



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE LA
AMERICAN CHEMICAL SOCIETY DE LA EVALUACIÓN
DE RIESGOS A LABORATORIOS DE UNA
INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA:
FELIPE MARTINEZ ALVARADO**



CDMX

2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Eduardo Guillermo Ramón Marambio Dennett**

VOCAL: **Profesor: Ileana Rodríguez Castañeda**

SECRETARIO: **Profesor: Maricruz López López**

1er. SUPLENTE: **Profesor: José Oscar Humberto Pérez Díaz**

2° SUPLENTE: **Profesor: Yamileth Yazmin Martinez Vega**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Instituto de Química de la UNAM, CD. Universitaria.

ASESOR DEL TEMA:

M. en I. Maricruz López López

SUSTENTANTE:

Felipe Martinez Alvarado

CONTENIDO

I. RESUMEN	iii
II. ABSTRACT	iv
III. ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
IV. ÍNDICE DE TABLAS.....	v
V. GLOSARIO.....	vii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. OBJETIVOS	3
3.1. Objetivo general	3
3.2. Objetivos particulares.....	3
4. GENERALIDADES	4
4.1. Identificación de peligros y análisis de riesgos.....	4
4.2. Elección y uso de una técnica para la evaluación de riesgos	6
4.3. Auditoria de seguridad	7
4.4. Índice de peligro	7
4.5. Análisis del Modo y Efectos de Fallas	9
4.6. Análisis de árbol de fallas	9
4.7. Análisis de Árbol de eventos	10
5. TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RECOMENDADAS POR LA AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	10
5.1. Asignación del Nivel de Seguridad Química a laboratorios de investigación	11
5.2. Análisis de Riesgos Laborales	16
5.3. Análisis “¿Qué pasaría si?”	20
5.4. Procedimiento Estándar de Operación	25
6. SELECCIÓN DE CONTROLES DE RIESGOS.....	27
7. DISEÑO DEL ESTUDIO	29

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
8.1. Estructura de la Institución de investigación	30
8.2. Descripción de la institución de investigación	31
8.3. Nivel de Seguridad Química de los laboratorios de la Institución de Investigación de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS	32
8.4. Observaciones generales de los controles de riesgos con base algunas Normas Oficiales Mexicanas.....	37
8.5. Identificación de las operaciones generales realizadas en los laboratorios y elaboración de los Procedimientos Estándar de Operación y aplicación del análisis ¿Qué pasaría si? a operaciones elegidas.....	39
9. CONCLUSIONES.....	49
10. REFERENCIAS	50
11. ANEXO.....	53

I. RESUMEN

Los estándares actuales sobre la identificación de peligros, las evaluaciones y control de riesgos están orientados hacia entornos industriales y no al entorno de laboratorios de investigación académica y de docencia. Por lo que la American Chemical Society (ACS) desarrolló una guía de Identificación y Evaluación de Peligros en Laboratorios de Investigación, con el propósito de conseguir que las instalaciones de éstas operen de forma segura y continua. Bajo esta premisa se desarrolló una investigación de la evaluación de riesgos en los laboratorios de un instituto de investigación de México tomando como modelo el proyecto de la ACS

Con el objetivo de aplicar la metodología de la ACS en la evaluación de riesgos a laboratorios de un instituto de investigación con se llevaron a cabo las siguientes actividades: Se realizó una revisión bibliográfica y normativa que se aplicó en el desarrollo de la investigación. Se realizó una visita técnica a la Institución de Investigación con el responsable de la Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos (UMRP), para definir el alcance y las herramientas de la investigación. Posteriormente se evaluó el Nivel de Seguridad Química a 57 espacios físico – arquitectónicos del Instituto de Investigación de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS. Después se elaboró una lista de operaciones realizadas en los laboratorios, se identificaron las operaciones de uso común y se describieron tres operaciones, por ser usada en más del 50% de los laboratorios, en Procedimientos Estándares de Operación (PEO). Y por último se aplicó el análisis ¿Qué pasaría sí? A las operaciones elegidas para la identificación de peligros y prevenir incidentes.

Con este estudio se obtuvieron los siguientes resultados: Se observó que el 89% de las instalaciones del Instituto de Investigación se evalúan como Nivel de Seguridad Química 4, es decir, requieren de controles de riesgos específicos (capacitación al personal del laboratorio especial, Equipo de Protección Personal específico, controles de ingeniería rigurosos, protocolos de seguridad y emergencia, supervisión y planificación de las actividades a realizar) por el manejo de sustancias químicas peligrosas y/o uso de equipos de laboratorio de acceso restringido en sus actividades de investigación. De lo anterior se pudo constatar: Que al aplicar la metodología de la ACS se encuentran las necesidades de dar cursos sobre la identificación de peligros y evaluación de riesgos a la comunidad del instituto y la importancia de dar seguimiento a los Procedimientos Estándar de Operación para las actividades (operaciones) que se realizan en los laboratorios.

II. ABSTRACT

The orientation of current standards on hazard identification, risk assessments and hazard control are oriented towards industrial environments and not to the academic research and teaching laboratory environment. Therefore, the American Chemical Society (ACS) developed a Hazard Identification and Evaluation Guide in Research Laboratories with the purpose of ensuring that laboratory facilities operate safely and continuously. Under this premise, a risk assessment investigation was carried out in the laboratories of a research institute in Mexico.

With the objective of applying the methodology of the ACS in the evaluation of risks to laboratories of a research institute with the following methodology: A systematic bibliographic and normative review was carried out that was applied in the development of the research. A technical visit was made to the Research Institution with the head of the UMRP, to define the scope and tools of the research. Subsequently, the Chemical Safety Level at 57 facilities of the Research Institute was evaluated according to the approach suggested by the ACS. Then a list of operations and their common use was made and common operations were described in Standard Operating Procedures (SOP). And finally the analysis was applied. What If? A common operations to identify hazards and anticipate incidents.

The following results were obtained with this study: It was observed that 89% of the facilities of the Research Institute are evaluated as Chemical Safety Level 4, that is, they require specific risk controls (special laboratory personnel training, protection equipment specific personnel, rigorous engineering controls, safety and emergency protocols, supervision and planning of the activities to be carried out) for the management of dangerous chemical substances and / or use of restricted access laboratory equipment in their research activities. Concluding with the following: It was observed that when applying the methodology of the ACS, it is necessary to give courses on hazard identification and risk assessment to the community of the institute and follow up on the Standard Operating Procedures for the activities (operations) that are performed in laboratories.

III. ÍNDICE DE FIGURAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
Figura 1	Integración de identificación de peligros, evaluación y control de riesgos al método científico	4
Figura 2	Jerarquía de Controles	27
Figura 3	Diseño del estudio	29
Figura 4	Plano general de la Institución de Investigación	31
Figura 5	Porcentaje de integración de áreas	32
Figura 6	Evaluación de conceptos sugeridos por la ACS para cada área evaluada	33
Figura 7	Porcentaje general del NSQ de la Institución de Investigación	34
Figura 8	Porcentaje de conceptos del NSQ evaluados a laboratorios	37
Figura I	Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio A planta alta	53
Figura II	Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio A planta baja	54
Figura III	Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio B planta baja y alta	55
Figura IV	Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio C	56

IV. ÍNDICE DE TABLAS

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
Tabla 1	Ejemplos de peligros comúnmente identificados en actividades de investigación	5
Tabla 2	Enfoque sugerido por la ACS para establecer Niveles de Seguridad Química	13
Tabla 3	Enfoque para utilizar datos sin analizar para asignar Niveles de Seguridad Química	15
Tabla 4	Modelo de guía genérica de protección para Niveles de Seguridad Química	16
Tabla 5	Ejemplo de modelo de Análisis de Riesgos Laborales	19
Tabla 6	Plantilla para análisis básico de peligro ¿Qué pasaría sí?	22
Tabla 7	Ejemplos relacionados con errores humanos para el análisis ¿Qué pasaría si?	23
Tabla 8	Ejemplos relacionados con otros factores para el análisis ¿Qué pasaría si?	23
Tabla 9	Palabras guía de desviación para el análisis What If- HazOp	24

NÚMERO	TÍTULO	PÁGINA
Tabla 10	Plantilla para la elaboración de un Procedimiento Estándar de Operación recomendado por la ACS	26
Tabla 11	Descripción General de la Institución de Investigación	31
Tabla 12	Porcentaje de integración de áreas	32
Tabla 13	Resultados de la evaluación de conceptos sugeridos por la ACS para cada área evaluada	33
Tabla 14	Porcentaje general del Nivel de Seguridad Química (NSQ)	34
Tabla 15	Porcentaje de conceptos contra NSQ	36
Tabla 16	Observaciones de los controles de riesgos con base a la Normas Oficiales Mexicana en la institución de Investigación	38
Tabla 17	Relación de las NOM's con la jerarquía de controles	38
Tabla 18	Lista de operaciones y su empleo en los laboratorios de la institución de investigación	39
Tabla 19	Procedimiento Estándar de Operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor	40
Tabla 20	Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor	42
Tabla 21	Procedimiento Estándar de Operación para agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética	43
Tabla 22	Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación de agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética	44
Tabla 23	Procedimiento Estándar de Operación para transferencia de gas: nitrógeno (N ₂)	45
Tabla 24	Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación para transferencia de gas: nitrógeno (N ₂)	48

V. GLOSARIO

Concepto	Definición
Análisis de riesgos	Término utilizado para expresar el proceso completo de identificación de peligros, evaluación y control de riesgos.
Consecuencia	Resultado de mayor probabilidad de un incidente potencial.
Control de riesgos	Una barrera, como un dispositivo, medida o límite, que se utiliza para minimizar las posibles consecuencias asociadas con un riesgo.
Gestión del riesgo	Actividades coordinadas para dirigir y controlar la organización con relación al riesgo.
Identificación de peligros	Identificación del tipo y la naturaleza de los efectos adversos que un agente, operación o equipo tiene como capacidad inherente para causar en un organismo, sistema o (sub) población.
Infraestructura	Conjunto de elementos, dotaciones o servicios necesarios para el buen funcionamiento de un país, de una ciudad o de una organización cualquiera.
Laboratorio	Lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico donde se utilizan cantidades relativamente pequeñas de sustancias químicas peligrosas en una base de no producción.
Peligro	Capacidad intrínseca de las propiedades y características físicas, químicas o de toxicidad de una sustancia química peligrosa o mezcla para generar un daño al trabajador o en el centro de trabajo.
Probabilidad	Posibilidad de que algo suceda, esté definida, medida o determinada objetivamente o subjetivamente, cualitativa o cuantitativamente.
Procedimiento	Método de ejecutar de forma específica alguna actividad.
Riesgo	Probabilidad de que los efectos nocivos de una sustancia química peligrosa o mezcla por una exposición crónica o aguda de los trabajadores altere su salud o, por su capacidad de arder, explotar, corroer, entre otras, dañe el centro de trabajo.
Sustancia	Aquel elemento químico y sus compuestos en estado natural u obtenidos mediante cualquier proceso de producción, incluidos los aditivos necesarios para conservar su estabilidad y las impurezas que resulten del proceso utilizado, y excluidos los disolventes que puedan separarse sin afectar a la estabilidad de la sustancia ni modificar su composición.
Sustancias químicas peligrosas	Aquellas que por sus propiedades físicas, químicas y características toxicológicas presentan peligros físicos para las instalaciones, maquinaria y equipo, y para la salud de las personas que se encuentre en el centro de trabajo.
Técnica	Conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve una ciencia o un arte.

VI. ABREVIATURAS

Término	Definición
ACS	<i>American Chemical Society</i>
AI	Agente Inerte
AMEF	Análisis del Modo y Efectos de Fallas
ARL	Análisis de Riesgos Laborales
BI	<i>Business Interruption</i>
CSB	<i>Chemical Safety Board</i>
EPP	Equipo de Protección Personal
F&EI	<i>Dow Fire and Explosion Index</i>
HazOp	Análisis de Peligros de Operaciones
HMIS	<i>Hazardous Material Information System</i>
LEL	Límite inferior de explosión
MPDO	<i>Loss Control Credits and Maximum Probable Days Outage</i>
MPPD	<i>Maximum probable property damage</i>
NOM's	Normas Oficiales Mexicanas
NSQ	Nivel de Seguridad Química
OEL	Límite de exposición ocupacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
PEO	Procedimiento Estándar de Operación
RPN	Número de Prioridad de Riesgo
SGA	Sistema Globalmente Armonizado
SST	Seguridad y Salud en el Trabajo
UMRP	Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la evaluación de riesgos implica dos pasos, la identificación de peligros y la caracterización de peligros. La identificación de peligros es un término bastante sencillo, pero la caracterización de un peligro no se define tan fácilmente. Algunos criterios incluyen la cuantificación, el mecanismo de acción y los peligros físicos para las sustancias químicas. Cuanta más información se pueda incluir sobre el peligro, más útil será la evaluación de riesgos. (2)

La orientación de los estándares actuales sobre la identificación de peligros, las evaluaciones y control de riesgos están aplicados hacia entornos industriales y no al entorno del laboratorio de investigación académica y/o docencia.

En las Instituciones de investigación y/o de docencia se registran actividades que utilizan diversas sustancias químicas y operaciones dentro de los laboratorios para realizar experimentos, si se toma en cuenta esto, se tendría que contar con técnicas para la identificación de los peligros, prevención, preparación y repuesta ante eventuales accidentes químico tecnológicos

La información con respecto a las lecciones aprendidas de accidentes químicos en los laboratorios de investigación y docencia es escasa; Sánchez en 2010 reporta para Costa Rica en el periodo de 1998 al 2005 la mayor cantidad de incidentes y accidentes en las industrias y en el sector de servicios (universidades, hospitales, centros educativos, laboratorios de análisis) con el 83 (33%) y 61 (24%), eventos presentados respectivamente. (19)

En México, la información recopilada sobre accidentes relacionada con sustancias químicas, solo registra aquellos que ocurren en plantas industriales (20). el acceso a esta información es por datos aislados, como el reportado por medios impresos de un grupo de alumnos de Veracruz, luego de que un experimento de laboratorio generó una fuerte explosión, donde once jóvenes resultaron con quemaduras en varias partes del cuerpo, debido a las sustancias que utilizaban en el laboratorio (4). Otro caso un accidente ocurrió durante una práctica de química, donde un recipiente de cristal que contenía éter, se sobrecalentó y estalló frente a un grupo de alumnos en un laboratorio de la UAM Xochimilco. (18)

Es por ello que la identificación de peligros y evaluación de riesgos permite hacer un análisis sólido de los diversos peligros vinculados con las operaciones realizadas en los

laboratorios de investigación académica y/o docencia. Las técnicas pueden variar según su enfoque, alcance, requisitos de datos y resultados.

Por lo que la *Chemical Safety Board* (CSB) y la *American Chemical Society* (Sociedad Química Americana; ACS (*Committee on Chemical Safety* (Comisión de Seguridad Química CCS con la División de Seguridad y Salud Química) desarrolló la guía "*Identificación y Evaluación de Peligros en Laboratorios de Investigación*" (en inglés "*Identifying and evaluating hazards in research laboratories*"). con el fin de mejorar la seguridad de los laboratorios y proporcionar información para la identificación, evaluación de riesgos y administración de los riesgos asociados a los peligros en los laboratorios de investigación, para investigadores sin distinción del área y nivel académico (estudiantes universitarios, graduados, académicos postdoctorales, instructores, técnicos o jefes de departamento) que tienen diferentes enfoques de aprendizaje, diseño experimental y que puede requerir diferentes tipos de herramientas de análisis de riesgos.

Los factores considerados en el desarrollo de la guía son:

- Proporcionar técnicas para asegurar que la información sobre peligros sea reunida y analizada.
- Proporcionar técnicas que se pueden utilizar para una variedad de actividades (modificaciones a la investigación actual o actividades nuevas).
- Proporcionar herramientas que ayuden a los investigadores a reconocer y responder a cambios grandes y pequeños en las actividades de investigación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La identificación de peligros y evaluación de riesgos permite hacer un análisis sólido de los diversos peligros vinculados con las operaciones realizadas en el laboratorio o en la industria. Las técnicas pueden variar según su enfoque, alcance, requisitos de datos y resultados.

La Institución de investigación en donde se desarrolló este trabajo es líder en la investigación Química en el país, generando nuevos esquemas de colaboración para alcanzar una mayor proyección nacional e internacional e ingresar a campos emergentes, formando al mismo tiempo profesionales con sólidos conocimientos y alto grado de especialización por lo tanto se registran actividades que utilizan diversas sustancias químicas y operaciones dentro de los laboratorios para realizar experimentos.

La institución de investigación posee su reglamento interno, su reglamento de higiene y seguridad e imparte anualmente cursos de Protección Civil, Uso de extintores y de seguridad. (24)

Registros proporcionados por el Área de Prevención de Riesgos y Seguridad de Productos Químicos de la Institución de investigación, reporta incidentes, algunos relacionados con los experimentos de los cuales se presenta dos casos a continuación: la caída del recipiente y el derrame de la sustancia 1,3 propanotriol, que provocó la evacuación total de la institución, otro incidente fue un derrame que tuvo lugar en el almacén de sustancias químicas de un laboratorio, con una evacuación parcial. Derivado de los anterior es fundamental, mantener actualizados los estudios de gestión de riesgos e identificación de peligros, así como los Procedimientos Estándar de Operación, y programas de capacitación enfocados en identificación de peligros y análisis de riesgos de las operaciones y manejo de sustancias químicas empleados en los laboratorios.

Aunque existen numerosas técnicas de evaluación de riesgos que pueden ser utilizadas en la industria o en instituciones académicas y de investigación, se plantea el interés de aplicar la metodología ACS, enfocada a la institución de investigación, ya que, no existe un registro de una evaluación de riesgos con este tipo de enfoque. La utilidad principal de esta metodología radica en proporcionar la información que necesita la dirección de la Institución de Investigación para poder tomar decisiones fundamentadas sobre los beneficios de introducir, modificar o cambiar procedimientos, personal calificado y controles de riesgos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Aplicar la metodología de la *American Chemical Society* para evaluar los riesgos de los laboratorios de una institución de investigación.

3.2. Objetivos particulares

- Actualización de la información bibliográfica y normativa del análisis y evaluación de riesgos aplicada a una Institución de Investigación.
- Identificar el nivel de seguridad química de acuerdo a la metodología de la ACS a los laboratorios de la institución de investigación con base a los conceptos establecidos por esta.

- Determinar que operaciones realizadas en los laboratorios de la institución de investigación serán sujetas al desarrollo Procedimiento Estándar de Operación.
- Desarrollar el análisis ¿qué pasaría si?, a los Procedimientos Estándar de Operación elegidos

4. GENERALIDADES

4.1. Identificación de peligros y análisis de riesgos

Para conseguir que una instalación opere de forma segura y continua, es fundamental disponer de un sistema que gestione el riesgo, siendo el primer requisito, para ello la implementación de técnicas que permitan la identificación, evaluación y control de los riesgos que pueden aparecer en dicha(s) instalación(es). (6)

Es por ello que las organizaciones académicas y de investigación con una fuerte cultura en seguridad encuentran maneras de integrar el proceso de identificación de peligros, evaluación y gestión de riesgos al realizar el diseño de un experimento. Esta integración se ilustra en la Figura 1 con los elementos básicos del método científico, representado dentro del círculo que son 1) Teoría, 2) Predicción (Hipótesis), 3) Experimentación (resultados) y 4) Observación (análisis), los elementos básicos de un proceso de identificación de peligros, evaluación y control de riesgos se muestran en los recuadros correspondientes.

