

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental.



SO5101 Trabajo final de graduación

Propuesta de un programa de seguridad contra incendios y explosiones en el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

Estudiante:
Stephanie Meneses Jiménez

1 de noviembre de 2024

Informe presentado a la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental con el grado de licenciatura.

Miembros del Tribunal

MIGUEL
DIONICIO ARAYA
ALVAREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente por MIGUEL DIONICIO ARAYA ALVAREZ (FIRMA)
Fecha: 2024.11.25
11:41:58 -06'00'

Ing. Miguel Araya Álvarez

Evaluador invitado

IGNACIO DEL
VALLE GRANADOS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por IGNACIO DEL VALLE GRANADOS (FIRMA)
Fecha: 2024.11.22 10:27:11
-06'00'

Ing. Ignacio Del Valle Granados

Profesor Evaluador

MONICA MARIA
CARPIO CHAVES
(FIRMA)

Firmado digitalmente por MONICA MARIA CARPIO CHAVES (FIRMA)
Fecha: 2024.11.22 09:10:40
-06'00'

Ing. Mónica Carpio Chaves

Asesora académica

Coordinadora de Trabajo Final de Graduación

En representación de la Dirección EISLHA

22 de noviembre, 2024

Agradecimientos

Gracias a Dios por guiarme en toda mi carrera. Gracias a mi familia por darme la oportunidad de estudiar, gracias por ser tan increíbles.

Gracias a Fran, me acompañaste en los momentos difíciles, me apoyaste y animaste en todo momento, gracias por estar.

Agradezco a mis asesores por brindarme la oportunidad de realizar un proyecto en el cual pudiera demostrar lo mejor de mí. Gracias a la profesora Mónica Carpio por su paciencia, entrega y dedicación.

Gracias a la compañía farmacéutica, quienes me brindaron la oportunidad de crecer y realizar mi proyecto, especialmente a René Araya y Carlos C por acompañarme durante este proceso. A las Grettel, Ire, Emi, Stef y Karo, gracias se convirtieron en una familia para mí.

Dedicatoria

Dedicado a mi familia, las personas que más amo, son mi motivación y mi fuerza para seguir mejorando cada día. En ustedes siempre encontraré mi hogar.

A mi mamá, la mujer más valiente que he conocido, sos el ejemplo de todo lo que quiero ser. Todo el esfuerzo que hiciste se refleja en los logros de tus hijos, tu amor incondicional nos hizo crecer. Gracias porque me lo diste todo aunque no tuvieras nada. Te amo infinitamente.

A mis hermanos, gracias por creer en mí incondicionalmente, a través de ustedes he aprendido que el amor no tiene límites. Gracias por estar a mi lado, ustedes son mi refugio cuando las cosas se complican y me dan fuerzas cuando parece que ya no hay más.

A Samy, desde que llegaste me diste luz, amor y esperanza. Sos una razón más para levantarme todos los días y ver tu sonrisa. Gracias por iluminar mi camino.

Resumen

La compañía en la cual se realiza el proyecto se dedica al desarrollo y producción de fármacos, en una planta de producción ubicada en Costa Rica. En el análisis de riesgos se determina que se debe mejorar las condiciones de seguridad del proceso de carga de baterías en las bodegas de Materia Prima y Droguería debido a que existe riesgo de incendio y explosión.

El objetivo del proyecto es diseñar un programa de protección contra incendios y explosión para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica. La investigación descriptiva y aplicada es realizada a los siete trabajadores de bodegas que cuentan con un horario laboral de 7:30 a.m. a 5:00 p.m.

Mediante la aplicación de la herramienta HAZOP realizada en el análisis de la situación actual se identificaron ocho peligros, el principal hallazgo está relacionado a explosiones ya que puede generarse el gas hidrógeno durante el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo. Además, se evalúan las condiciones según la UNE-EN-62485:2015 y NFPA 855, dando como resultado el incumplimiento de los ítems planteados ya que se encuentran deficiencias en la delimitación de zonas de carga, monitoreo de seguridad y ventilación. Esta falta de ventilación podría resultar en la acumulación de gases peligrosos y aumentar el riesgo de una atmósfera explosiva.

