que no presenten microfisuras, endurecimiento o desgaste.
- **Conexiones herméticas:** comprobar sellos, abrazaderas y uniones.
- **Funcionamiento básico:** realizar un encendido breve para corroborar estabilidad (si el protocolo lo permite), siempre dentro de campana o área ventilada.
- **Sistema de seguridad:** sensores, apagado automático y alarmas en estado operativo.



8.3.3. Mangueras, adaptadores y líneas de conexión

Las líneas de suministro, tanto para gases comprimidos como para ozono, deberán inspeccionarse asegurando:

- **Ausencia de fugas:** revisión con solución espumante o equivalente autorizado.
- **Compatibilidad del material:** mangueras aptas para gases oxidantes o inertes según corresponda.
- **Integridad estructural:** sin torceduras, grietas, aplastamientos o desgaste superficial.
- **Conexiones firmes:** uniones correctamente ajustadas y sin movimiento excesivo.
- **Ruta segura:** mangueras colocadas sin obstruir pasillos, sin riesgo de tropiezos y lejos de fuentes de calor.

8.3.4. Condiciones del área de trabajo

Antes de comenzar, se debe asegurar que:

- La ventilación sea adecuada y se cuente con extracción operativa si se utilizará ozono.
- El área esté libre de materiales combustibles o de sustancias incompatibles.
- Existan extintores y equipo de emergencia accesibles y funcionales.
- El personal utilice el Equipo de Protección Personal correspondiente.
- Se haya leído y comprendido el procedimiento experimental asociado.

8.3.5. Autorización para iniciar la operación

Una vez verificados todos los elementos y confirmada la ausencia de anomalías:

- El operador deberá registrar la inspección en la bitácora del laboratorio.
- En caso de trabajar con ozono, se solicitará autorización adicional del responsable del proyecto.
- Si se detecta cualquier irregularidad, el equipo quedará fuera de servicio hasta que un técnico capacitado realice la evaluación y corrección correspondiente.



8.4. Medidas durante la operación

Durante la operación con cilindros de gas comprimido, el generador de ozono (O_3) y las líneas de conexión asociadas, es indispensable mantener condiciones estrictas de control y vigilancia. El objetivo es prevenir incidentes, garantizar la estabilidad del sistema y proteger al personal y a las instalaciones mientras el equipo se encuentra en funcionamiento. Las siguientes medidas deberán cumplirse en todo momento:

Supervisión continua:

- El operador deberá permanecer en el área mientras los cilindros, el reactor o el generador de O_3 estén en funcionamiento.
- No se permitirá dejar equipos operando sin supervisión directa.
- Se vigilará continuamente la presión, caudal, temperatura y cualquier parámetro relevante del proceso experimental.
- Cualquier comportamiento inusual (vibraciones, ruidos, cambios bruscos de presión, olor característico de O_3) deberá reportarse y la operación se detendrá inmediatamente.

Operación con cilindros de gas comprimido:

- Mantener siempre abiertas las válvulas de regulación, nunca las válvulas principales, a caudales mayores a los establecidos en el protocolo.
- Evitar ajustes bruscos en los reguladores; realizar incrementos graduales de presión.
- Verificar periódicamente que no existan fugas utilizando solución espumante o detectores autorizados.
- Mantener los cilindros erguidos y asegurados, sin moverlos durante la operación.
- El operador no deberá colocarse directamente frente a reguladores o manómetros durante ajustes de presión.

Operación del generador de ozono (O_3):

- Activar el generador únicamente dentro de campana de extracción o en un área con ventilación adecuada.
- Supervisar que el caudal de ozono se mantenga dentro de los valores de operación permitidos.
- Observar el funcionamiento de los ventiladores y sistema térmico, verificando que no exista sobrecalentamiento.
- Evitar la acumulación de ozono en el ambiente. Si se detecta olor a O_3 fuera de la campana, detener inmediatamente la operación y ventilar el área.



- No superar los tiempos de exposición indicados para cada prueba; el ozono es un oxidante fuerte y puede degradar materiales si se usa de forma prolongada.

Seguridad en líneas y conexiones:

- Confirmar periódicamente que las mangueras y conexiones permanezcan firmes y sin obstrucciones.
- Mantener las líneas lejos de fuentes de calor, superficies cortantes o zonas con tránsito intenso.
- Evitar que las mangueras se doblen o se tensionen durante la operación.
- Certificar que los materiales de contacto con O₃ sean compatibles y no presenten signos de degradación.