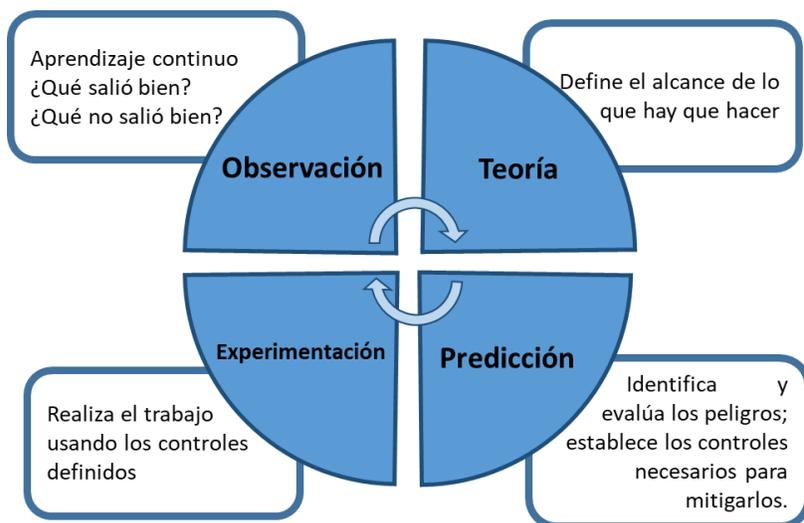


Figura 1.- Integración de identificación de peligros, evaluación y control de riesgos al método científico. (American Chemical Society , 2015)

Un ejemplo es el manejo del benceno, con base a su hoja de datos de seguridad (10) es un carcinógeno humano; por lo tanto, la exposición al benceno en el trabajo de laboratorio plantea un riesgo para la salud. Si se trabaja con cantidades de benceno a escala de laboratorio en una campana de extracción que funciona correctamente, con capacitación y Equipo de Protección Personal adecuado que minimicen el contacto o inhalación de este, la probabilidad de exposición es baja o casi nula, minimizando así el riesgo. (2)

Una evaluación o análisis del riesgo es un proceso mediante el cual se identifican los peligros, se estima el riesgo, valorando conjuntamente la probabilidad y las consecuencias de que ocurra el peligro. Un peligro es un daño potencial; el término se asocia con un agente, condición o actividad (un fenómeno natural, una sustancia química, una mezcla de sustancias, un proceso que involucra sustancias, una fuente de energía, una situación o un evento) que, si se deja sin control, puede causar lesiones, enfermedades, pérdida de bienes o daños al medio ambiente. Los peligros son una propiedad intrínseca de una sustancia, condición o actividad. La Tabla 1 proporciona una lista de los peligros que se identifican para las actividades de investigación. A menudo es más fácil identificar agentes o condiciones peligrosas, que identificar los peligros asociados con una actividad.

Tabla 1.- Ejemplos de peligros comúnmente identificados en actividades de investigación	
Tipo de peligros	Ejemplos
Agente	Carcinogénico, teratogénico, corrosivo, pirofórico, tóxico, mutagénico, riesgo para la reproducción, explosivo, radiación no ionizante, riesgo biológico / patógeno, inflamable, oxidante, autorreactivo o inestable, potencialmente explosivo, reductor, reactivo al agua, sensibilizante, formador de peróxido, catalítico o sustancias químicas asfixiantes
Condiciones	Presión alta, presión baja, eléctrica, superficies irregulares, <i>puntos pinch</i> , peso suspendido, superficies calientes, frío extremo, vapor, ruido, desorden, campos magnéticos, asfixiantes simples, espacios con deficiencia de oxígeno, radiación ultravioleta o luz láser
Actividad	Creación de productos secundarios, levantamiento, mezclas químicas, uso prolongado de cajas secas, pipeteo repetitivo, escalado, manejo de desechos, transporte de materiales peligrosos, manejo de cristalería y otros objetos afilados, sustancias químicas para calentar, recristalizaciones, extracciones o centrifugado
Tomado de (American Chemical Society , 2015)	

Es por ello, que en una evaluación de riesgos se debe entender la relación entre peligro y riesgo.

Como se mencionó, un **peligro** es cualquier fuente de daño potencial, daño a la salud y/o la vida de un individuo bajo ciertas condiciones, ya sea en el trabajo o en el hogar. La NOM-018-STPS-2015 la define como *“La capacidad intrínseca de las propiedades y características físicas, químicas o de toxicidad de una sustancia química peligrosa o mezcla para generar un daño al trabajador o en el centro de trabajo”*.

Por otro lado, el **riesgo** es la probabilidad de que una persona sea perjudicada o experimente un efecto adverso para la salud si se expone a un peligro. La misma norma la define como *“La probabilidad de que los efectos nocivos de una sustancia química peligrosa o mezcla por una exposición crónica o aguda de los trabajadores altere su salud o, por su capacidad de arder, explotar, corroer, entre otras, dañe el centro de trabajo”*. Definiendo el riesgo de la siguiente manera:

Riesgo = Peligro x Probabilidad (Ecuación 1.- Riesgo asociado a las actividades)

Riesgo = Peligro x Exposición (Ecuación 2.- Riesgo asociado a sustancias)

Los resultados de una evaluación de riesgo de un experimento dado, deben guiar la selección de técnicas y herramientas de gestión de riesgos: eliminación o sustitución de materiales; dispositivos de seguridad primarios o controles de ingeniería, tales como campanas de extracción de gases químicos; Equipo de Protección Personal (EPP) y procedimientos específicos escritos por ejemplo un Procedimiento Estándar de Operación (PEO). Dentro del área de investigación el factor humano es un riesgo que no puede ser eliminado; sin embargo, una vez identificado el peligro relacionado a la actividad de investigación, se pueden implementar controles apropiados y reducir o mitigar los riesgos asociados con el peligro.

4.2. Elección y uso de una técnica para la evaluación de riesgos

Una buena técnica de identificación de peligros y evaluación de riesgos es aquella que permite hacer un análisis sólido de los diversos peligros vinculados con las operaciones realizadas en el laboratorio o en la industria. Las técnicas pueden variar según su enfoque, alcance, requisitos de datos y resultados.

Aunque existen numerosas técnicas de evaluación de riesgos que pueden ser utilizadas en la industria o en instituciones académicas y de investigación. Algunas técnicas se describen de manera breve a continuación, pero quedan fuera del alcance del estudio.

4.3. Auditoria de seguridad

Uno de los primeros métodos sistemáticos de identificación de peligros utilizados en la industria química fue la auditoría de seguridad. Las auditorías son una herramienta de gestión normal y tienen una importancia considerable en seguridad. Su origen se basa en la experiencia de la industria química de los EE. UU., donde la auditoría de seguridad se estableció como un medio principal para garantizar la seguridad, dando diferentes tipos.

1) Una auditoría de seguridad somete las actividades de cada área de la organización a un examen crítico sistemático. Su objetivo, como otras auditorías, es revelar las fortalezas, debilidades y las áreas de vulnerabilidad. La llevan a cabo profesionales y da como resultado un informe formal y un plan de acción. Las Auditorías de seguridad establecen una distinción entre una auditoría de seguridad y una encuesta de seguridad, que es un examen detallado de un campo estrecho, como los procedimientos específicos o una planta en particular; 2) inspección de seguridad, que es una inspección programada de una unidad realizada por el personal de la unidad; 3) recorrido de seguridad, que es un recorrido no programado de una unidad realizado por un extraño como el gerente de obras o un representante de seguridad; y 4) muestreo de seguridad, que es una aplicación específica de una inspección / recorrido de seguridad diseñado para medir el potencial de accidentes. (8)

Este método requiere de una organización o profesional certificado en la norma (ya sea una norma obligatoria o internacional) y se especifica en el cumplimiento de los requisitos de la norma a evaluar.

4.4. Índice de peligro

Existen numerosos índices de peligro que se han desarrollado para diversos fines. Hay índices que son aplicables al proceso y a la planta en conjunto. Algunos índices principales de proceso y peligro para las plantas son el índice Dow Fire and Explosion, el índice Mond entre otros. (8)

4.4.1. Índice Dow Fire and Explosion

Parte del propósito del *Dow Fire and Explosion Index (F&EI)* o índice Dow es servir como guía para la selección de métodos de protección contra incendios considerando el daño máximo probable a la propiedad (*the maximum probable property damage, MPPD*), los créditos de control de pérdidas y la interrupción máxima de días probables (*Loss Control Credits and Maximum Probable Days Outage, MPDO*). El procedimiento consiste en

calcular el F&EI y usarlo para determinar medidas de protección contra incendios y, en combinación con un Factor de Daño, derivar el MPPD base. Esto se usa, en combinación con los puntos de control de pérdidas, para determinar el valor real del MPPD, el MPDO y la pérdida de la interrupción del negocio **BI** (*business interruption*).

La información básica requerida para el F&EI es el plano de ubicación general de equipos y el diagrama de flujo de procesos de la planta. Para las pérdidas económicas, también es necesario conocer el valor de la planta por unidad de área, o la "densidad de capital", y el valor mensual de la producción. El enfoque de esta técnica va dirigido hacia la infraestructura de una planta, fábrica que tienen procesos químicos y equipos industriales.

(8)

4.4.2. Índice Mond

El Índice de Fuego, Explosión y Toxicidad de Mond es una extensión del Índice de Dow. El índice fue desarrollado en la División Mond de Imperial Chemical Industries.

Las principales modificaciones al índice Dow realizadas en el índice Mond son:

- Permitir que se estudie una gama más amplia de procesos e instalaciones de almacenamiento;
- Para cubrir el procesamiento de productos químicos que tienen propiedades explosivas reconocidas;
- Permitir que se incluyan aspectos de toxicidad en la evaluación;
- Incluir una gama de factores de compensación para un buen diseño de la planta y sistemas de instrumentación de control / seguridad para permitir que se evalúen niveles de peligro realistas para las unidades de la planta bajo diferentes niveles de características de seguridad;

El índice Mond implica hacer una evaluación inicial del peligro de una manera similar a la utilizada en el índice Dow, pero teniendo en cuenta consideraciones de peligro adicionales.

Cada diseño se califica en una variedad de factores que contribuyen al riesgo general. Por ejemplo, un diseño que utiliza productos químicos altamente tóxicos obtendrá puntos negativos, mientras que una instalación ubicada lejos de áreas pobladas recibe puntos positivos. También se otorga puntos por el uso de medidas de control y mitigación. (8)

4.5. Análisis del Modo y Efectos de Fallas

El Análisis del Modo y Efectos de Fallas (Failure Mode and Effect Analysis, AMEF) es una técnica de ingeniería utilizada para definir, identificar y eliminar fallas, problemas y errores conocidos y/o potenciales del sistema, diseño, proceso y/o servicio antes de que ocasione un accidente.

Para analizar un producto o sistema específico, se debe establecer un equipo interdisciplinario. El siguiente paso en el AMEF es identificar todos los posibles modos de falla potenciales del producto o sistema mediante una lluvia de ideas. Después de eso, se realiza un análisis crítico de estos eventos teniendo en cuenta los factores de riesgo. El objetivo principal del AMEF es permitir a los analistas priorizar los modos de falla de un sistema, diseño, proceso, producto o servicio para asignar los recursos limitados a los elementos de mayor riesgo.

Tradicionalmente, la priorización de los modos de falla en el AMEF se determina a través del Número de Prioridad de Riesgo (RPN), que se define como el producto de la multiplicación de los factores de riesgo O, S y D para cada falla.

$$\text{RPN} = O \times S \times D \quad \dots\dots\dots \text{(Ecuación 3)}$$

Donde O es la probabilidad o frecuencia de la falla, S es la gravedad (consecuencia) de la falla y D es la capacidad de detectar la falla antes de que se percate el impacto del efecto. Para obtener la prioridad de riesgo (RPN) de un modo de falla potencial, cada uno de los tres factores de riesgo generalmente se clasifica en una escala numérica que varía del 1 al 10. (7)

4.6. Análisis de árbol de fallas

En esencia, los análisis de árbol de fallas representan la relación lógica entre un subsistema, fallas de componentes y cómo se combinan para causar fallas en el sistema. La parte superior de un árbol de fallas representa un evento del sistema de interés y está conectado por puertas lógicas a fallas de componentes conocidas como eventos básicos. Después de crear el diagrama, los datos de falla y reparación se asignan a todos los componentes del sistema. (9)

Lo que el árbol de fallas ayuda a revelar son las posibles causas del peligro, algunas de las cuales pueden no haberse previsto. Los árboles de fallas se usan ampliamente en la evaluación de riesgos, pero también son de gran valor en la identificación de peligros. En muchos casos, es suficiente poder identificar las rutas de falla y los eventos base, lo que

puede dar lugar al evento crítico, ya que, no es necesario cuantificar la frecuencia de ocurrencia de estos eventos. El análisis se realiza también para calcular los parámetros de confiabilidad y disponibilidad del sistema e identificar componentes críticos. (21)

4.7. Análisis de Árbol de eventos

El análisis de árbol de eventos implica el análisis y desarrollo de las posibles causas de un evento, comenzando a nivel del sistema y trabajando a través de los niveles de subsistema, equipo y componente, identificando los modos de falla de cada componente y los efectos en el proceso. Determina qué fallas pueden esperarse y cómo ocurren.

El enfoque general es similar al adoptado en el AMEF, describe como un punto específico puede fallar (abierto, cerrado, prendido, apagado, fuga, etc.) y el efecto es la respuesta del sistema a la falla. La estructura del análisis de árbol de eventos proporciona una representación lógica de los posibles resultados de un evento peligroso.

También proporciona un enfoque inductivo para la evaluación de riesgos y, se construye utilizando una lógica directa que permite la vinculación del análisis del árbol de eventos a un análisis de árbol de fallas al tratar los resultados como la fuente del árbol de eventos. Es decir, el árbol de eventos, el enfoque es "de abajo hacia arriba", mientras que, en un árbol de fallas, es "de arriba hacia abajo" (deductivo). (21)

El enfoque de estas dos últimas técnicas puede aplicarse tanto en la industria como en el ámbito académico y de investigación, dando resultados cualitativos y con modelos matemáticos generan resultados cuantitativos.

5. TÉCNICAS PARA LA EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS RECOMENDADAS POR LA AMERICAN CHEMICAL SOCIETY

Las técnicas mencionadas en su mayoría son de uso común en la industria y están enfocados a equipos de procesos industriales. Los requisitos para hacer uso de estas técnicas en la industria son los planos de diseño de los equipos, filosofía de operación, diagrama de flujo de procesos, entre otros documentos que entran en un paquete de ingeniería.

Por lo que tratar de implementarlos bajo estos requisitos en laboratorios de investigación llega a ser complicado, debido a que las operaciones realizadas en un laboratorio tienen una menor dimensión, capacidad y complejidad. Es por lo que la guía de la ACS

recomienda que las técnicas que se acoplan mejor a la evaluación de riesgos en laboratorios.

La ACS describe en la guía “*Identificación y Evaluación de Peligros en Laboratorios de Investigación*” que las técnicas para la evaluación de riesgos deben presentar las siguientes cualidades:

- No limitar el método científico.
- Debe mantener seguro al usuario y/o al grupo de investigación de peligros.
- Se pueda vincular con la investigación y su entorno.
- Sea intuitivo, fácil de usar y fácilmente adaptable a cualquier tipo de investigación y entorno.
- Ser personalizable, fácil de recolectar información, modificar y cumplir con su función para cualquier institución.
- Realizar un informe que pueda formar parte del registro de investigación, contenga la información que el investigador considere como ayuda para que él o ella lleve a cabo su trabajo y se puede compartir con otros.
- Abordar la variedad de peligros identificados en la investigación.

5.1. Asignación del Nivel de Seguridad Química a laboratorios de investigación

Es una técnica utilizada para guiar la evaluación y gestión de los riesgos químicos en el laboratorio de investigación, centrandose en un número limitado de medidas de control específicas. La asignación de estas medidas de control se basa en un rango de peligros y su relación con un Nivel de Seguridad Química. Esta técnica es aplicable a los laboratorios de investigación que utilicen sustancias químicas y a cualquier persona que ingrese al laboratorio. Esto incluye no solo a los trabajadores de laboratorio, sino también al personal de mantenimiento, vigilancia, y a los visitantes.

La asignación de un Nivel de Seguridad Química (NSQ) está influenciada por las características y los peligros de las sustancias, sus cantidades, los procesos químicos, las instalaciones y los controles de ingeniería disponibles. La determinación de posibles exposiciones implica la caracterización de los procesos o actividades en los que se utilizan las sustancias químicas.

5.1.1. Ventajas

- El NSQ puede acelerar una descripción general de los controles de riesgos apropiados para el laboratorio de investigación donde los procesos y reacciones típicas que involucran sustancias químicas están bien establecidos.
- El concepto de NSQ se puede aplicar a otros lugares de trabajo donde se utilizan sustancias químicas que tradicionalmente no se consideran como "laboratorios", como en estudios de arte, tiendas de teatro, estaciones de campo o estaciones de investigación.

5.1.2. Desventajas y limitaciones

- Las actividades no rutinarias y de alto riesgo de un laboratorio requieren una evaluación más rigurosa de sus peligros únicos, utilizando otras técnicas mencionadas en este documento.
- El uso y la escala del NSQ dependen del sistema de clasificación. Por ejemplo, el Sistema Globalmente Armonizado (SGA) presenta este desafío, que utiliza la Clase 1 como su número más peligroso y ocupa los números más alto para indicar riesgos más bajos. Esto es lo opuesto al enfoque del Sistema de Información de Materiales Peligrosos (*Hazardous Material Information System*, HMIS), que se usa en América del Norte.

La Tabla 2 está diseñada para ayudar a determinar un Nivel de Seguridad Química (NSQ) que sea apropiado para las actividades químicas en un laboratorio. Este NSQ proporciona una guía general para las mejores prácticas de seguridad química apropiadas a los riesgos químicos del laboratorio de investigación y/o docencia.

Para usar la Tabla 2, comience con la fila "Concepto del Nivel de Peligro" y trabaje en toda la fila, pensando en el tipo de peligros presentes en el de laboratorio, grupo de laboratorio o proceso, y compare el peligro con el NSQ. Compare el NSQ tentativo con la fila "sustancias químicas utilizadas" para confirmar la asignación adecuada. Una vez que se asigna el NSQ, baje en la tabla para identificar las diversas medidas de seguridad apropiadas para el laboratorio, los integrantes de laboratorio o el proceso. Recuerde que estas recomendaciones pueden ser anuladas por factores locales; Por lo tanto, es importante documentar los motivos de estas variaciones a medida que ocurren.