Se recomienda el diseño de locales de carga seguros para las baterías de ácido sulfúrico y plomo que cumplan con los requisitos solicitados según NFPA 855 y NFPA 101. Por esta razón, se desarrolla un programa de seguridad contra incendios y explosiones en el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega, el cual se integran controles administrativos e ingenieriles para mitigar los riesgos de explosiones e incendios.

Palabras clave: atmosfera explosiva, baterías de ácido sulfúrico y plomo, incendio, almacenamiento de baterías.

Key words: explosive atmosphere, sulfuric acid and lead batteries, fire, battery storage.

Índice de contenidos

I. Introducción	9
A. Identificación de la empresa	9
B. Planteamiento del problema	14
C. Justificación del proyecto	15
D. Objetivos	17
II. Marco teórico	19
III. Metodología	24
A. Tipo de investigación	24
B. Fuentes de información.....	24
C. Población y muestra	25
E. Instrumentos o herramientas de investigación	33
F. Plan de análisis.....	¡Error! Marcador no definido.
.....	35
Apéndices	131

Índice de cuadros

Cuadro 1. Operacionalización de variables objetivo 1.....	27
Cuadro 2. Operacionalización de variable objetivo 2	29
Cuadro 3. Operacionalización de variables objetivo 3.....	31
Cuadro 4. Identificación de peligros matriz HAZOP	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 5. Incumplimientos en la lista de verificación UNE-EN- 62485: 2015	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 6. Resumen fuentes de ignición	49
Cuadro 7. Áreas de locales de carga.....	51
Cuadro 8. Caudal mínimo requerido	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 9. Análisis FODA estratégico	53

Índice de figuras

Figura 1. Organigrama de la Compañía Farmacéutica	10
Figura 2. Diagrama de proceso de carga de baterías de montacargas y apiladores	12
Figura 3. Plan de análisis	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Resultado lista de verificación NFPA 855	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5. Porcentaje de cumplimiento de listas de verificación	¡Error! Marcador no definido.

I. Introducción

A continuación, se brinda información de la Compañía y el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo.

A. Identificación de la empresa

La compañía en la cual se realizará el proyecto se dedica al desarrollo y producción de fármacos sólidos y líquidos, en una planta ubicada en Costa Rica. Durante el desarrollo de este proyecto se referirá a esta como Compañía Farmacéutica, debido a que los datos de la organización son confidenciales; seguidamente se brindará más información.

1. Misión y visión

La misión de la compañía es:

Contribuir a la protección de la salud, ofreciendo una amplia gama de productos accesibles y de calidad, focalizándonos en atender las necesidades de nuestros pacientes, clientes y médicos en Latinoamérica y generando valor, de manera sustentable, para nuestros accionistas y colaboradores (Compañía Farmacéutica, 2024).

Por otro lado, la visión es:

Ser reconocido como uno de los cinco principales laboratorios en los mercados que participemos, con productos accesibles y de calidad para el cuidado de la salud de la comunidad (Compañía Farmacéutica, 2024)

2. Antecedentes históricos de la empresa

El laboratorio inició en los años treinta en España, principalmente enfocado en productos oftalmológicos. A finales de la misma década se trasladó a Chile, convirtiéndose en la empresa que es actualmente, posicionándose en otras áreas de infectología, gastroenterología, cardiología, broncopulmonar, psiquiatría, inmunología y otros.