Comunicación y control

- Mantener comunicación con el responsable del laboratorio o supervisor cuando se realicen operaciones con O₂ u O₃.
- Tener disponible el equipo de emergencia: extintor, duchas, lavaojos y dispositivos de corte eléctrico.
- Registrar en la bitácora cualquier ajuste realizado durante la operación.
- Documentar y reportar inmediatamente cualquier incidente, anomalía o desviación del procedimiento.



8.5. Almacenamiento

- Proteja los cilindros de gas para evitar el calor excesivo, fuego, corrosión peligrosa, daños mecánicos o manipulación por personas no autorizadas.
- No permita que se almacenen cilindros de gas bloqueando los accesos o vías de escape.
- La sala de almacenamiento debe ser de materiales resistentes al fuego. Debe tener una ventilación natural o forzada.
- Mantenga una distancia de aproximada de 2 m entre los cilindros de gas que contienen los gases inflamables (p.e. acetileno) y los comburentes (p.e. oxígeno). Sin embargo, la separación puede ser utilizada para almacenar cilindros de gas que contienen gases inertes (p.e. nitrógeno).
- No almacene los cilindros de gas junto con materiales inflamables.
- Almacene los cilindros de gas que contengan gas licuado en posición vertical.
- Asegure los cilindros de gas para evitar que se caigan. No son necesarias precauciones especiales si los cilindros de gas son lo suficientemente seguros como resultado de su construcción (por ejemplo, los cilindros de propano), el tipo de almacenamiento (por ejemplo, uso de pallets) o la colocación en grandes grupos [1].

8.6. Planes de respuesta ante emergencias

Fugas de gas (O_2 , N_2 u O_3):

- **Detección rápida:** Suspender de inmediato la operación al percibir olor a ozono, sonidos anómalos (siseos), vibraciones en conexiones o cualquier indicio de fuga.
- **Aislamiento de la fuente:**
 - Cerrar la válvula principal del cilindro y/o el interruptor del generador de O_3 .
 - Evitar manipular equipos si la fuga es significativa o visible.
- **Ventilación:** Abrir puertas y ventanas, activar campanas de extracción y permitir la dispersión del gas antes de reingresar.
- **Evacuación:** Si la concentración de gas es elevada o genera irritación respiratoria/ocular, evacuar el área siguiendo las rutas establecidas.
- **Reporte:** Informar inmediatamente al responsable del laboratorio y registrar el incidente en el formato correspondiente.

Incendio o riesgo de combustión:

- **Notificación inmediata:** Activar la alarma interna del laboratorio e informar a Protección Civil.
- **Aislamiento de tanques:**
 - No mover cilindros que estén expuestos al fuego.



- Si es seguro hacerlo, cerrar válvulas de suministro.
- **Equipos de extinción:**
 - Utilizar extintores tipo **ABC** para fuegos incipientes.
 - No usar agua directamente sobre cilindros presurizados.
- **Evacuación total:** Abandonar el área siguiendo los protocolos establecidos si el fuego no se controla en los primeros segundos.

Sobrepresión o falla de válvulas:

- Retirar inmediatamente al personal del área afectada.
- No intentar reparar, golpear o desmontar válvulas dañadas.
- Permitir que el gas se libere a un área ventilada si la fuga es inevitable y no representa peligro inmediato.
- Comunicar el incidente para la intervención de personal autorizado.

Exposición del personal a O₃ u otros gases:

- **Síntomas leves (irritación ocular, tos):**
 - Trasladar al afectado a un área ventilada.
 - Quitar ropa contaminada si aplica (O₃ en altas concentraciones puede impregnarse).
- **Síntomas moderados a severos (dificultad respiratoria, mareo):**
 - Solicitar apoyo médico de inmediato.
 - No administrar medicamentos sin indicación médica.
- Registrar el evento y aplicar seguimiento médico.

Fallo eléctrico del generador de O₃ o sistemas asociados:

- Apagar todos los equipos conectados y desconectarlos de la fuente de energía.
- Verificar que no exista fuga de gas asociada.
- Reportar al responsable técnico para inspección antes de reanudar actividades.