Tabla 2.- Enfoque sugerido por la ACS para establecer Niveles de Seguridad Química				
DESCRIPCIÓN O CONTROL	NIVEL DE SEGURIDAD QUÍMICA 1	NIVEL DE SEGURIDAD QUÍMICA 2	NIVEL DE SEGURIDAD QUÍMICA 3	NIVEL DE SEGURIDAD QUÍMICA 4
Alcance de la evaluación Posibilidades				
Consideraciones				
POR CONCEPTO DEL NIVEL DE PELIGRO (Resumen del nivel del peligro)				
Flexible				
Dependiente del contexto	Riesgo del laboratorio es equivalentes al riesgo de un hogar. Uso de sustancias químicas de uso doméstico	Riesgo del laboratorio equivalentes a los de los laboratorios de enseñanza (inventario restringido de sustancias químicas peligrosas; operaciones y procedimientos establecidos)	Riesgo del laboratorio moderado o con una variación dentro de un rango control (Existen sustancias químicas peligrosas en el inventario; operaciones y procedimientos en desarrollo)	Riesgos nuevos, riesgos graves semi establecidos (Sustancias químicas peligrosos de alto riesgo con operaciones y procedimientos no establecidos)
POR SUSTANCIAS QUÍMICAS (Tipos y características de la sustancia y su uso)				
Laboratorio				
No identificado	Sustancias en envases de consumo comercial. Puede recibir sustancias químicas, pero no abrir el contenedor	Ácidos / bases de baja concentración, alcoholes de bajo peso molecular, sales sólidas, gases asfixiantes comprimidos no tóxicos	Inventario de sustancias típicas para un laboratorio de investigación: solventes inflamables, corrosivos, sales inorgánicas, tóxicos, gases inflamables. Cantidades limitadas (en mg) de sustancias pirofóricas reactivos al aire o al agua	Sustancias pirofóricas, reactivas al aire / agua. Sustancias potencialmente explosivas, sustancias altamente tóxicas (en cualquier estado de la materia)
POR REQUISITOS DE FORMACIÓN (Requisitos previos para los integrantes que trabajan en el laboratorio)				
Grupo de laboratorio				
Basado en la calificación de riesgo de laboratorio más alta	Haber observado la etiqueta y la(s) señal(es) de advertencia	Capacitación general de seguridad en el laboratorio, en etiquetas y señales de advertencia	Los riesgos del laboratorio requieren capacitación de seguridad específica	Acceso restringido al laboratorio. Se debe estar acompañado por personal experimentado
POR REQUERIMIENTOS DE SUPERVISIÓN (Responsabilidades de seguridad del líder de laboratorio)				
Laboratorio				
Basado en el proceso de mayor riesgo de laboratorio activo	Se debe estar consciente sobre el trabajo que se está realizando	Supervisión constante o solo en operaciones con restricciones específicas	En presencia de compañeros o solo en operaciones con restricciones específicas	En Presencia de compañeros
POR REQUISITOS DE VIGILANCIA	* Autoinspectivas semanales;	* Autoinspectivas semanales;	* Autoinspectivas semanales;	* Inspecciones diarias;

(Expectativas para la revisión institucional de las operaciones de laboratorio)	** auto-auditorias tres veces al año	** auto-auditorias tres veces al año	*** Dependencias mensuales; ** auto-auditorias tres veces al año; ‡ Programa de revisión institucional basado en el riesgo	*** Dependencias mensuales; ** auto-auditorias tres veces al año; ● calendario de revisión institucional basado en el riesgo
Grupo de Laboratorio				
Basado en la calificación de riesgo de laboratorio más alta				
POR REQUISITOS DE PLANIFICACIÓN (Requisitos específicos para la planificación del trabajo)	Planes y operaciones específicos escritos y exclusión de sustancias químicas peligrosas	Operaciones y procedimientos escritos incluyendo protocolos de seguridad	Los procedimientos y operaciones escritos que incluyen protocolos de seguridad deben ser revisados por pares	Los procedimientos escritos que incluyen protocolos de seguridad deben ser revisados por el supervisor
Proceso específico				
Basado en la química más alta calificación involucrada				
REQUISITOS GENERALES DE EPP (EXPOSICIÓN A LOS OJOS Y A LA PIEL) (Requisitos de protección para entrar en la sala)	Protección de piernas y pies	Protección de piernas y pies, más protección para los ojos	Protección de piernas, pies, ojos más batas de laboratorio	Protección de piernas, pies, ojos más batas de laboratorio resistente al fuego
Laboratorio				
Principalmente basado en calificaciones físicas				
REQUISITOS EPP ESPECÍFICOS (MANOS Y PROTECCIÓN RESPIRATORIA) (requisitos de protección para realizar las actividades)	Sin guantes	Guantes para actividades específicas: guantes desechables de nitrilo, vinilo o látex	Guantes para actividades específicas: guantes desechables de, vinilo o látex delgados aceptables para una pequeña cantidad incidental de salpicaduras. Neopreno o caucho de butilo puede ser necesario para la inmersión en disolventes o similares	Guantes para actividades específicas como de nitrilo, guantes: resistentes a las llamas si se usan líquidos pirofóricos, neopreno si se usan grandes cantidades. Guantes criogénicos para sustancias criogénicas
Proceso Específico				
Principalmente basado en calificaciones físicas				
POR REQUISITOS GENERALES DE VENTILACIÓN (requisitos de apoyo a las instalaciones)	Ninguna o baja especificación de ventilación	‡ Ventilación moderada, según se define en el plan de gestión de ventilación del laboratorio	‡ Alta ventilación, según se define en el plan de gestión de ventilación del laboratorio	Ventilación diseñada para alguna operación específica
Laboratorio				
Basado principalmente en la calificación de salud				
OTROS CONTROLES DE INGENIERIA	-----	Ventilación de escape local ("snorkel")	Campana de extracción de gases, ventilación de escape local ("snorkel"). Uso de caja de guantes	Campana de extracción de gases, ventilación de escape local ("snorkel"), caja de guantes o caja seca, reactor cerrado
Basado en riesgo de exposición				

POR PROTOCOLO DE RESPUESTA DE EMERGENCIA (expectativas de respuesta a posibles emergencias de materiales peligrosos)	Protocolo de respuesta institucional específica	Protocolo de respuesta institucional específico; Las personas con conocimiento del incidente tienen la responsabilidad de proporcionar información	Protocolo de respuesta institucional específico; puede tener un protocolo avanzado de respuesta de laboratorio para hacer que la situación sea segura durante la evacuación	Protocolo de respuesta institucional específico; planificación previa específica requerida
Laboratorio				
Principalmente basado en calificaciones físicas y mecánicas.				
<p>* Autoinspecciones: análisis rápido del entorno físico: puede o no usar una lista de verificación formal</p> <p>** Auto auditorías: revisión más completa de la NSQ y otra documentación; usa una lista de verificación</p> <p>*** Drop-by: revisión informal, consulta, check-in, visita amistosa por un representante institucional</p> <p>● Revisión institucional basada en riesgos: revisión formal del laboratorio por un representante institucional; utiliza una lista de verificación, documenta los problemas para su corrección, escala los problemas a la gerencia superior según sea necesario</p> <p>‡ Comuníquese con las instalaciones para obtener detalles sobre el plan de ventilación del laboratorio.</p> <p>Tomado de (American Chemical Society , 2015)</p>				

Adicionalmente uno de los métodos más comunes del NSQ es utilizar datos de las sustancias químicas sin analizar de manera individual. La Tabla 3 proporciona una metodología del NSQ de datos sin analizar, este enfoque utiliza datos como Inflamabilidad, reactividad, toxicidad aguda y crónica. Por otro parte la Tabla 4 describe las pautas de protección genéricas asociadas con las instalaciones formación, vigilancia, EPP y protocolos de emergencia.

Peligro	Inflamabilidad	Reactividad	Toxicidad aguda	Toxicidad crónica
NSQ 1	Flashpoint arriba de la Temperatura ambiente (140 °F [60°C])	No se esperan cambios químicos en la operación	Todas las sustancias químicas tienen toxicidades conocidas y OEL's > 500 ppm	No deben tener
NSQ 2	Flashpoint cerca de la temperatura ambiente, concentración <10% LEL	No se conocen incompatibilidades entre las sustancias químicas utilizadas	Todas las sustancias químicas tienen toxicidades conocidas y 10 ppm <OEL <500 ppm	Daños a órganos específicos o de efectos reversibles
NSQ 3	Concentración > 10% LEL	Sustancias químicas con reacciones conocidas o peligros de contaminación presentes	Toxicidades desconocidas u OEL <10 ppm	Daños a órganos específicos o de efectos irreversibles
NSQ 4	Pirofóricos, Sustancias reactivas al agua y aire, etc.	Reacciones de alto riesgo	OEL <1 ppm	Toxicidades de daño irreversible requieren el uso de áreas designadas
<p>LEL: El límite inferior de explosión (<i>lower explosive limit</i>) está definido como la concentración (indicada en Vol%) de una mezcla de gas combustible y aire que bajo condiciones estandarizadas puede inflamarse y continuar ardiendo.</p> <p>OEL: El límite de exposición ocupacional (<i>occupational exposure limit</i>) representa la concentración máxima en el aire de una sustancia tóxica a la que un trabajador puede estar expuesto durante un período de tiempo sin sufrir consecuencias perjudiciales.</p> <p>Tomado de (American Chemical Society , 2015)</p>				

Tabla 4. – Modelo de guía genérica de protección para Niveles de Seguridad Química					
Peligro	Instalaciones	Formación	Vigilancia	Equipo de Protección Personal	Protocolo de respuesta
NSQ 1	Cualquier habitación sin ventilación	Leer la etiqueta	Auto inspección	Ninguna	Ninguna preocupación inusual de sustancias químicas peligrosas
NSQ 2	Sala de laboratorio con ventilación	Seguir los procedimientos de la operación	Formación general y verificación de check-in	Guantes de nitrilo, protección ocular.	Los integrantes del laboratorio responden a la alerta general
NSQ 3	Sala de laboratorio con ventilación local	Entrenamiento general para eventos inesperados	Procesos de formación y auditorías externas	Guantes adecuados para la operación, protección ocular, bata de laboratorio	Respuestas específicas del encargado del laboratorio
NSQ 4	Laboratorio específicamente diseñado	Haber practicado antes de trabajar con la sustancia	Procedimientos Estándar de Operación escritos y supervisión en prácticas específicas	EPP específico para la Operación	Planificación específica de respuestas

Tomado de (American Chemical Society , 2015)

La asignación del NSQ se debe realizar en conjunto con el departamento o área encargada de la seguridad y el responsable del laboratorio. En función de los peligros asociados con la metodología de investigación. El responsable del laboratorio debe proporcionar información específica sobre los inventarios de sustancias y los procesos necesarios para completar la asignación del nivel de seguridad química y hacer la designación del nivel de riesgo final. Las evaluaciones deben ser revisadas cuando cambie el proceso de investigación. Es decir, debe proporcionar lo siguiente: (2)

- Información que determina la asignación del Nivel de Seguridad Química;
- Identidad química y asignaciones del Sistema Globalmente Armonizado (SGA);
- Cantidades y concentraciones de las sustancias;
- Productos de reacciones químicas esperadas;
- Procesos de investigación y/o actividades de laboratorio;
- Posibles escenarios de emergencia;

5.2. Análisis de Riesgos Laborales

Un Análisis de Riesgos Laborales (*Job Hazard Analysis*, ARL) se realiza para identificar los peligros asociados con un trabajo o actividad en particular. Esta herramienta se centra en la relación entre el investigador, la actividad a realizar, las herramientas necesarias para completar la tarea y el entorno de trabajo donde se realizará la tarea. Una vez que

se han identificado los peligros, se pueden definir e implementar controles para eliminarlos o mitigarlos de manera efectiva. El nivel de riesgo aceptable para cualquier tarea debe ser determinado por las partes involucradas y la institución.

Se puede escribir un ARL para cada actividad y puede ser tan detallado como sea necesario. No todas las actividades realizadas en un laboratorio requieren un ARL. Las actividades con el mayor potencial de daño deben recibir prioridad de desarrollo de un ARL con el objetivo de descubrir lo siguiente:

- ¿Qué puede salir mal (vías potenciales) con la reacción, el equipo o el medio ambiente?
- ¿Cuáles serían las consecuencias si algo saliera mal con alguno de los anteriores?
- ¿Qué condiciones se necesitan para que algo salga mal?
- ¿Cuáles serían otros factores que contribuirían para que algo salga mal?
- Según las respuestas anteriores, ¿qué probabilidad hay de que ocurra?

La preparación de un ARL es un excelente enfoque para establecer la implementación de las mejores prácticas en las operaciones de laboratorio e identificar deficiencias de capacitación en seguridad. El departamento o área encargada de la seguridad y sus investigadores pueden usar los hallazgos de una ARL para eliminar o limitar los peligros, reduciendo así el riesgo. El riesgo reducido en última instancia resultará en menos lesiones y enfermedades, metodologías más efectivas y mayor productividad en el laboratorio. El ARL es una herramienta valiosa para desarrollar y brindar capacitación consistente a los empleados y estudiantes al proporcionar los pasos escritos y confiables que se requieren para realizar las tareas de manera segura.

El contenido de ARL que es demasiado amplio o general y debe incorporar los peligros asociados con los productos químicos utilizados, pero no necesariamente duplicar un PEO o Lista de verificación.

Por ejemplo, el uso de benceno como disolvente en un proceso introduce un riesgo físico (de incendio) y de salud (cáncer). Si la sustitución con un disolvente menos peligroso no es posible, entonces debe haber controles para la inflamabilidad y los riesgos para la salud asociados con esta sustancia. Los controles de inflamabilidad estarían en la lista (eliminar las fuentes de ignición, tener a mano un absorbente para derrames, etc.) y el control del riesgo para la salud podría referirse al PEO del laboratorio para usar benceno antes de trabajar.

5.2.1. Estrategias de desarrollo de un ARL

1. El ARL debe ser iniciado por las personas que realizan el trabajo, utilizando plantillas establecidas. Es muy importante que todas las partes interesadas estén involucradas en el proceso del ARL desde el principio porque son las que usarán la herramienta. Involucrar a los investigadores en el proceso ayuda a minimizar los descuidos y asegurar un análisis de calidad porque aquellos en la línea de trabajo tienen una comprensión única de su investigación.

2. Al escribir un ARL debe abordarse de manera similar a otros aspectos de un proyecto de investigación. Antes de escribir un ARL, los investigadores deben revisar los antecedentes de accidentes dentro de los laboratorios e instituciones. Se deben realizar búsquedas bibliográficas para localizar procedimientos relacionados y problemas conocidos con los procesos o sustancias químicas que se utilizan.

3. Enumere, clasifique y establezca prioridades para los proyectos de investigación basados en amenazas. La investigación que involucran riesgos inaceptables (basados en una alta probabilidad de ocurrencia y severidad de la consecuencia) debe ser de máxima prioridad para el análisis. Siempre que sea posible, elimine el peligro para mitigar el riesgo. Por ejemplo, uno puede reemplazar el benceno con un disolvente no cancerígeno.

4. Casi todos los proyectos de investigación se pueden dividir en tareas o pasos, y es importante describirlos. Al comenzar un ARL, puede ser útil que alguien realice la tarea y observe los pasos. Asegúrese de registrar suficiente información para describir cada trabajo. Evite hacer que el desglose de los pasos sea tan detallado que se vuelva innecesariamente largo o tan amplio que no incluya pasos básicos. Posteriormente, revise los pasos con el grupo de investigación para asegurarse de que no se omita nada. Un ejemplo del ARL se muestra en la Tabla 5.

5. Revise el ARL y obsérvelo en uso. Asegúrese de que no se hayan pasado por alto los pasos y que los controles implementados hayan eliminado o mitigado los peligros.

Para que un ARL sea útil, las siguientes preguntas deben abordarse de manera consistente. Al hacerlo, se asegurará de que sus esfuerzos para eliminar el peligro e implementar controles de peligro apropiados que se centren en los contribuyentes más importantes del peligro. Un escenario de peligro bien diseñado debe abordar:

- Donde está ubicado el peligro (el medio ambiente).
- A quién o a qué le está pasando (la exposición).

- Lo que precipita el peligro (el gatillo).
- El resultado que ocurriría si sucediera (la consecuencia).
- Factores adicionales que contribuyen (fatiga, tiempo, clima, experiencia, etc.).

Al abordar estas preguntas, uno debe estar abierto a nuevas formas de abordar un peligro. Muy a menudo, en la investigación se escucha: "Así es como siempre he hecho esto". Lo que el investigador tiene que hacer cuando se identifica un peligro es retroceder y preguntar: "¿Es esta la mejor manera de hacer esto?" Los peligros asociados con sustancias químicas y procesos familiares deben evaluarse cuando se prepara el ARL.

Una vez que se desarrolla un ARL general para un proceso, se puede adaptar fácilmente para variaciones en el proceso. (American Chemical Society , 2015)

Tabla 5.- Ejemplo de modelo de Análisis de Riesgos Laborales			
Análisis de Riesgos laborales			
Localización laboral:	Grupo de laboratorio:	Fecha:	
Actividad o trabajo	Neutralización del contenido de un matraz volumétrico que contiene 350 mL de una solución de ácido acético glacial (200 mL); sulfato de zinc (II) heptahidratado (10 g); cloruro de potasio (35 g); y agua (150 mL). Este procedimiento se puede seguir para la neutralización de soluciones acuosas en las que el pH es el peligro característico La eliminación de los residuos depende de las normas federales, estatales y locales de la región		
Elaborado por			
Equipo y productos químicos requeridos	Revuelva la placa; barra magnética de agitación; Campana extractora; hielo; vaso de precipitado termómetro; Hidróxido de sodio 6 M; equipo de derrame; contenedor de basura, EPP requerido: gafas protectoras contra salpicaduras químicas; guantes de nitrilo; bata de laboratorio; EPP Opcional: Pantalla facial		
Pasos de trabajo y tareas Describa las tareas / pasos involucrados en el trabajo - en orden	Peligros identificados para cada tarea / paso	Nivel de riesgo Se puede utilizar un nomograma o pictografías	Control / Trabajo Seguro Procedimientos para cada Tarea / Paso. Controles a implementar
PASO 1: Agregue la barra magnética de agitación al vaso de precipitados. Transfiera los contenidos del matraz volumétrico a un vaso de precipitados del tamaño apropiado (el vaso de precipitados no debe estar más de 1/3 de lleno)	Inhalación, Derrame, Contacto Dérmico. (vea abajo)	Riesgo bajo a moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Trabaje en la campana de extracción (trabaje detrás de un vidrio con una banda lo más baja posible) • Use gafas protectoras contra salpicaduras químicas, guantes (el nitrilo será suficiente para la exposición incidental, quite y reemplace los guantes contaminados) y bata de laboratorio. • Tenga un equipo para derrames en el lugar
PASO 2: Coloque el vaso en un baño de hielo en la unidad de agitación (sin calor) y agite a un ritmo moderado. Suspender el termómetro (0°C a	Lo mismo que arriba	Riesgo bajo a moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos controles que arriba. • Asegúrese de que el equipo para derrames incluya un equipo de limpieza de mercurio si usa un termómetro de mercurio

Tabla 5.- Ejemplo de modelo de Análisis de Riesgos Laborales

Análisis de Riesgos laborales			
220°C de capacidad) Si es posible, use un termómetro sin mercurio.			
PASO 3: Usando un medidor de pH y un electrodo para monitorear, agregue lentamente hidróxido de sodio 6 M para alcanzar un pH entre 6 y 7 Se puede usar papel de pH de rango completo en una varilla de agitación para evitar dañar una sonda	Reacción exotérmica (autocalentamiento - riesgo físico)	Riesgo moderado	<ul style="list-style-type: none"> • Los mismos controles que arriba <ul style="list-style-type: none"> • La agitación y un vaso suficientemente grande deben ser suficientes para disipar el calor de la neutralización. • Para evitar salpicaduras, deslice la base por una varilla de agitación <ul style="list-style-type: none"> • Monitoree la temperatura estrechamente con el termómetro, si la temperatura se aproxima a 90°C, permita que se enfríe • Si no se puede controlar la generación de calor, baje la ventana de la campana de extracción, salga de la habitación y notifique al departamento de seguridad o al supervisor de laboratorio
PASO 4: Permita tiempo para enfriar y desgasificar y transferir para etiquetar el contenedor de desechos	Los mismos pasos que el 2 y 3	Riesgo bajo a moderado	Mismos pasos de control que el 1 y 2
Lista de verificación de peligros			
¿Puede alguien estar expuesto a sustancias químicas? Sí	Si es así, ¿cuál es la naturaleza del peligro químico? corrosión o irritación de la piel; Toxicidad específica en determinados órganos (exposición única o repetida): riesgos para la salud		
¿Alguien puede resbalar, tropezar o caer? No	¿Alguien puede lastimar a alguien más? Sí		
¿Alguien puede ser atrapado en algo? No	¿Puede alguien atacar o hacer contacto con algún peligro físico? Se puede generar calor y expulsar contenidos si no se controla		
Supervisor de laboratorio o comentarios del departamento de seguridad: Nunca neutralizar en un matraz volumétrico. La cristalería volumétrica no es adecuada para reacciones químicas energéticas debido al cuello estrecho que impide que el calor y el gas se escapen y puede expulsar violentamente el contenido. Nunca use una base sólida (hidróxido de sodio o hidróxido de potasio) para neutralizar un ácido. Trabaja siempre en una campana de extracción con ácido acético glacial. El ácido acético glacial es inflamable. Evalúe la necesidad de neutralizar esta solución ya que esta solución no es adecuada para la eliminación en drenajes debido a los peligros ambientales del sulfato de zinc (II) en la vida acuática			
Supervisor de laboratorio o firma del área de seguridad		Fecha	
Firma de trabajador de laboratorio		Fecha	
Tomado de (American Chemical Society , 2015)			

5.3. Análisis “¿Qué pasaría si?”

El "¿Qué pasaría si?" (*What If?*) es una técnica de análisis de riesgos menos estructurada y requiere de menor tiempo. Un equipo de analistas experimentados, ingenieros y expertos en operaciones lleva a cabo un análisis hipotético con conocimiento y experiencia

identificar varios escenarios de tal manera que los riesgos puedan ser eliminados o minimizados. El éxito del análisis depende de: (1) conocimiento, (2) procesos de pensamiento, (3) experiencias y (4) actitudes de los miembros del equipo. Este enfoque poco definido permite a los miembros del equipo ser creativos y ampliar las ideas para las resoluciones apropiadas. (21)

Es decir, un análisis *What If?* consiste en una lluvia de ideas estructurada para determinar qué puede salir mal (daños y consecuencias), y la probabilidad de cada escenario. Las respuestas a estas preguntas forman una base para emitir juicios sobre la aceptación de los riesgos y determinar una recomendación para los riesgos inaceptables. Este análisis puede ser realizado por un solo individuo, pero se logra mejor en grupo para los procesos y procedimientos más complejos, puede consistir en uno o dos miembros que diseñaron el experimento, realizaron cualquier mantenimiento en algún equipo de laboratorio e identificaron algunos factores de riesgos.

Además, es un buen candidato para aplicaciones de investigación simples. Su uso para procesos más complejos también está garantizado, pero debe aplicarse utilizando un enfoque organizado que tenga en cuenta las necesidades específicas de la revisión, el alcance, la complejidad, un solo usuario o varias personas involucradas en el proceso, etc.

Dado que se basa en un estilo de pensamiento que se usa con regularidad, no requiere una capacitación extensa, también se presta para la participación grupal en la que pueden participar personas con amplia experiencia junto con personas menos experimentadas. Las preguntas, las consecuencias y el formato de acción recomendado de este enfoque también funcionan en un entorno de investigación donde la enseñanza es la misión principal. En lugar de simplemente recibir una lista de los requisitos a seguir para una actividad o experimento, los participantes que utilizan esta técnica adquieren una comprensión de las razones implícitas de los controles de ingeniería, las prácticas de trabajo y el EPP recomendado para una operación.

Esta técnica se puede utilizar para analizar PEO's existentes, que pueden tener modos de falla inherentes que aún no se han detectado. El uso de la pregunta *¿y si...?* en cada paso del PEO ayuda a identificar las fallas esperadas y reforzar los controles de riesgos en prácticas de trabajo y en uso de EPP. Sin embargo, se recomienda analizar los procesos y experimentos antes de realizar el trabajo y no después.

Una limitación del análisis de "qué pasaría si" es que se basa en tener la experiencia adecuada para hacer las preguntas correctas. Sin embargo, esta limitación también se aplica a otras técnicas de análisis de riesgos.

El proceso de revisión comienza cuando el investigador más familiarizado con el procedimiento experimental, guía al equipo a través de cada paso del proceso, junto con las pautas operativas preparadas. A medida que el equipo revisa la operación o el proceso se puede apoyar de la plantilla que se ilustra en la Tabla 6. Las preguntas "¿qué hacer si?" deberían relacionarse con cada paso del procedimiento experimental, teniendo en cuenta lo que puede suceder cuando el proceso avanza y también cuando ocurren desviaciones de los pasos experimentales.

El profesional o grupo de revisión emite juicios sobre la probabilidad y las consecuencias de las respuestas hipotéticas. Si la conclusión de la probabilidad y la consecuencia se considera inaceptable, se registra una recomendación de acción o investigación adicional. Una conclusión que se considere aceptable debe registrarse en el segmento de recomendación como "ninguna acción". A menos que se disponga de una solución obvia, a menudo es mejor indicar la necesidad de modificación y continuar con el resto de la revisión. Una vez que se completa la revisión de todo el proceso, el análisis se resume y prioriza.

Tabla 6.- Plantilla para análisis básico de peligro ¿Qué pasaría sí?				
Área:		Descripción de la operación:		Realizado por:
				Fecha:
¿Qué pasaría sí?	Respuesta	Probabilidad	Consecuencias	Recomendaciones
Tomado de (American Chemical Society , 2015)				

Las personas con experiencia en el diseño, en la operación, en el servicio y en la seguridad de equipos o instalaciones similares son esenciales y son la clave para llevar a cabo un análisis exitoso. El grupo de profesional de revisión avanza a través del proceso experimental, paso a paso y componente por componente, para determinar las posibles fuentes de errores y fallas.

Las preguntas sobre "Qué hacer si" debe incluir errores humanos de omisión, fallas en los componentes del equipo y desviaciones de la secuencia experimental planificada, que incluyen, la pérdida de servicios y otros cambios de parámetros críticos, como temperatura, presión, tiempo y caudal. Algunos ejemplos relacionados con los errores

humanos, que se deben asumir que ocurrirán, independientemente de la capacitación y la experiencia se describen en la Tabla 7.

Tabla 7.- Ejemplos relacionados con errores humanos para el análisis ¿Qué pasaría si?	
Material con alta concentración	Material con baja concentración
Válvula/ Llave de cierre no abierta	Válvula/ Llave de cierre no cerrada
Válvula abierta en secuencia incorrecta	Válvula cerrada en secuencia incorrecta
Purga de gas inerte omitida	Mezclar materiales no deseados
Tomado de (American Chemical Society , 2015)	

Adicionalmente, la mala disposición de las instrucciones o de la instrumentación y la mala comprensión, a menudo son un factor que contribuye a los errores humanos dando lecturas de datos perdidas o ignoradas, advertencias perdidas o ignoradas, o errores en el diagnóstico.

Por otro lado, el enfoque de este análisis se puede aplicar en otros factores tales como se describe en la Tabla 8.

Tabla 8.- Ejemplos relacionados con otros factores para el análisis ¿Qué pasaría si?	
Por la alimentación de energía	
¿Qué pasaría si?	Consideraciones a tomar
Perdida de energía	Apagado automático y energía de emergencia
La energía se restaura automáticamente después de la pérdida	Reinicios manuales
Se pierde la ventilación del laboratorio	Apagado automático, energía de emergencia y extractores mecánicos
Por el uso del equipo experimental o el equipo auxiliar	
¿Qué pasaría si?	Consideraciones a tomar
Sobrepresurización inesperada	Dispositivos y barreras de alivio de presión, y EPP
Cristalería se rompe durante la reacción	Control de derrames y EPP
Fallo de refrigeración del equipo	Alarmas, cierres automáticos y procedimientos de apagado de emergencia
Por el equipo de protección personal	
¿Qué pasaría si?	Consideraciones a tomar
Impactos al cuerpo con líquidos o sólidos	Barreras físicas
Exposición a vapores o gases	EPP y ventilación
Exposición a partículas respirables	Uso de métodos de control de contaminación húmedos, controles de ventilación y equipo de protección respiratoria.
Tomado de (American Chemical Society , 2015)	

5.3.1. What If? acoplado con el Análisis de Peligros de Operaciones (HazOp)

Un enfoque del análisis "What If?" se puede modificar para incluir preguntas sobre desviaciones en parámetros importantes y efectos de los eventos normales. Esto se conoce como un análisis HazOp (*Hazard and Operability*). La metodología HazOp incorpora desviaciones de las condiciones de diseño o de las actividades del PEO habitual mediante el desarrollo de preguntas adicionales, tales como:

- Si se suministra algo, ¿qué sucede si se pierde alimentación, calefacción, refrigeración, gas de purga, gas de inercia, agitación, etc.?
- Si se suministra algo, ¿qué sucede si tiene demasiado o muy poca calefacción, refrigeración, presión de gas, presión del sistema, vacío del sistema, etc.?
- Si tiene válvulas o llaves de paso, ¿qué sucede si se olvidó abrir o cerrar, o si se abrió o cerró en el momento o secuencia incorrecta?
- Si algo es incompatible con el experimento o proceso (aire, oxígeno, humedad, etc.), ¿qué sucede si se presenta?

Es decir, el uso de la metodología HazOp reduce la probabilidad de que el grupo de profesionistas de la revisión, omita algún peligro potencial y sus consecuencias. Las preguntas del HazOp agregan una evaluación hipotética cuando se presentan desviaciones del proceso usual. Como se muestra la Tabla 9 se incluyen los parámetros en un eje y palabras de guía en el otro eje.

Tabla 9.- Palabras guía de desviación HazOp para el análisis What If.							
Parámetros	Alto	Bajo	Ausencia	Reversible	De más	Partes de	Además de
Flujo	Flujo alto	Flujo bajo	Sin flujo	Flujo reversible	Material extra en la corriente	Flujo mal dirigido	Pérdida de control de flujo
Presión	Presión alta	Presión baja	Vacío	-----	Explosión	-----	-----
Temperatura	Temperatura alta	Temperatura baja	-----	-----	-----	-----	-----
Nivel	Nivel alto	Nivel bajo	Vacío	Perdida de contenido	-----	-----	Diferencia de nivel
Tiempo	Demasiado tiempo/ tarde	Poco tiempo/ antes de tiempo	Tiempo de espera perdido	-----	-----	-----	Tiempo incorrecto
Utilidades	Demasiado flujo, presión, etc	Perdida parcial de utilidades	Perdida completa	Alimentación de utilidades reversible	Utilidades contaminadas	-----	Conexión incorrecta de utilidades
Reacción	Reacción rápida	Reacción lenta	No hay reacción	Reacción reversible	Reacción inesperada	Reacción incompleta	Recipiente incorrecto
Cantidad	Demasiado adicionado	Menos adicionado	No adicionado	Material retirado	Químico adicional	-----	-----

Tabla 9.- Palabras guía de desviación HazOp para el análisis What If.							
Parámetros	Alto	Bajo	Ausencia	Reversible	De más	Partes de	Además de
Composición	-----	Impurezas o contaminantes	Pureza desconocida	-----	Contaminante adicionado	Contaminante presente	Químico incorrecto
Agitación	Mezclado rápido	Mezclado lento	Sin mezclado	Formación de fases	-----	-----	Pérdida de control de agitación
Fases	Formación de fase adicional	Perdida de fase	Perdida de todas las fases	Formación de emulsión	Formación Interfase	-----	-----
EPP	-----	Insuficiente EPP	Sin uso de EPP	-----	-----	Necesidad de EPP adicional	EPP incorrecto
Agente Inerte (AI)	Presión alta	Presión baja	Nada	Perdida de AI	-----	Falta de AI	-----

Tomado de (American Chemical Society , 2015)

Una vez que el grupo o profesional de revisión genera una lista de preguntas de “¿Qué pasa sí?” para la parte del proceso que se está revisando, se debe responder a la pregunta: "¿Cuál sería el resultado de esa situación?" Posteriormente se desarrolla una recomendación basada en la probabilidad y consecuencias. En algunos casos, donde la probabilidad es muy baja, las consecuencias no son graves y la acción para corregir la condición implicaría un costo y tiempo significativos, pudiéndose observar una respuesta de "no recomendación". En otros casos, la necesidad de una acción correctiva puede ser obvia.

5.4. Procedimiento Estándar de Operación

El desarrollo de un Procedimiento Estándar de Operación (*Standard Operating Procedures*, PEO) es un enfoque integral para evaluar los desafíos de seguridad presentados por un experimento u operación. Cada aspecto de un experimento debe pensarse de antemano para que se logre la identificación de los peligros y control de los riesgos en todos los pasos de una operación experimental. Cada paso se analiza por separado para identificar algún punto de falla. Posteriormente, se evalúan colectivamente para determinar que combinaciones de pasos podrían afectar la seguridad, y se revisan para tratar de predecir qué podría salir mal y evaluar el impacto de una falla de seguridad.

Este método de análisis puede usarse para cualquier actividad o análisis de experimentos donde se han identificado sustancias, equipos o procesos peligrosos. Una vez desarrollado el PEO, puede ser utilizado por cualquier integrante del laboratorio y se puede incorporar cualquier técnica de análisis de riesgos. Donde, las instrucciones están diseñadas para ayudar y planificar. Además, ayuda a resolver problemas en la seguridad

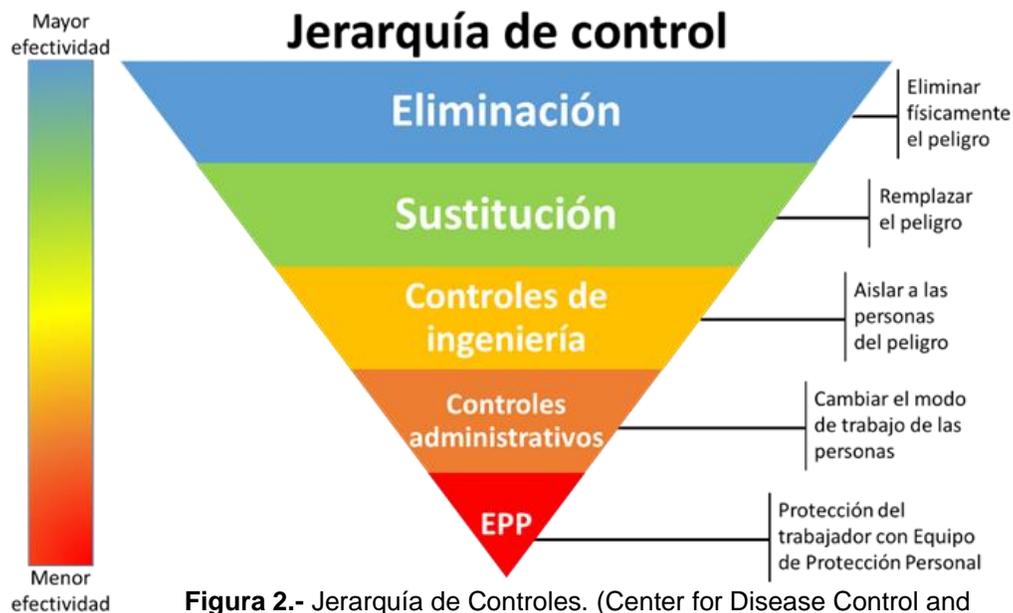
de la operación. Un ejemplo de una plantilla de PEO sugerido por la ACS se muestra en la Tabla 10.

Este procedimiento requiere una reevaluación de todos los pasos de un experimento cuando se realiza algún cambio; los integrantes del laboratorio con mayor experiencia tendrán más información sobre algunos aspectos de la evaluación de riesgos y producirán un mejor análisis de riesgos. (2)

Tabla 10.- Plantilla para la elaboración de un Procedimiento Estándar de Operación recomendado por la ACS					
Evaluar cada paso o tarea	Identificación de peligros (peligros conocidos y potenciales / restricciones y restricciones de seguridad)	Problemas específicos identificados	Evaluación de riesgos (¿Qué es más probable que salga mal / cuáles son las consecuencias más graves, incluso si es poco probable?)	Búsqueda de literatura y consulta con supervisores experimentados para las lecciones aprendidas.	Estrategias para eliminar, controlar o mitigar el peligro
Preocupaciones regulatorias;	-----	-----	-----	-----	-----
Factores humanos;					
Instalaciones;					
Materiales;					
Equipos y material de laboratorio;					
Procesos;					
Efecto del cambio en el diseño o las condiciones;					
Disponibilidad de EPP;					
Recursos de respuesta a emergencias					
Posibles puntos de falla o actividades rutinarias con alto riesgo de daño					
Tomado de (American Chemical Society , 2015)					

6. SELECCIÓN DE CONTROLES DE RIESGOS

El propósito de realizar una evaluación de riesgos, es determinar qué controles de riesgos se deben implementar para que las actividades se realicen de manera segura. Tradicionalmente, se ha utilizado una jerarquía de controles como un medio para determinar cómo implementar soluciones de control factibles y efectivas. Donde, si se controla el peligro, se tiene control del riesgo que conlleva éste. Una representación de esta jerarquía se muestra en la Figura 2. (3)



Cabe mencionar que la ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo indica que la jerarquía de los controles de riesgos pretende proporcionar un enfoque sistemático para aumentar la seguridad y salud en las actividades, eliminar los peligros, y reducir o controlar los riesgos. Cada control se considera menos eficaz que el anterior a él. Es habitual combinar varios controles para lograr reducir los riesgos a un nivel que sea tan bajo como sea razonablemente viable.

Dentro de las medidas que se pueden implementar en cada nivel esta Norma Internacional menciona lo siguiente: (17)

- **Eliminación:** suprimir los peligros; detener el manejo de sustancias químicas peligrosas; aplicar enfoques ergonómicos al planificar nuevos lugares de trabajo; eliminar el trabajo monótono o el trabajo que causa estrés negativo; eliminar las carretillas elevadoras en un área.