Revisión posterior al incidente

- Documentar el tipo de emergencia, causas probables y acciones tomadas.
- Evaluar daños en cilindros, conexiones, mangueras, válvulas y el generador de O₃.
- Implementar medidas preventivas adicionales si es necesario.
- Realizar una reunión de retroalimentación con el personal involucrado para reforzar las buenas prácticas de seguridad.



8.7. Transporte de los cilindros de gas

Antes de mover un cilindro de gas sujetándolo mediante la protección de la válvula (sombbrero, capuchón o tulipa), tire de ésta brevemente para comprobar que está asegurada. Una protección suelta es un riesgo de accidente.

Controlar el movimiento de cilindros de gas pequeños que no tienen una protección, de tal manera que no se puedan caer y la válvula del cilindro se abra accidentalmente. Se recomienda el transporte en una caja o pallet.

Para trasportar los bloques de cilindros lo mejor es ser transportado por una carretilla elevadora. Antes de mover un bloque de cilindros de su lugar de uso, retire el tubo o manguera de conexión desde el bloque de cilindros.

Para el movimiento de bloques con una grúa utilice eslingas y cuatro puntos de anclaje [1].

9. Manipulación de gases a baja presión

9.1. Generalidades de gases a baja presión

Los gases industriales son normalmente llenados, transportados, almacenados y utilizados bajo presión. Por lo tanto, son llamados gases a presión. El equipo técnico para la manipulación de los gases presurizados son los sistemas de gas. Los sistemas de gas están diseñados para que la resistencia (presión de rotura) sea mayor que la presión de prueba. Este último es normalmente de 1.5 veces la presión máxima de servicio admisible. Esto significa que el sistema de gas está protegido de forma fiable contra rotura bajo condiciones normales de funcionamiento [2].

9.2. Consideraciones de gases a baja presión

Los gases comprimidos deben ser extraídos de los envases utilizando reguladores de presión. La presión fijada en el regulador de presión no debe ser mayor que la presión de operación del sistema de gas. Dado que, en caso de un fallo en el regulador de presión, la presión de admisión en alta puede entrar en la zona de suministro, una válvula de seguridad adecuada debe estar instalada en el regulador de presión o inmediatamente detrás de él.

Las conexiones entre las secciones del sistema con diferentes presiones de operación sólo son admisibles si se utiliza un regulador de presión. Las válvulas de cierre o válvulas antirretorno por sí solas no ofrecen seguridad suficiente.

Los cilindros de gas con gases comprimidos no deben, en circunstancias normales, estar conectado a cilindros de gas con gases licuados, ya que las presiones de operación son diferentes. Si esto ocurre en casos excepcionales (por ejemplo, para producir una mezcla), un regulador de presión debe estar conectado en el medio.



Incluso si sólo los cilindros de gas vacíos están conectados a un sistema de gas correctamente (por ejemplo, para la purga o evacuación de los cilindros), el sistema debe estar protegido por una válvula de seguridad ya que un cilindro de gas lleno puede estar también conectado de forma accidental.

9.3. Condiciones de la instalación

Las mangueras deben estar marcadas con la presión nominal y sólo se puede utilizar si es al menos tan grande como la presión con la que se operará. Mangueras que no muestran la presión nominal no debería ser utilizada si se parecen a otras características (forma de la rosca de conexión, color) que se asignará a una presión nominal en particular.

Las mangueras no deben ser dobladas si se conecta. Tubos de metal, en particular, se puede rasgar cuando se someten a esfuerzos de flexión.

Las mangueras no deben tener fugas y no debe tener cualquier daño externo reconocible [2].

10. Mantenimiento

El mantenimiento adecuado de los cilindros de gas comprimido, el generador de ozono y las líneas de conexión es esencial para garantizar la seguridad operativa, la integridad de los equipos y la continuidad de los experimentos. Esta sección establece los lineamientos para realizar mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, aplicables a todos los componentes del sistema.

10.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo incluye todas las actividades programadas para evitar fallas, mitigar riesgos y prolongar la vida útil de los equipos. Deberá realizarse de manera periódica según los intervalos establecidos por el fabricante, las normas aplicables y las condiciones del laboratorio.

Cilindros de gas y conexiones:

- Verificación semanal del estado físico del cilindro: ausencia de golpes, corrosión, abolladuras o fugas.
- Revisión y limpieza de válvulas, reguladores y manómetros, asegurando su funcionamiento correcto y libre de obstrucciones.
- Comprobación del sistema de sujeción (cadenas, abrazaderas, soportes, racks).