- **Sustitución:** reemplazar algo de mayor riesgo por otro de menor riesgo; combatir los riesgos para la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en su fuente; adaptarse al progreso técnico (por ejemplo, reemplazar pintura en base solvente por pintura en base agua; cambiar los revestimientos de suelo resbaladizos; bajar los requisitos de voltaje para los equipos).
- **Controles de ingeniería,** reorganización del trabajo, o ambos: aislar a las personas del peligro; implementar medidas de protección colectiva (por ejemplo, aislamiento, protección de máquinas, sistemas de ventilación); abordar la manipulación mecánica; reducir el ruido; proteger a las personas contra caídas de altura mediante el uso de barreras de seguridad; reorganizar el trabajo para evitar que las personas trabajen solas, con horas de trabajo o carga de trabajo no saludables.
- **Controles administrativos** incluyendo la formación: llevar a cabo inspecciones periódicas de los equipos de seguridad; llevar a cabo cursos de inducción, proporcionar instrucciones sobre la manera de informar sobre incidentes, cambiar los modelos de trabajo de los trabajadores (por ejemplo turnos); gestionar programas de vigilancia de la salud o médica para los trabajadores que han sido identificados en situación de riesgo (por ejemplo, relacionados con la audición, la vibración mano-brazo, trastornos respiratorios, trastornos de la piel o situaciones de exposición); entregar instrucciones apropiadas a los trabajadores.
- **Equipo de Protección Personal:** proporcionar el EPP adecuado, incluyendo la vestimenta y las instrucciones para la utilización y el mantenimiento del EPP (por ejemplo, calzado de seguridad; bata de algodón, gafas de seguridad; protección auditiva; guantes).

7. DISEÑO DEL ESTUDIO

Para el diseño de este estudio se realizaron los siguientes pasos, los cuales se muestran en la Figura 3.

1. Revisión bibliográfica y normativa: Se identificó, revisó, eligió e incluyó literatura que se aplicó en el desarrollo del estudio.
2. Se realizó una visita técnica a la Institución de Investigación con el responsable de la Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos (UMRP), para definir el alcance y las herramientas del estudio.
3. Se evaluó el Nivel de Seguridad Química de los laboratorios de la Institución de Investigación de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS.
4. Se hicieron observaciones generales de los controles de riesgos con base a la Normas Oficiales Mexicanas: NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-. Condiciones de seguridad; NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. y la NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.
5. Se identificó las operaciones generales realizadas en los laboratorios y posteriormente se elaboró los Procedimientos Estándar de Operación a las operaciones elegidas.
6. Se aplicó el análisis ¿Qué pasaría sí?, a las operaciones elegidas
7. Se hizo el análisis y discusión de resultados.
8. Se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones.

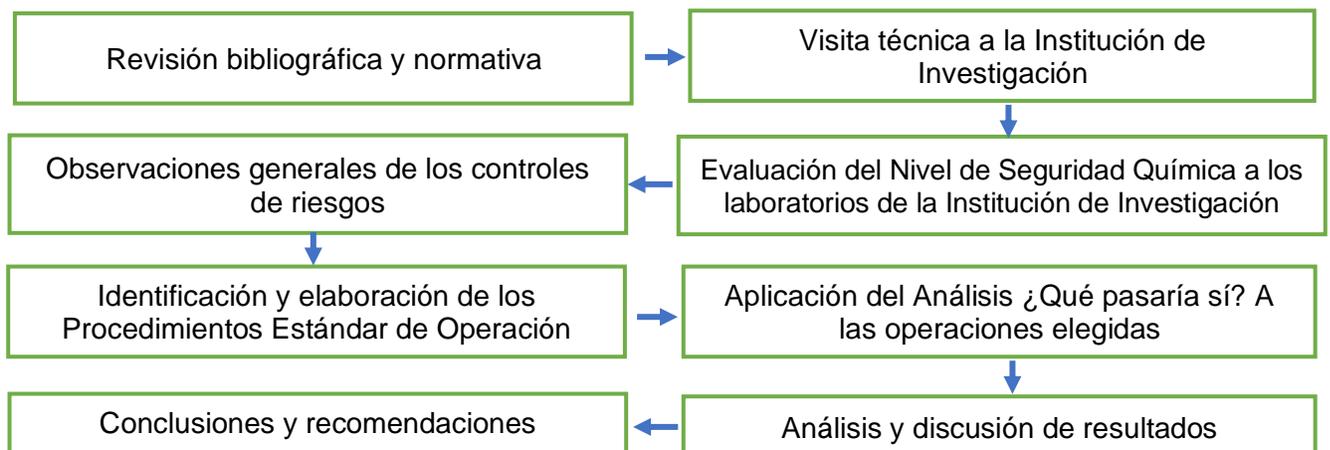


Figura 3.- Diseño del estudio

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1. Estructura de la Institución de investigación

La Institución de Investigación cuenta con cinco departamentos: Físicoquímica, Productos Naturales, Química de Biomacromoléculas, Química Inorgánica y Química Orgánica. Con un total de 41 laboratorios de investigación y, 16 laboratorios de servicios analíticos y una Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos. (22)

- Físicoquímica: Se desarrollan líneas de investigación que se centra en la química teórica y experimental. Los estudios teóricos en su mayoría se desarrollan en el campo de química cuántica y termodinámica.
- Productos Naturales: Este departamento en general aíslan y caracterizan varias sustancias químicas de diferentes familias de metabolitos secundarios tales como: flavonoides, alcaloides y terpenoides, entre otras.
- Química de Biomacromoléculas (antes Departamento de Bioquímica): Este departamento se enfoca en la determinación de estructuras de proteínas y de péptidos.
- Química Inorgánica: Este departamento tiene una variedad de líneas de investigación, entre las que se encuentran el desarrollo de catalizadores y síntesis de compuestos órgano-metálicos.
- Química Orgánica: Este departamento se enfoca en sintetizar compuestos novedosos, por su estructura química o por su actividad biológica, mediante el uso de nuevas metodologías o ya conocidas.

8.2. Descripción de la institución de investigación

Está conformado por cuatro edificios principales, dos cuartos de máquinas, una Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos (UMRP), entre otras instalaciones. En la Tabla 11 se muestra el uso, número de niveles e instalaciones que integran a la Institución de Investigación y en la Figura 4 un plano general de localización de los edificios e instalaciones. Dando un total de 124 instalaciones en la Institución de investigación

Tabla 11.- Descripción General de la Institución de Investigación			
Edificio	No. De Niveles	No. De instalaciones	Uso
A	2	40	Administrativo, investigación, docencia y servicios analíticos
B	2	28	Investigación, docencia y servicios de cómputo, analíticos y educativos
C	1	11	Investigación
D	2	39	Administrativo
Cuarto de máquinas y servicios A	1	1	Servicios auxiliares
Cuarto de máquinas y servicios B	1	1	Servicios auxiliares
Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos (UMRP)	1	1	Servicios auxiliares
Laboratorio de Espectrometría de Masas	1	1	Servicios analíticos
Planta de emergencia	1	1	Servicios auxiliares
Comedor	1	1	Servicio

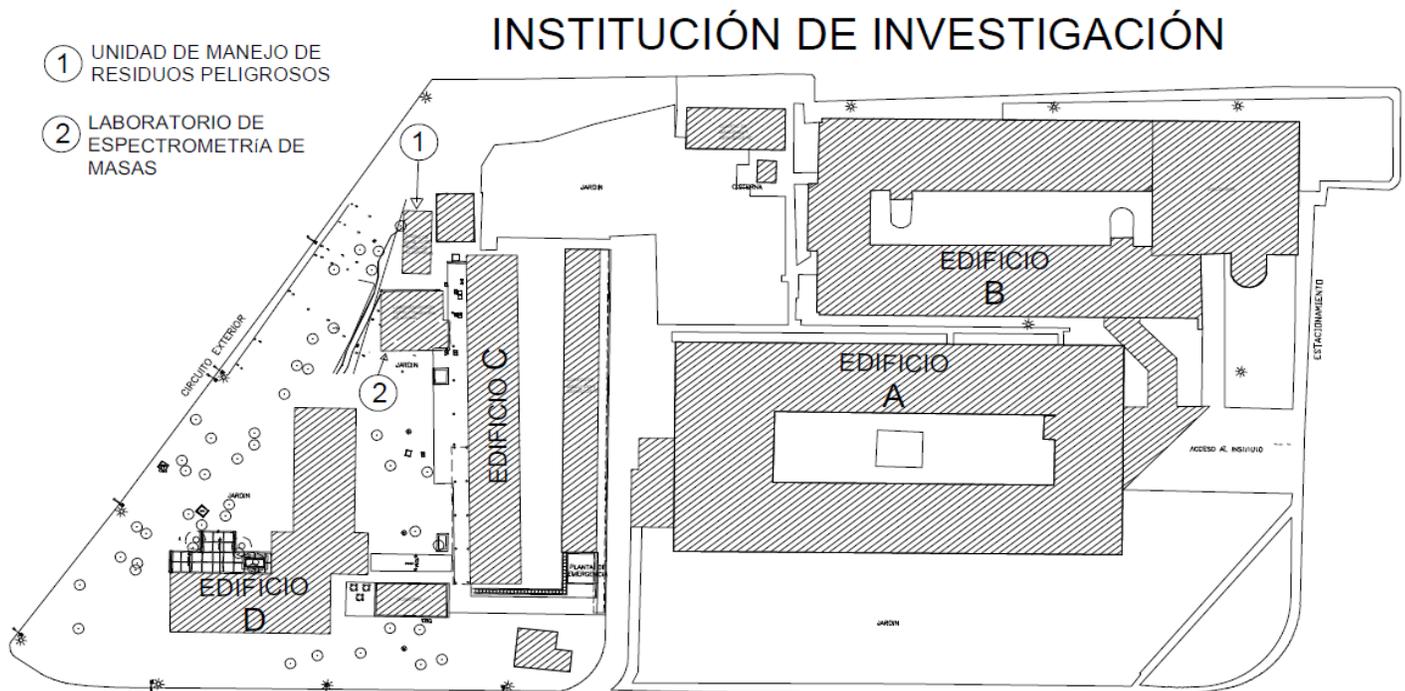


Figura 4.- Plano general de la Institución de Investigación

8.3. Nivel de Seguridad Química de los laboratorios de la Institución de Investigación de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS

De la visita técnica a la Institución de Investigación, la herramienta para evaluar el nivel de seguridad química a los laboratorios del Instituto de Investigación se empleó el Enfoque sugerido por la ACS. Dado que esta técnica es utilizada para guiar la evaluación y gestión de los riesgos químicos en el laboratorio de investigación, centrandose en un número limitado de medidas de control específicas. Además, es aplicable a los laboratorios de investigación que utilicen sustancias químicas y, a cualquier persona que ingrese y/o trabaje en el laboratorio. La asignación de un Nivel de Seguridad Química (NSQ) está influenciada por las características y los peligros de las sustancias, sus cantidades, los procesos químicos, las instalaciones y los controles de ingeniería disponibles.

Esta se evaluó con visitas a las instalaciones considerando los conceptos y descripciones que especifica el enfoque de la ACS. Se examinaron un total de 59 instalaciones, de las cuales se clasificaron en las siguientes áreas: laboratorios de investigación, laboratorios de servicios analíticos y UMRP, y servicios auxiliares (estos por la injerencia en los procesos de los laboratorios) de los cuales se aplicaron el NSQ a 57 instalaciones debido a que dos laboratorios están inhabilitados por proceso de asignación de investigador. En la Tabla 12 y Figura 5 se presentan los porcentajes de clasificación al tipo de áreas para este estudio.

Área	Subtotal	Porcentaje
Laboratorios de investigación	39	70
Laboratorios de servicios analíticos y UMRP	16	27
Servicios auxiliares (cuarto de hidrogenación, cuarto de disolventes)	2	3
Total	57	100

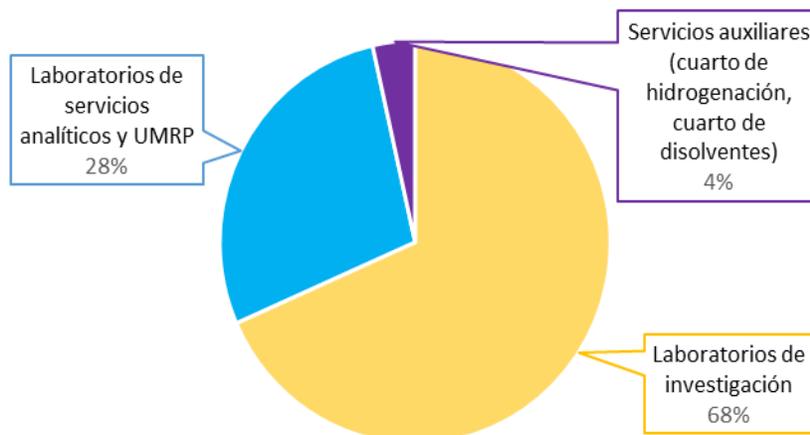


Figura 5.- Porcentaje de integración de áreas

Para determinar el NSQ, se integró una base de datos de las 57 áreas que se evaluaron bajo los conceptos por laboratorio: 1) concepto del nivel de peligro, 2) sustancias químicas, 3) requisitos de formación, 4) requerimientos de supervisión, 5) requisitos de vigilancia, 6) requisitos de planificación, 7) requisitos generales de EPP, 8) requisitos EPP específicos 9) requisitos generales de ventilación y 10) protocolo de respuesta de emergencia de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS, empleando la escala NSQ que va del 1 al 4, esta asignación se basa en un rango de peligros y su relación con un Nivel de Seguridad Química. Con estos resultados se obtuvo una evaluación específica por cada uno de los conceptos, posteriormente se calculó el “NSQ promedio” (que consistió en la suma de los puntos obtenidos por concepto y dividirlo por el total de conceptos evaluados) para obtener una visión general, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 13 y Figura 6.

Tabla 13.- Resultados de la evaluación de conceptos sugeridos por la ACS para cada área evaluada										
LABORATORIOS	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	LANCIC	LRM	LRMN	LEL
Promedio de criterios	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8
LABORATORIOS	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
Promedio de criterios	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
LABORATORIOS	2-11	2-12	LC 2	LI	LRX	LB 1	LB 2	LB 3	LB 8	LC 1
Promedio de criterios	3.9	3.9	3.4	3.4	3.8	3.5	3.5	3.5	3.6	3.2
LABORATORIOS	LPB	LANEM	LRP	LRMN	LB 4	LCG	LF	LRMN	LQ 1	L Q 2
Promedio de criterios	3.7	4	4	4	3.7	4	1.9	4	3.9	3.9
LABORATORIOS	LQ 3	LQ 4	LQ 5	LAR	LCI	1-C	2-C	3-C	4-C	5-C
Promedio de criterios	3.9	3.9	3.9	3.1	3.3	3.9	3.9	3.9		3.9
LABORATORIOS	6-C	7-C	UMRP	LRMN	LEM	2-4.1	LB 5	CH*	CD*	
Promedio de criterios	3.9		4	4	4	3.7	3.8	3.8	3.8	

*Servicios Auxiliares

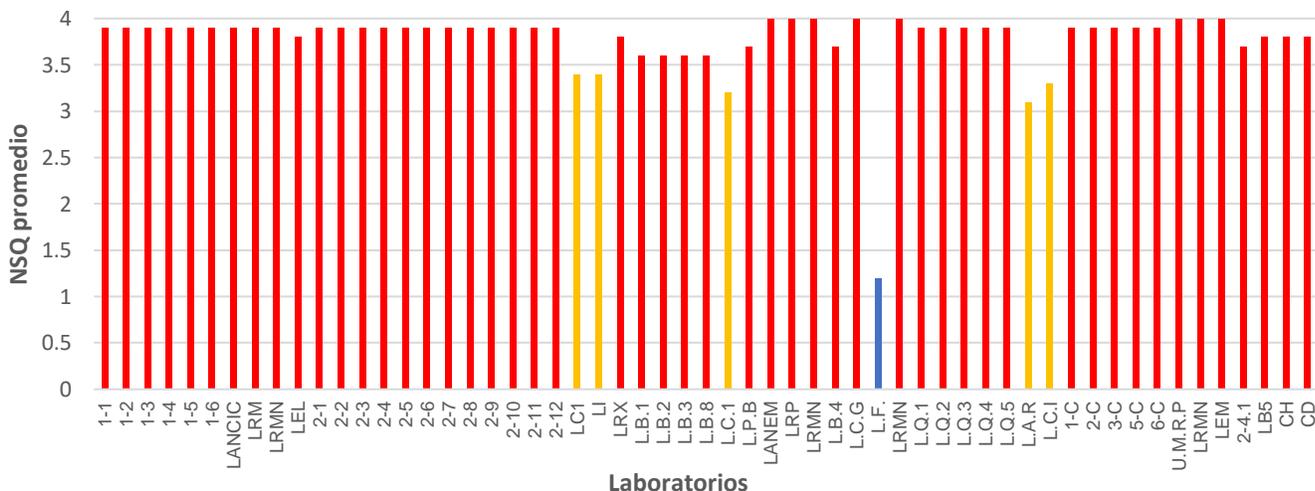


Figura 6.- Evaluación de conceptos sugeridos por la ACS para cada área evaluada

Como se observa en la Figura 6 la mayoría de las áreas evaluadas están por encima de un NSQ promedio de 3.5. Por lo que el siguiente paso consistió en desarrollar una escala proyectada del Nivel de Seguridad Química denominado NSQ Global, este consistió en la división de intervalos correspondiente a un 25%, de los cuatro niveles originales y asignándoles sus colores sugeridos respectivamente por la ACS

El Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Instituto de Investigación de acuerdo al enfoque sugerido por la ACS, muestra que el 2% de los laboratorios se encuentra en un NSQ 1, 0% en un NSQ 2, 9% en un NSQ 3 y 89% en un NSQ 4. Estos datos se muestran en la Tabla 14 y Figura 7. Esta información se integró en los planos arquitectónicos por edificio los cuales se pueden consultar en el Anexo.

Tabla 14.- Porcentaje general del Nivel de Seguridad Química (NSQ)				
Escala proyectada (promedio) a la de ACS	1.0 – 1.7	1.8 –2.6	2.7 – 3.5	3.6 – 4.0
Escala NSQ Global	1	2	3	4
Laboratorios de investigación	3	0	13	84
Laboratorios de servicios analíticos y UMRP	0	0	19	81
Servicios auxiliares (cuarto de hidrogenación, cuarto de disolventes)	0	0	0	100
Porcentaje general	2	0	9	89

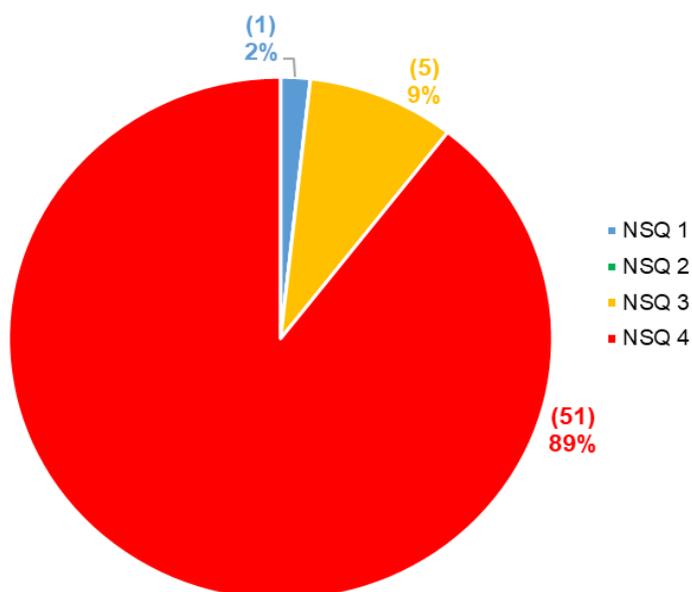


Figura 7.- Porcentaje general del NSQ de la Institución de Investigación

Por otra parte, un análisis enfocado al cálculo por concepto como se observa en la Tabla 15 y Figura 8, se presentó bajo la descripción del concepto de Nivel de Peligro que el 82% de los laboratorios de la Institución de Investigación manejan sustancias químicas peligrosas de alto riesgo con operaciones y procedimientos no establecidos, es decir tienen un NSQ 4 por este concepto. Por otra parte, se observó que un 14% de los laboratorios se encuentran en un NSQ 2, es decir el concepto del Nivel de Peligro es equivalente al de los laboratorios de enseñanza.

Acercas del concepto de sustancias químicas el 21% de los laboratorios resultó en un NSQ 3 amarillo, esto derivado del Inventario de sustancias típicas para un laboratorio de investigación y así mismo el 75% de los laboratorios se encuentran en un NSQ 4, es decir, algunos o todos sus procesos emplean sustancias químicas peligrosas como sustancias pirofóricas, reactivas al aire/ agua, sustancias potencialmente explosivas y/o sustancias altamente tóxicas (en cualquier estado de la materia).

El siguiente concepto, requisitos de formación, donde el 75% de los laboratorios se encuentran en un NSQ 3, esto indica los riesgos del laboratorio requieren capacitación de seguridad específica en el empleo de sustancias químicas peligrosas y el 25 % de los laboratorios se localizan en un NSQ 4, quiere decir que son de acceso restringido al laboratorio. Esto se debe a que existen equipos que, por su función, como el caso del Laboratorio de Laser, no tengan acceso al área si no se emplea el EPP específico y acompañado del responsable del área.

Esto de igual manera se ve reflejado en el concepto de requerimientos de supervisión, al obtener que un 96% de los laboratorios se encuentra en un NSQ 4, de esto se describe que toda actividad debe desarrollarse con la presencia de al menos una persona responsable y capacitada.

A su vez el resultado obtenido bajo el concepto de vigilancia enfocado a la revisión institucional de las operaciones de laboratorio, se obtuvo que el 93% de los laboratorios deben realizarse actividades de inspección, así como, auditorias derivadas de los trabajos del programa de certificación y seguridad.

En cuanto a los requisitos generales de planificación el 96% de los laboratorios se consideró que deben tener los procedimientos escritos que incluyan protocolos de seguridad y estos a su vez deben ser revisados por el investigador responsable, así como el Área de Prevención de Riesgos y Seguridad de Productos Químicos.

Para el concepto de requisitos generales de EPP el 89% de los laboratorios se enfocan en un NSQ 4, deben de hacer uso de EPP de ojos, uso de batas de algodón y calzado resistente al fuego, que coincide con el 89% de EPP específico como guantes de nitrilo de alta densidad entre otros, por las características de las actividades de la institución.

Posteriormente el concepto de requisitos generales de ventilación se integró en un solo concepto los requisitos generales de ventilación, y los controles de ingeniería, enfocados principalmente a las campanas de extracción, dando como resultado que un 89% de los laboratorios se localizan en un NSQ 4.

Finalmente, el 89% de los laboratorios del enfoque a los protocolos de respuesta de emergencia institucional específico; es derivada de la planificación previa específica requerida, por las características de los procesos de investigación que se desarrollan y por lo tanto el 9% requiere de los protocolos de respuesta, general institucional, cabe mencionar que la institución de investigación cuenta con protocolos generales.

Tabla 15.- Porcentaje de conceptos contra NSQ

CONCEPTO	NSQ 1	NSQ 2	NSQ 3	NSQ 4
CONCEPTO DEL NIVEL DE PELIGRO	2	14	2	82
SUSTANCIAS QUÍMICAS	0	4	21	75
REQUISITOS DE FORMACIÓN	2	0	75	23
REQUERIMIENTOS DE SUPERVISIÓN	2	0	2	96
REQUISITOS DE VIGILANCIA	0	2	5	93
REQUISITOS DE PLANIFICACIÓN	2	0	2	96
REQUISITOS GENERALES DE EPP	2	0	9	89
REQUISITOS EPP ESPECÍFICOS	2	0	9	89
REQUISITOS GENERALES DE VENTILACIÓN	2	0	9	89
PROTOCOLO DE RESPUESTA DE EMERGENCIA	2	0	9	89

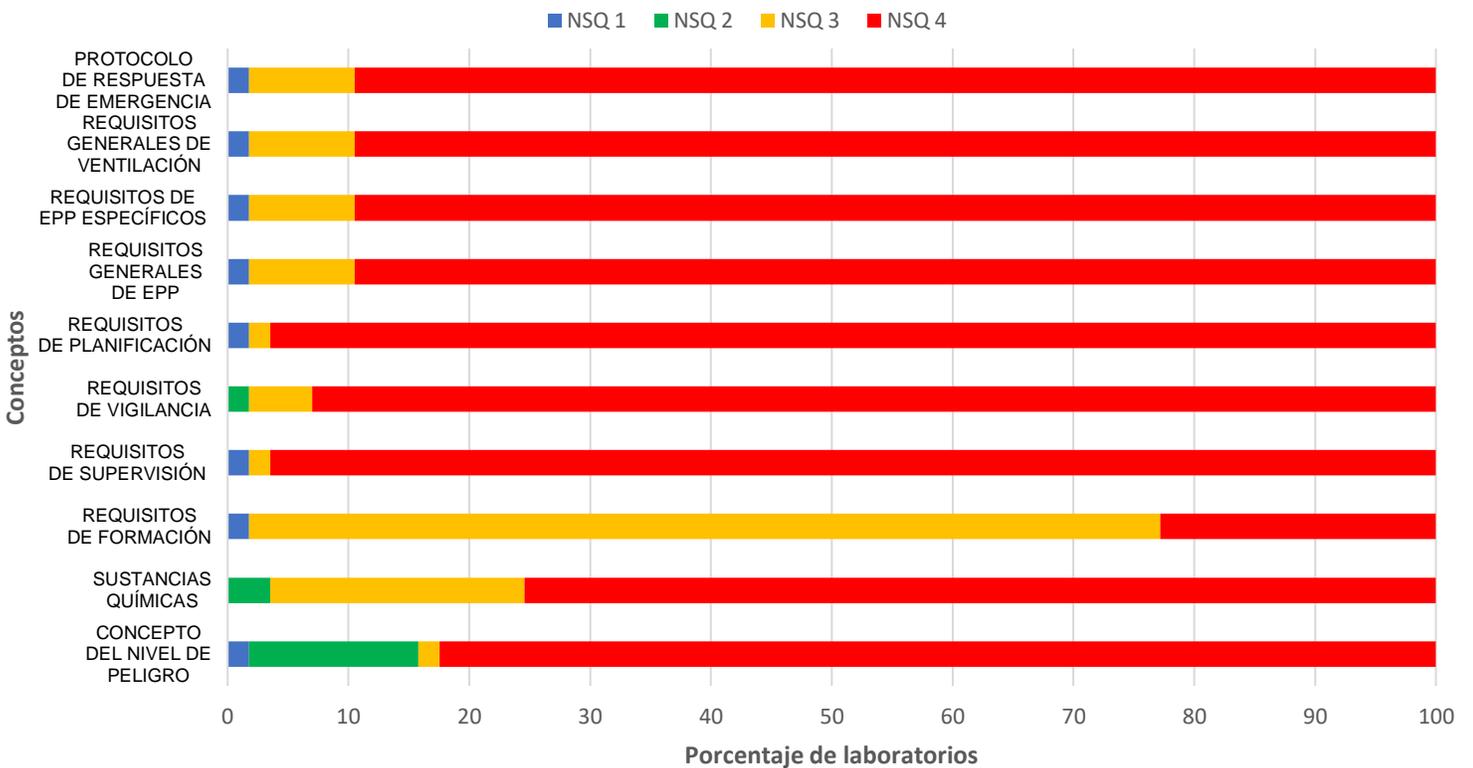


Figura 8.- Porcentaje de conceptos del NSQ evaluados a laboratorios

8.4. Observaciones generales de los controles de riesgos con base algunas Normas Oficiales Mexicanas

Una vez obtenidos los datos anteriores, se determinó que controles de riesgos se deben aplicar y observar en las instalaciones de los laboratorios. Para esto, con apoyo de algunas Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) que se describen de manera general a continuación:

NOM-001-STPS-2008: Contar con orden y limpieza permanentes en las áreas de trabajo. Las escaleras, rampas y escaleras manuales deben mantenerse en condiciones tales que eviten que el trabajador resbale al usarlas. (11)

NOM-002-STPS-2010: Contar en las áreas de los centros de trabajo clasificadas con riesgo de incendio ordinario, con medios de detección y equipos contra incendio, y en las de riesgo de incendio alto, además de lo anteriormente señalado, con sistemas fijos de protección contra incendio y alarmas de incendio, para atender la posible dimensión de la emergencia de incendio, mismos que deberán ser acordes con la clase de fuego que pueda presentarse. (14)

NOM-017-STPS-2008: Determinar el equipo de protección personal, que deben utilizar los trabajadores en función de los riesgos de trabajo a los que puedan estar expuestos por las actividades que desarrollan o por las áreas en donde se encuentran. (12)

NOM-026-STPS-2008: Garantizar que la aplicación del color, la señalización y la identificación de la tubería estén sujetos a un mantenimiento que asegure en todo momento su visibilidad y legibilidad. Ubicar las señales de seguridad e higiene de tal manera que puedan ser observadas e interpretadas por los trabajadores a los que están destinadas, evitando que sean obstruidas o que la eficacia de éstas sea disminuida por la saturación de avisos diferentes a la prevención de riesgos de trabajo. (13)

Con apoyo de estas Normas Oficiales Mexicanas se realizaron las observaciones generales de los controles de riesgos en los laboratorios, cabe mencionar que existen otras NOM's que son de aplicación obligatoria, pero se excluyen con la finalidad de hacer práctico la observación de controles de riesgos. Las observaciones se muestran en la Tabla 16, pero se sugiere una evaluación detallada.

Normas Oficiales Mexicanas	Observación de los controles de riesgos en la institución de Investigación
NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-. Condiciones de seguridad	En general se observó con orden y limpieza en las áreas de trabajo. Las escaleras, rampas y escaleras manuales se mantienen en condiciones tales que se evitan que se resbalen al usarlas.
NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo	En general se observó que las áreas cuentan, con equipos contra incendio, además, con sistemas fijos de protección contra incendio, y equipo para atender la emergencia de incendio,
NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.	En general se observó el uso de EPP en función de los riesgos que puedan estar expuestos por las actividades que desarrollan o por las áreas en donde se encuentran
NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.	En general se observó la aplicación del color, señalización e identificación de la tubería y que están sujetas a un mantenimiento que asegura en todo momento su visibilidad y legibilidad. Por otro lado, las señales de seguridad e higiene pueden ser observadas para lo que están destinadas

Estas NOM's se pueden asociar con la jerarquía de controles como se muestra en la tabla 17. A pesar de la relación con la jerarquía de controles ninguna norma es más importante que otra ya que como se menciona es habitual combinar varios controles para reducir los riesgos.

	Eliminación	Sustitución	Controles de ingeniería	Controles administrativos	Equipo de Protección Personal
NOM-001-STPS-2008	X	X		X	
NOM-002-STPS-2010	X		X	X	X
NOM-017-STPS-2008				X	X
NOM-026-STPS-2008				X	

8.5. Identificación de las operaciones generales realizadas en los laboratorios y elaboración de los Procedimientos Estándar de Operación y aplicación del análisis ¿Qué pasaría si? a operaciones elegidas.

Por ello como parte de los controles de riesgo se realizó una lista de operaciones y su uso común derivado del recorrido de los laboratorios de la institución de investigación como se muestra en la Tabla 18. Para esta actividad solo se consideraron los laboratorios de investigación, laboratorios de servicios analíticos y la Unidad de Manejo de Residuos Peligrosos (UMRP) y los servicios auxiliares. Dando un total de 57 laboratorios.

Tabla 18.- Lista de operaciones y su empleo en los laboratorios de la institución de investigación		
Operaciones	No. De Laboratorios	%
Destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor	29	51
Reacción química en sistema de atmosfera inerte	20	35
Cromatografía en columna a presión	26	46
Calentamiento a reflujo en aceite o canastilla	20	35
Extracción de compuestos con disolventes halogenados	28	49
Empleo de sustancias corrosivas	18	32
Neutralización de ácidos y bases	24	42
Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética	34	60
Secado de sustancias en mufla	10	18
Transvase de líquido criogénico; N₂	24	42
Transferencia de gas; CO	4	7
Transferencia de gas; H₂	8	14
Transferencia de gas; N₂	34	60
Destilación de disolventes	24	42
Secado de THF con Na°	15	26
Horno o estufa para secar materiales	24	42
Síntesis de compuestos con sustancias pirofóricas	17	30

De la Tabla 18 se observa que tres operaciones son empleados en más del 50% de los laboratorios de la institución de investigación las cuales son: Destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor, Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética y Transferencia de gas; N₂. Debido a que, en su mayoría de estas operaciones no cuentan con un Procedimiento Estándar de Operación por escrito. Se realizaron los PEO's (ver Tablas 19, 21 y 23) para evaluar los desafíos de seguridad

presentados por las operaciones realizadas e identificar los peligros asociados a las actividades de estas tres operaciones como lo recomienda la ACS. Adicionalmente se integra el análisis ¿Qué pasaría si? (Ver Tablas 20,22 y 24) con la finalidad de hacer una revisión avanza a través de la operación, revisar paso a paso y componente por componente, para determinar las posibles fuentes de errores y fallas. Además de que este análisis puede ser realizado por un individuo, ayuda a reforzar los controles de riesgos y, una buena elección y uso de los EPP's en las operaciones. Estos resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 19.- Procedimiento Estándar de Operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor	
Título	Procedimiento Estándar de Operación para Destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor
Número de estándar	
Fecha de emisión	
Autor	Felipe Martinez Alvarado
Aprobado por:	
Tabla de contenido	Descripción
Definiciones y abreviaturas	Institución de Investigación Líquido Inflamable: Es un líquido que tiene un flash point igual o menor a 37.8°C (310.85 K) y tiene una presión máxima de 2068 mmHg (2.75 bar, presión absoluta de 40 psi) a 37.8°C. Flash Point: La temperatura mínima a la cual un líquido o un sólido emite suficientes vapores para formar una mezcla inflamable (de ignición) con el aire cerca de la superficie del líquido o sólido en un recipiente cerrado.
Propósito y alcance del procedimiento estándar de operación	Este procedimiento estándar está dirigido a los alumnos o investigadores que desean realizar operaciones que involucren el manejo de disolventes inflamables.
Resumen	En este procedimiento estándar se encontrará información referente a hexano y su destilación en el equipo conocido como rotavapor. Se enuncia de manera concisa el manejo del equipo de rotavapor y las precauciones que se deben tener en cuenta en el manejo de hexano.
Propiedades Físico-Químicas 	El hexano o n-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Su forma química es C ₆ H ₁₄ . Se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico a disolvente. Es poco soluble en agua, pero se mezcla bien con los disolventes orgánicos apolares como el alcohol, el éter o el benceno Umbral olfativo: No hay datos pH: No Aplica Densidad (15.6°C): 0.677 g/cm ³ Presión de vapor (37.8°C): 5.6 psi Punto ebullición (@ 1 atm): 63°C-69°C Punto de inflamación: -26°C Peso Molecular (g/mol): 28.01 Temperatura de autoignición: 258°C

Tabla 19.- Procedimiento Estándar de Operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor

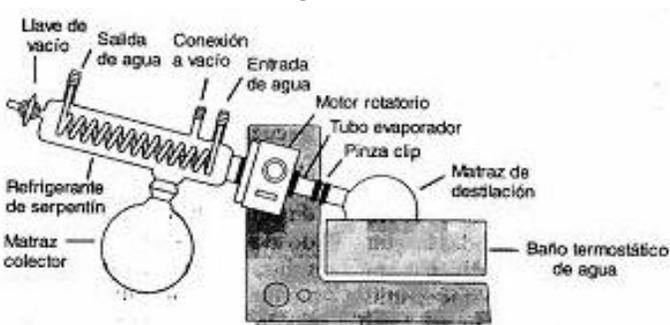
Título	Procedimiento Estándar de Operación para Destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor
<p>Peligros físicos, para la salud y el medio ambiente</p>	<p>Peligros físicos Líquido y vapores inflamables. Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. Peligros para la salud Inhalación: Irritante de las membranas de la mucosa del aparato respiratorio superior. Altas concentraciones pueden producir asfixia. La exposición aguda puede causar narcosis, náuseas leves, cefalea y somnolencia. Contacto con la piel: Causa irritación cutánea. El contacto frecuente o prolongado puede producir sequedad o agrietamiento Peligros para el medio ambiente Biodegradabilidad en 28 días</p>
<p>Controles de exposición/equipo de protección personal</p>	<p>Uso de gafas para laboratorio, bata, ropa adecuada para trabajo en laboratorio y zapatos cerrados</p>
<p>Controles de ingeniería</p>	<p>Ventilación requerida</p>
<p>Interferencias/precauciones a considerar</p>	<p>Recinto con baja ventilación. Fuentes de ignición o chispa. Agentes oxidantes y reductores fuertes.</p>
<p>Primeros auxilios</p>	<p><i>Evite la exposición al producto, tomando las medidas de protección adecuada. Por inhalación Traslade a la víctima y procúrele aire limpio. Manténgala en calma. Si no respira, suminístrele respiración artificial. Llame al médico. Ingestión: NO INDUZCA EL VÓMITO. Enjuague la boca con agua. Nunca suministre nada oralmente a una persona inconsciente</i></p>
<p>Manipulación y almacenamiento</p>	<p><i>Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación.</i> Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada. Proteger del sol. No fumar, soldar o hacer cualquier trabajo que pueda producir llamas o chispas en el área de almacenamiento. Manténgase lejos de oxidantes fuertes</p>
<p>Liga de consulta de ficha de datos de seguridad</p>	<p>http://www.gtm.net/images/industrial/h/HEXANO.pdf</p>
<p>Equipo y suministros</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rotavapor 2. Sistema de recirculación y bombeo del refrigerante 3. Disolvente orgánico 4. 2 matraz de bola
<p>Procedimiento</p>	<p style="text-align: center;">Manual de uso de rotavapor</p> <p>Paso 1: Montar el rotavapor de acuerdo a su manual. El rota vapor debe quedar de manera similar a la figura 1</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">Figura 1.- Montaje de rotavapor</p> <p>Paso 2: Verter el líquido inflamable al matraz de bola de destilación; no más de 3/4 partes de la capacidad del matraz.</p>