- Inspección del sellado en conexiones, mangueras y adaptadores para verificar ausencia de fugas mediante solución espumante.
- Hay que confirmar que las etiquetas, números de lote y fechas de retesteo estén visibles y vigentes.

Generador de ozono (O₃)

- Limpieza externa del equipo para evitar acumulación de polvo y humedad.
- Verificación mensual del estado del módulo generador, ventiladores y sistema eléctrico.
- Prueba funcional de encendido y apagado bajo condiciones controladas.
- Revisión de tuberías de conducción de O₃ para confirmar que no presenten microfisuras ni endurecimiento del material.
- Confirmación de que el equipo opere dentro de los valores nominales de voltaje y flujo establecidos por el fabricante.

10.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo comprende las acciones destinadas a restablecer la operación de los equipos tras una falla, daño o funcionamiento inadecuado. Este tipo de mantenimiento solo deberá realizarse por personal capacitado o técnicos autorizados.

Cilindros de gas y conexiones:

- Sustitución inmediata de mangueras, reguladores o válvulas dañadas, con fuga o fuera de calibración.
- Retiro del cilindro de operación en caso de detectar abolladuras, corrosión avanzada o daños estructurales.
- Reparación o reemplazo del sistema de sujeción que haya perdido estabilidad.
- Recalibración de manómetros o reemplazo cuando muestren lecturas inestables o fuera de rango.

Generador de ozono (O₃):

- Reparación o sustitución del módulo generador si se detecta pérdida de capacidad, inestabilidad en la producción o fallas eléctricas.
- Cambio de ventiladores o componentes térmicos cuando se observe sobrecalentamiento.
- Sustitución de líneas de O₃ que presenten microfugas detectables o fragilidad estructural.
- Revisión y reparación del sistema de seguridad (sensores, apagado automático, fusibles).

10.3. Mantenimiento predictivo



El mantenimiento predictivo permite anticipar fallas mediante la observación de parámetros operativos y el uso de técnicas de monitoreo. Su objetivo es intervenir antes de que el equipo falle, optimizando tiempos y costos.

Cilindros de gas y conexiones:

- Registro continuo del nivel de presión, revisando tendencias de fuga o comportamiento anómalo.
- Análisis de datos históricos de uso para programar cambio de reguladores o mangueras antes de su vida útil límite.
- Monitoreo del estado de válvulas mediante inspecciones funcionales periódicas.
- Evaluación trimestral de integridad estructural mediante inspección visual reforzada.

Generador de ozono (O₃):

- Monitoreo del caudal de producción de O₃ para detectar disminuciones graduales que indiquen desgaste del módulo generador.
- Registro de temperaturas internas, identificando patrones que indiquen desgaste en ventiladores o fallas eléctricas próximas.
- Análisis de vibraciones, ruidos anómalos o fluctuaciones de voltaje.
- Programación de reemplazo preventivo de componentes críticos con base en horas efectivas de operación.



11. Referencias

- 1) Linde, "Manipulación segura de cilindros y bloque de gases.," vol. 7, 2023.
- 2) Linde, "Manipulación de gases baja presión," vol. 21, 2023.
- 3) P. University. (2023). Gas Max. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025 de: https://www.chem.purdue.edu/chemsafety/chem/lab_gas_max.html
- 4) Praxair, "Hoja de datos de seguridad Nitrógeno comprimido," ed, 2015.
- 5) Praxair, "Hoja de datos de seguridad Oxígeno comprimido," 2015.
- 6) S. B. university. (20023). Compressed Gas Safety. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025 de: <https://ehs.stonybrook.edu/programs/laboratory-safety/general-laboratory-safety/compressed-gas-safety>
- 7) U. o. Oregon. (2023). Safety and Risk Services. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025 de: <https://safety.uoregon.edu/compressed-gases>
- 8) Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (1998) NORMA Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de: <https://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-005.pdf>
- 9) Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008) NORMA Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011, Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025 de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/138731/NOM-020-STPS-2011.pdf>
- 10) Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008) NORMA Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de: <https://www.stps.gob.mx/BP/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-026.pdf>
- 11) Organización Internacional de Normalización – ISO. (2018) ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es>
- 12) Organización Internacional de Normalización – ISO. (2020) ISO 11114-1:2020 Gas cylinders — Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents. [En línea] Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de: <https://www.iso.org/standard/76081.html>