Tabla 19.- Procedimiento Estándar de Operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor

Procedimiento Estándar de Operación para Destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor	
Título	
	<p>Paso 3: Montar el matraz al tubo de evaporador y asegurarlo con la pinza clip.</p> <p>Paso 4: Nivelar el motor rotatorio hasta que el matraz este sumergido en el baño de calentamiento</p> <p>Paso 5: Verificar que la llave de vacío esté cerrada, que la manguera esté conectada al vacío y la válvula de vacío este abierto.</p> <p>Paso 6: Verificar que el líquido refrigerante este recirculando y el matraz recolector este acoplado y asegurado.</p> <p>Paso 7: Encender el motor para comenzar con la agitación y ajustar a la temperatura recomendada.</p> <p>Paso 8: Una vez destilado el disolvente (líquido inflamable); apagar el motor y el baño de calentamiento.</p> <p>Paso 9: Levantar el matraz y abrir la llave de vacío para desmontar el matraz.</p> <p>Paso 10: El disolvente destilado ponerlo en un recipiente destinado para desechos.</p> <p>Paso 11: recuperar el producto deseado.</p>
Tratamiento de residuos	<i>Los residuos se deben verter en un recipiente para su posterior disposición</i>
Referencias bibliográficas	https://heidolph-instruments.com/documents/operation%20manuals/rotary%20evaporator/Operation-Manual-Rotary%20Evaporator-Hei-VAP-Core.pdf

Tabla 20.- Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación para destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor

Departamento: Química Inorgánica	Descripción de la operación: destilación a presión reducida de líquidos inflamables en rota vapor			Fecha:
¿Qué pasa si?	Respuesta	Probabilidad	Consecuencias	Recomendaciones
No se conecta el rotavapor al vacío	No se destila el disolvente	Moderada	Pérdida de tiempo	Verificar conexión al vacío
El sello de seguridad para el matraz recolector no se coloca bien.	a) No se sostiene el Matraz. Posible caída del recolector	Moderada	Perdida de material	Verificar el sello de seguridad
	b) El líquido inflamable alcanza una fuente de ignición	Moderada	Fuego	Tener un extintor al alcance
Se trabaja con agua a una temperatura mayor de 90°C	a) Ebullición del agua, se puede proyectar gotas de agua.	Moderada	Quemaduras en la piel.	Trabajar en una parrilla de calentamiento
	b) Ebullición violenta del hexano, posible explosión del matraz	Moderada	Daños al usuario	Verificar el control de temperatura
Ocurre un sismo durante la operación	Se puede caer el equipo, derramar la mezcla inflamable y esta alcanzar una fuente de ignición.	Moderada	Fuego y pérdida de material	Cortar la energía eléctrica.

Tabla 21.- Procedimiento Estándar de Operación para agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética

Título	Procedimiento Estándar de Operación para Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética
Número de estándar	
Fecha de emisión	
Autor	Felipe Martinez Alvarado
Aprobado por:	
Tabla de contenido	Descripción
Definiciones y abreviaturas	Institución de Investigación Líquido inflamable: es un líquido que tiene un flash point igual o menor a 37.8°C (310.85 K) y tiene una presión máxima de 2068 mmhg (2.75 bar, presión absoluta de 40 psi) a 37.8°C. Flash point: la temperatura mínima a la cual un líquido o un sólido emite suficientes vapores para formar una mezcla inflamable (de ignición) con el aire cerca de la superficie del líquido o sólido.
Propósito y alcance del procedimiento estándar de operación	Este procedimiento estándar está dirigido a los alumnos o investigadores que desean realizar operaciones que involucren el empleo de parrilla de agitación magnética
Resumen	En este procedimiento se encontrará información referente al equipo conocido como parrilla de agitación magnética. Se enuncia de manera concisa el empleo de la parrilla de agitación magnética y las precauciones que se deben tener en cuenta en el manejo de hexano.
Propiedades Físico-Químicas 	El hexano o n-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Su forma química es C ₆ H ₁₄ . Se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico a disolvente. Es poco soluble en agua, pero se mezcla bien con los disolventes orgánicos apolares como el alcohol, el éter o el benceno Umbral olfativo: no aplica pH: no aplica Densidad (15.6°C): 0.677 g/cm ³ Presión de vapor (37.8°C): 5.6 psi Punto ebullición (@ 1 atm): 63°C-69°C Punto de inflamación: -26°C Peso molecular (g/mol): 28.01 Temperatura de autoignición: 258°C
Peligros físicos, para la salud y el medio ambiente	Peligros físicos: Líquido y vapores muy inflamables. Mantener alejado del calor, superficies calientes, chispas, llamas al descubierto y otras fuentes de ignición. Peligros para la salud: Inhalación: irritante de las membranas de la mucosa del aparato respiratorio superior. Altas concentraciones. Pueden producir asfixia. La exposición aguda puede causar narcosis, náuseas leves, cefalea y somnolencia. Contacto con la piel: causa irritación cutánea. El contacto frecuente o prolongado puede producir sequedad o agrietamiento Peligros para el medio ambiente: Biodegradabilidad del 98% en 28 días
Controles de exposición/equipo de protección personal	Uso de gafas para laboratorio, guantes de nitrilo, bata de algodón, ropa adecuada para trabajo en laboratorio.
Controles de ingeniería	Ventilación requerida
Interferencias/precauciones a considerar	Recinto con baja ventilación. Fuentes de ignición o chispa.
Primeros auxilios	<i>Evite la exposición al producto, tomando las medidas de protección adecuada.</i>

Tabla 21.- Procedimiento Estándar de Operación para agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética	
Título	Procedimiento Estándar de Operación para Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética
Manipulación y almacenamiento	<i>Prohibido comer, beber o fumar durante su manipulación.</i> Almacenar en un área limpia, seca y bien ventilada. Proteger del sol. No fume, suelde o haga cualquier trabajo que pueda producir llamas o chispas en el área de almacenamiento. Manténgase lejos de oxidantes fuertes
Liga de consulta de ficha de datos de seguridad	http://www.gtm.net/images/industrial/h/hexano.pdf
Equipo y suministros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Parrilla de agitación 2. Matraz Erlenmeyer 3. Barra magnética de agitación
Procedimiento	<p>Manual de uso de parrilla de agitación magnética.</p> <p>Paso 1: agregar el disolvente al matraz Erlenmeyer sin superar el 80% de su capacidad</p> <p>Paso 2: montar el sistema de manera similar como se muestra en la Figura 1. verificar que la parrilla este ubicada en una superficie nivelada, estable y con ventilación, colocarla en una campana de ventilación.</p>  <p>Figura 1.- Sistema de agitación</p> <p>Paso 3: colocar la barra magnética adentro del matraz.</p> <p>Paso 4: elegir la velocidad y temperatura adecuada para la agitación y calentamiento del contenido.</p> <p>Paso 5: una vez concluido la operación, verter los residuos en sus correspondientes depósitos.</p>
Tratamiento de residuos	Llevar los residuos separados y clasificados a la unidad de manejo de residuos peligrosos
Referencias bibliográficas	https://archive-resources.coleparmer.com/Catalog_pdfs/PDF_CP/JZ_0021.pdf

Tabla 22.- Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación de agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética

Departamento: Química Inorgánica	Descripción de la operación: Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética			Fecha:
¿Qué pasa sí?	Respuesta	Probabilidad	Consecuencias	Recomendaciones
Se llena el matraz en su totalidad	Derrame del disolvente orgánico al activar la agitación	Moderada	Exposición de vapores	Usar polvo para derrames
Hay derrame de disolvente	Puede alcanzar una fuente de ignición	Moderada	Fuego	Tener al alcance un extintor o manta contra incendio

Tabla 22.- Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación de agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética

Departamento: Química Inorgánica		Descripción de la operación: Agitación y calentamiento de un disolvente orgánico en parrilla de agitación magnética		Fecha:
¿Qué pasa sí?	Respuesta	Probabilidad	Consecuencias	Recomendaciones
No hay ventilación y/o campana de extracción	Los vapores se acumulan y alcanzan una fuente de ignición	Alta	Fuego	Usar la campana de extracción
Ocurre un sismo durante la operación	Puede caerse el matraz y haber un derrame	Moderada	Perdida de material	Apagar el suministro de energía

Tabla 23.- Procedimiento Estándar de Operación para transferencia de gas: nitrógeno (N₂)

Título	Procedimiento Estándar de Operación para Transferencia de gas: nitrógeno gas (N ₂)
Número de estándar	
Fecha de emisión	
Autor	Dr. Manuel Amézquita Valencia*
Aprobado por:	
Tabla de contenido	Descripción
Definiciones y abreviaturas	N ₂ : Nitrógeno. Institución de Investigación PSI: Libras por pulgadas cuadradas. Bar: Unidad de presión equivalente a 0.9869 atmósferas.
Propósito y alcance del procedimiento estándar de operación	Este procedimiento estándar está dirigido a los alumnos o investigadores que desean realizar operaciones que involucren altas o bajas presiones de Nitrógeno (N ₂). Específicamente, reacciones que se lleven a cabo en atmosfera inerte.
Resumen	En este procedimiento estándar se encontrará información referente respecto al Nitrógeno (N ₂) y su uso en sistemas inertes que se lleven a cabo en reacciones. Se enuncia de manera concisa el manejo del equipo de carga de N ₂ y las precauciones que se deben tener en cuenta en el manejo de N ₂ gas.
Propiedades físico-químicas 	El nitrógeno en condiciones normales forma un gas diatómico (nitrógeno diatómico o molecular) que constituye del orden del 78 % del aire atmosférico. Es un gas incoloro, inodoro y sin sabor, no tóxico y casi totalmente inerte. Es un gas no inflamable y sin propiedades comburentes. Por su escasa actividad química, es usado como protección inerte contra contaminación atmosférica en muchas aplicaciones en que no se presentan altas temperaturas. Como gas criogénico se puede obtener temperaturas del orden de 78 K de forma sencilla y económica. Umbral olfativo: No Aplica pH: No Aplica Punto de fusión/Congelación (@ 1 atm): -209 °C Punto ebullición (@ 1 atm): -195 °C Punto de inflamación: No Aplica Peso Molecular (g/mol): 28.01 Temperatura crítica: -150 °C Presión crítica: 3390 kPa (491.67 PSI)

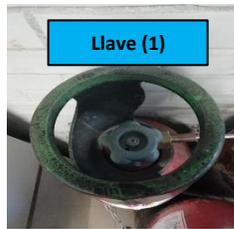
Tabla 23.- Procedimiento Estándar de Operación para transferencia de gas: nitrógeno (N₂)	
Título	Procedimiento Estándar de Operación para Transferencia de gas: nitrógeno gas (N₂)
Peligros físicos, para la salud y el medio ambiente	<p>Peligros físicos Gas a presión. Mantenerlo alejado de fuentes de calor, chispas, llamas abiertas o superficies calientes.</p> <p>Peligros para la salud Puede desplazar al oxígeno y causar asfixia, principalmente en recintos con baja ventilación.</p> <p>Peligros para el medio ambiente No Aplica</p>
Controles de exposición/equipo de protección personal	Uso de gafas para laboratorio, bata, ropa adecuada para trabajo en laboratorio.
Controles de ingeniería	Ventilación requerida
Interferencias/precauciones a considerar	Recinto con baja ventilación. Eventualmente un aumento de la temperatura exterior puede aumentar la presión interna del cilindro.
Primeros auxilios	<p>En caso de fuga identifique el problema si es posible. Cierre la llave del tanque, abra todas las ventanas del lugar incluyendo las puertas y espere hasta la evacuación total del gas.</p> <p>Si no identifica el problema, abra ventanas y puertas y desaloje el lugar.</p> <p>En caso de fuego, cierre la llave y retírese del lugar. De ser posible alejar el tanque de N₂ del foco de incendio.</p> <p>En caso de explosión llame a los números de emergencia. En caso de ser necesario retirar rápidamente a la persona de la zona contaminada, llevar al aire fresco, mantener en reposo y abrigada y aplicar inmediatamente respiración artificial, e incluso oxígeno si se dispone de él. Requerir intervención médica urgente o transportar a un centro médico.</p>
Manipulación y almacenamiento	<p>Los cilindros a alta presión se deben mantener alejados de cualquier fuente de calor.</p> <p>Almacenar en un lugar ventilado.</p>
Liga de consulta de ficha de datos de seguridad	<p>https://grupoinfra.com/librerias/descargas/15367075761518297626.pdf</p> <p>http://www.praxair.com.mx/-/media/corporate/praxair-mexico/documents/safety-data-sheets/nitrogeno-hds-p4631-2015.pdf?la=es-mx&rev=fe5abf8c0412424d8202a217d7c1fda9</p>
Equipo y suministros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tanque de nitrógeno gas. 2. Manguera con alma de acero y acople de acero para trabajo a altas presiones. 3. Sistema de carga.
Procedimiento	<p>Procedimiento Estándar de uso de la línea de Nitrógeno.</p> <p>Para cargar con N₂ un reactor de acero inoxidable en la línea de gases, se deben seguir los siguientes pasos:</p> <p>Antes de iniciar a trabajar la campana de extracción debe estar encendida</p>

Tabla 23.- Procedimiento Estándar de Operación para transferencia de gas: nitrógeno (N₂)

Título

Procedimiento Estándar de Operación para
Transferencia de gas: nitrógeno gas (N₂)

Precaución. Revisar que todas las llaves del sistema estén cerradas. Para evitar un accidente.



Llave 1: Tanque de N₂.

Llave 2: Regula el paso de gas del tanque a la línea de trabajo.

Llave 3: Permite el paso del gas al regulador de presión.

Llave 4: Permite controlar el flujo de salida al reactor.

Llave 5: Permite la fuga del gas en el sistema.

Llave 6: Permite cargar el reactor.

Paso 1: Verificar que este bien ensamblado el cuerpo del reactor, sello, la tapa del reactor y apretar con dos roscas. Acoplar el reactor con el manómetro y verificar que marque una presión manométrica de 0 psi. Cerrar las llaves del reactor

Paso 2: Conecte el reactor de alta presión a la manguera del sistema. Asegure el reactor con una pinza.

Importante: El reactor debe tener todas las llaves cerradas.



Paso 3: Abra la llave del tanque de N₂ (Llave 1). Revise el manómetro (1), para conocer la presión total del tanque. Tenga en cuenta que la presión de salida del tanque debe ser mayor a la presión de trabajo. De lo contrario se debe cambiar el tanque de N₂ por uno nuevo.

Paso 4: Abrir la llave (2) regulando la presión a la cual se desea trabajar, se aconseja supera la presión de trabajo al menos por 50 psi.

Paso 5: Abrir llave (3).

Paso 6: Se abre el manómetro (3) hasta una presión de 10 bar o 20 bar. Seguido se abre la llave (6), en este punto todo el sistema tiene presión de N₂, excepto el reactor el cual debe estar cerrado.

Paso 7: Purga del sistema. Con el sistema bajo presión y la llave (6) abierta, proceda a cerrar la llave (3), después abra la llave (5), con la finalidad de purgar el sistema de llenado de reactor. En este punto se escuchará una descarga de gas que irá directamente a la campana de extracción. Al dejar de escuchar la salida del gas, cierre la llave (5) y abra la llave (3). El paso 7 se repite 2 veces.

Paso 8: Purga del reactor. Con las llaves (5) y (6) cerradas y la llave (3) abierta se procede a purgar el reactor, para lo cual se realiza lo siguiente: Se abre la llave del reactor que permite la entrada del gas (Esta llave permanecerá abierta durante el paso 7). Seguido se

Tabla 23.- Procedimiento Estándar de Operación para transferencia de gas: nitrógeno (N₂)	
Título	Procedimiento Estándar de Operación para Transferencia de gas: nitrógeno gas (N ₂)
	<p>abre la llave (6) permitiendo el paso del gas al reactor, después se cierra la llave (3) y se abre la llave (5), permitiendo la salida del gas a la campana de extracción. Finalmente se cierra la llave (5) y se abre la llave (3) para cargar de nuevo el sistema con N₂. El paso 8 se repite tres veces.</p> <p>Paso 9: Llenado del reactor. Con las llaves (5) y (6) cerradas, la llave (3) abierta, y la llave del reactor cerrada. Se abre el manómetro (3) hasta llegar a la presión a la cual se desee llenar el reactor. Después, se abre la llave (6), finalmente se abre la llave del reactor de manera controlada, de esta forma se logra llenar el reactor lentamente, evitando una descompensación en el sistema. Al finalizar el llenado del reactor se cierra la llave de reactor y se cierra la llave (1), tanque de N₂.</p> <p>Paso 10: Liberación de la presión del sistema. Con la llave (1) cerrada, se abre la llave (5) lentamente logrando así la liberación de todo el N₂ contenido en el sistema de llenado. Posteriormente, se cierran todas las llaves incluyendo las llaves de los manómetros. Finalmente se retira el reactor.</p> <p>Paso 11: Revisando los manómetros y percátense que no haya medición de presión, de existir, abra las llaves desde la (2) a la (6) y ciérrelas de nuevo.</p> <p>Paso 12: Registre en la bitácora del equipo, la presión final del tanque de N₂.</p> <p>NOTA: Las llaves del sistema son de alta precisión, por lo tanto, se deben trabajar con delicadeza, tenga en cuenta las siguientes recomendaciones: Las llaves al cerrar y abrir hacen un sonido (CLICK), no forcejeé con las llaves más allá del sonido. Los manómetros contienen llaves de aguja las cuales son muy delicadas, al cerrar las llaves no las lleve al tope, de preferencia se dejan a 1/4.</p>
Tratamiento de residuos	Los tanques de N ₂ se pueden enviar con el proveedor correspondiente. El gas residual de los reactores utilizados en las reacciones debe ser liberado en una campana de extracción dado su nula toxicidad al medio ambiente.
Referencias bibliográficas	https://spanish.alibaba.com/product-detail/adjustable-nitrogen-gas-pressure-regulator-60117572945.html
*Nota: Modificado con autorización	

Tabla 24.- Análisis ¿Qué pasaría si? A la operación para transferencia de gas: nitrógeno (N₂)				
Departamento:	Descripción de la operación: Transferencia de gas: nitrógeno (N ₂)			Fecha:
¿Qué pasaría si?	Respuesta	Probabilidad	Consecuencias	Recomendaciones
Se expone el tanque a una fuente de calor (Equipos que generen calor)	Sobrepresurización del tanque	Baja	Se rompe el sello de seguridad de la válvula de seguridad	Ubicar el tanque en un espacio seco, aislado de cualquier fuente de calor
Se trabaja en un espacio sin ventilación (espacio confinado)	Se desplaza el oxígeno y disminuye la concentración de oxígeno del espacio	Moderada	Puede causar mareo hasta asfixia	Uso de Equipo de respiración autónoma
Se adiciona más presión al reactor a lo establecido	Sobrepresurización del reactor	Moderada	Se puede proyectar la tapa del reactor	Conectar un manómetro al reactor
Nota 1: Espacio confinado: El lugar sin ventilación natural, o con ventilación natural deficiente, en el que una o más personas puedan desempeñar una determinada tarea en su interior, con medios limitados o restringidos para su acceso o salida, que no está diseñado para ser ocupado en forma continua. NOM-033-STPS-2015: Condiciones de seguridad para realizar trabajos en espacios confinados				

9. CONCLUSIONES

Se aplicó la metodología de la American Chemical Society para evaluar los riesgos de los laboratorios de una institución de investigación. Donde se identificó el nivel de seguridad química de los laboratorios de la institución con base a los conceptos establecidos por la ACS además se determinaron y desarrollaron tres Procedimiento Estándar de Operación de las operaciones que se realizan en más del 50% de los laboratorios de la institución de investigación con su análisis ¿qué pasaría si?, con el fin de prever incidentes y determinar los controles de riesgos.

Se observó que al aplicar la metodología de la ACS destaca la necesidad de dar cursos sobre la identificación de peligros y evaluación de riesgos a la comunidad de la institución y dar seguimiento a los Procedimientos Estándar de Operación para las actividades (operaciones) que se realizan en los laboratorios.

En cuanto a los POE, esta herramienta permitió proporcionar la información que necesita la dirección de la Institución de Investigación para poder tomar decisiones fundamentadas sobre los beneficios de introducir, modificar y/o cambiar procedimientos, personal calificado y controles de riesgos.

A las recomendaciones emitidas por el What if? se sugiere el seguimiento de acciones correctivas y las estrategias técnicas que resulten de este proceso, así como el informe de avances. Todo este trabajo desarrollado con los criterios de calidad permitirá en un futuro implementar la norma ISO 45001:2018, dar algunos de los lineamientos para las normas de seguridad y así fortalecer más el nivel de seguridad química de la institución de investigación.

10. REFERENCIAS

1. American Chemical Society . (2013). *Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories*. EE.UU: ACS.
2. American Chemical Society . (2015). *Identifying and Evaluating Hazards in Research Laboratories*. EE.UU: ACS.
3. Center for Disease Control and Prevention. (13 de Enero de 2015). *Hierarchy of Controls*. Recuperado el 25 de Enero de 2020, de The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/>
4. Excelsior. (17 de Noviembre de 2016). Explosión en Veracruz deja 11 estudiantes lesionados. Recuperado el 17 de Octubre de 2019, de <https://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/11/17/1128790#view-2>
5. Hernández , H., Valdés, M., & Ulloa, N. M. (2015). Elementos teóricos que contribuyen a la identificación, evaluación y control de los riesgos laborales y peligros. *Revista Infociencia*, 19, 1-11. Recuperado el 26 de Diciembre de 2019, de <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=eaa7d229-a318-49a4-a519-b5005da198cf%40sessionmgr103>
6. Ibarra Hernández , E., & Goya Valdivia, F. A. (Diciembre de 2014). Técnicas utilizadas para la identificación y valoración de los peligros en las distintas etapas de la vida de los procesos químicos industriales. *Centro Azúcar*, 41, 30-40. Recuperado el 11 de diciembre de 2019, de <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroazucar/2014/vol41/no4/4.pdf>
7. Liu, H. (2016). *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. Shanghai: Springer. Recuperado el 19 de Octubre de 2019, de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-981-10-1466-6.pdf>
8. Mannan, S. (2005). *Lee's Loss Prevention in the Process Industries Hazard Identification, Assessment and Control* (3 ed.). EE.UU.: Elsevier Butterworth Heinemann.
9. Mendoza, A. (15 de Noviembre de 2016). *Curso-taller en materia de riesgo y emergencias ambientales: análisis de Riesgo de Proceso*. Recuperado el 19 de

Octubre de 2019, de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171811/2_1_1_ARP1.pdf

10. MERCK S.A de C.V. (2019). *Safety Data Sheet for Benceno 101783*. Recuperado el 24 de Diciembre de 2019, de http://www.merckmillipore.com/MX/es/product/msds/MDA_CHEM-101783?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F
11. Norma Oficial Mexicana. (2008). *NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo-. Condiciones de seguridad*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2019, de Diario Oficial de la Federación: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3540/stps/stps.htm>
12. Norma Oficial Mexicana. (2008). *NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. .* Recuperado el 12 de Octubre de 2019, de Diario Oficial de la Federación: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-017.pdf>
13. Norma Oficial Mexicana. (2008). *NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*. Recuperado el 24 de Octubre de 2019, de Diario Oficial de la Federación: <http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3541/stps.htm>
14. Norma Oficial Mexicana. (2010). *NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. .* Recuperado el 12 de Octubre de 2019, de Diario Oficial de la Federación: <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/nom/33.pdf>
15. Norma Oficial Mexicana. (2015). *NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo*. Recuperado el 25 de Octubre de 2019, de Diario Oficial de la Federación: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5411121&fecha=09/10/2015
16. Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 31000: Gestión del Riesgo. Directrices* . Madrid, España: Asociación Española de Normalización.
17. Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 45001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso*. Ginebra, Suiza: Secretaría Central de ISO.

18. Redacción. (18 de Febrero de 2018). 19 heridos por explosión en laboratorio de UAM Xochimilco. *Aristegui Noticias*. Recuperado el 19 de Octubre de 2019, de <https://aristeguinoticias.com/1802/mexico/19-heridos-por-explosion-en-laboratorio-de-uam-xochimilco>
19. Sánchez , R. (2010). Análisis de los accidentes químicos-tecnológicos presentados en la Gran Área Metropolitana durante el periodo de 1998-2005. *UNICIENCIA*(24), 25-33.
20. Sarmiento, M., & Ortiz , E. (Marzo de 2003). Emergencias ambientales asociadas a sustancias químicas en México. *Gaceta Ecológica*(66), 54-63.
21. Stamatis, D. H. (2014). *Introduction to Risk and Failures: Tools and Methodologies*. (1 ed.). New York, EE.UU.: CRC Press.
22. Universidad Nacional Autónoma de México. (2019). *Instituto de Química: Departamentos de Investigación*. Recuperado el 05 de Diciembre de 2019, de <https://www.iqimica.unam.mx/investigacion-departamentos>
23. Universidad Nacional Autónoma de México. (Enero de 2020). *Área de Prevención de Riesgos y Seguridad*. Recuperado el 15 de Enero de 2020, de Instituto de Química: <https://iqimica.unam.mx/servicios-alias/prevencion-de-riesgos-y-seguridad-de-productos-quimicos>
24. Universidad Nacional Autónoma de México. (Enero de 2020). *Reglamentos, lineamientos y criterios de evaluación*. Recuperado el 20 de Enero de 2020, de Instituto de Química: <https://iqimica.unam.mx/inicioiq/reglamentos-y-lineamientos>

Figura I.- Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio A planta alta.

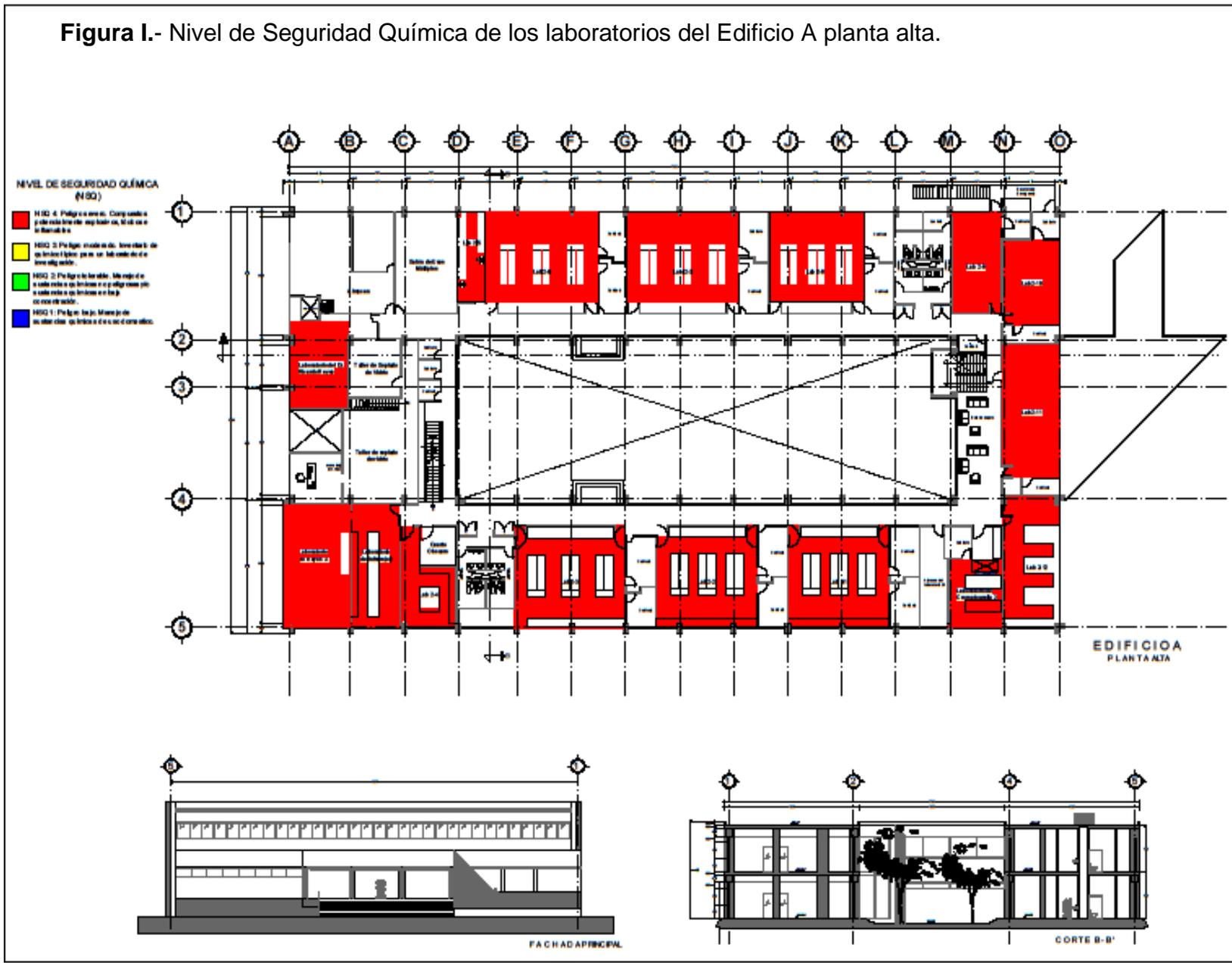


Figura II.- Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio A planta baja

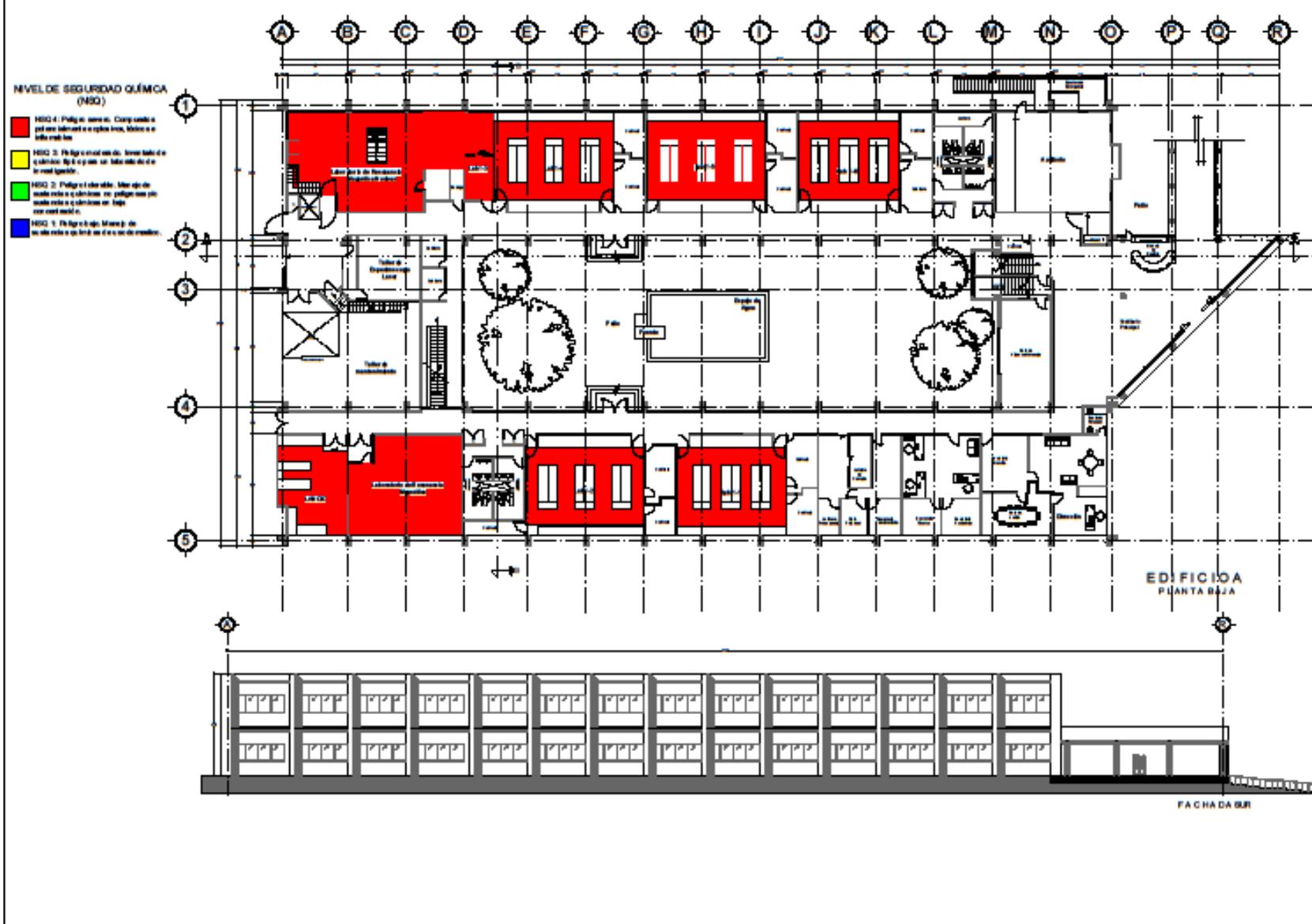
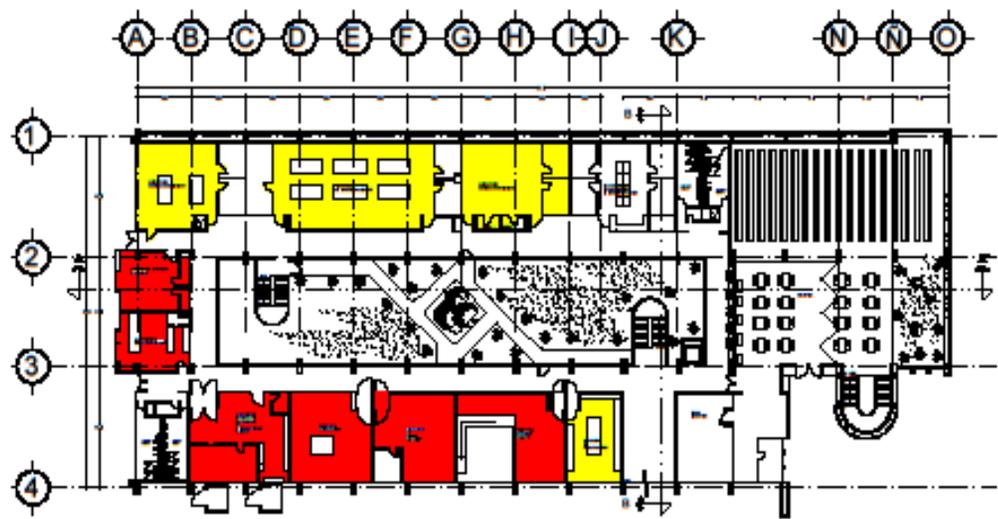
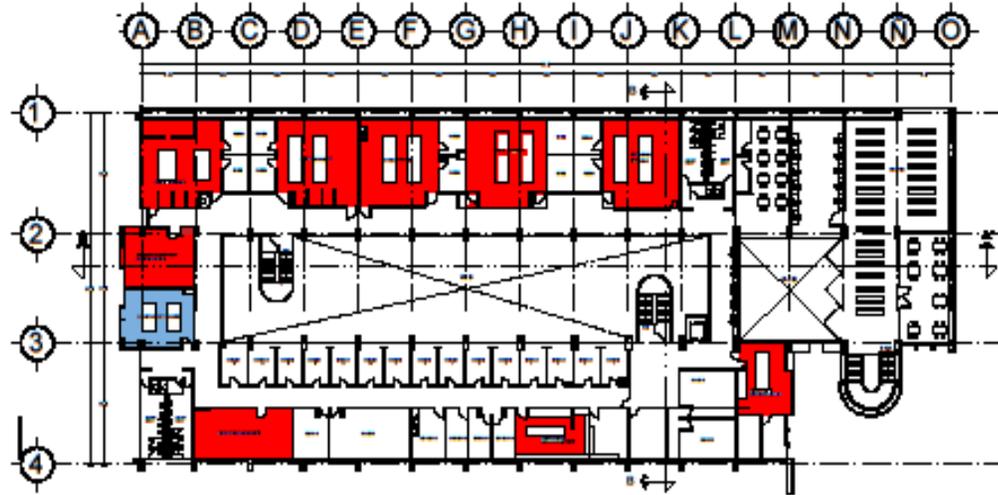


Figura III.- Nivel de Seguridad Química de los laboratorios del Edificio B planta baja y alta



EDIFICIO B
PLANTA BAJA
ESCALA: 1:200

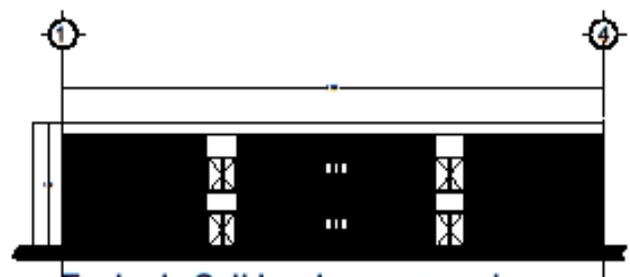


EDIFICIO B
PLANTA ALTA
ESCALA: 1:200



Fachada Acceso a la Biblioteca
ESCALA: 1:150

- NIVEL DE SEGURIDAD QUÍMICA (NSQ)
- NSQ 4: Peligro muy alto. Ciertos riesgos por las actividades de experimentación, síntesis o cultivo celular.
 - NSQ 3: Peligro moderado. Se manejan o se cultiva organismos patógenos de baja virulencia.
 - NSQ 2: Peligro moderado. Manejo de cultivos de células animales, por ejemplo, en cultivos de células.
 - NSQ 1: Peligro bajo. Manejo de cultivos de células de mamíferos.



Fachada Salidas de emergencia
ESCALA: 1:150