Para los años noventa se comenzó con la exportación de sus productos a países como Paraguay, Bolivia, Ecuador y Perú, en donde se establecen otras sedes y más adelante se comienza a distribuir en el mercado de Centro América. En el año 2021 se regresa a España y durante la pandemia del Covid-19 la Compañía Farmacéutica se convierte en una distribuidora de vacunas. Para el año 2023 se suma a Costa Rica con una nueva planta farmacéutica buscando convertirse en una de los mejores del mercado en Latinoamérica y el Caribe.

3. Ubicación geográfica

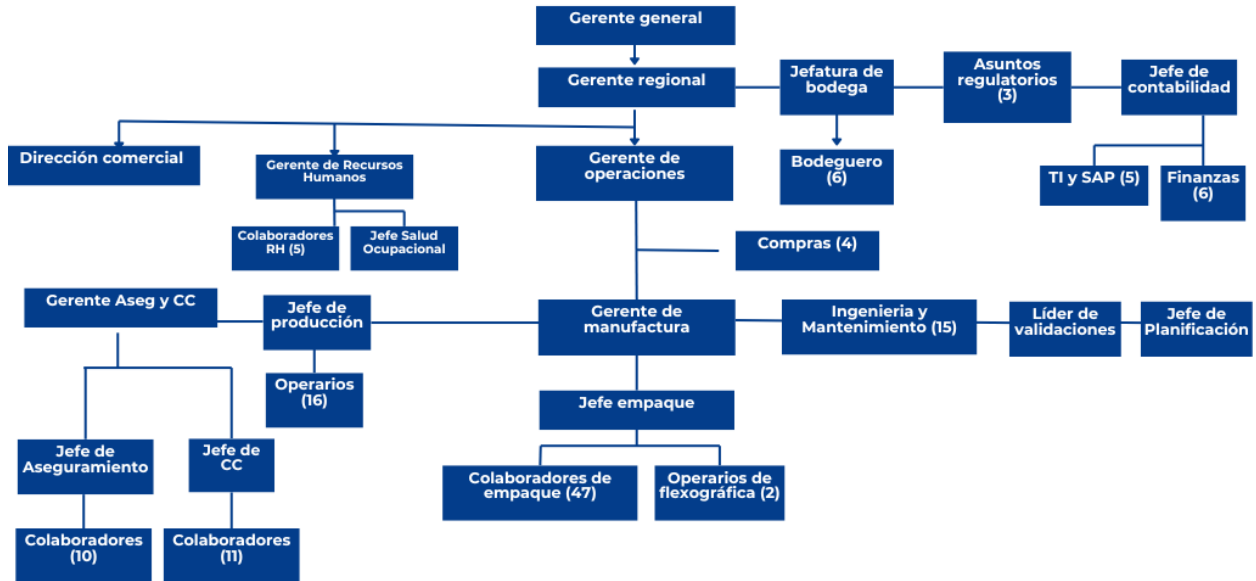
La Compañía Farmacéutica cuenta con una sede principal en Chile. A nivel nacional realiza sus labores de producción en la planta ubicada en Cartago.

4. Organigrama de la organización

En la figura 1 se muestra el organigrama de la Compañía Farmacéutica en Costa Rica:

Figura 1. Organigrama de la Compañía Farmacéutica

ORGANIGRAMA



Fuente: Departamento de Recursos Humanos Compañía Farmacéutica (2024).

5. Cantidad de empleados

El total de personas trabajadoras en la sede de Costa Rica es de 164, de los cuales cinco trabajadores se encuentran en el área de materia prima, encargándose del almacenamiento y distribución de la misma y dos trabajadores en producto terminado (droguería). En ambas bodegas se realiza el proceso de carga de las baterías de los montacargas y apiladores.

6. Mercado

Es una compañía farmacéutica, en la cual se procesan productos médicos de consumo humano y la distribución de estos medicamentos no solo se realiza a nivel nacional, sino que se extiende

a otros países de Latinoamérica. Se fabrican productos en presentaciones sólidas como comprimidos, cápsulas, polvo y productos líquidos como jarabes, suspensiones y soluciones.

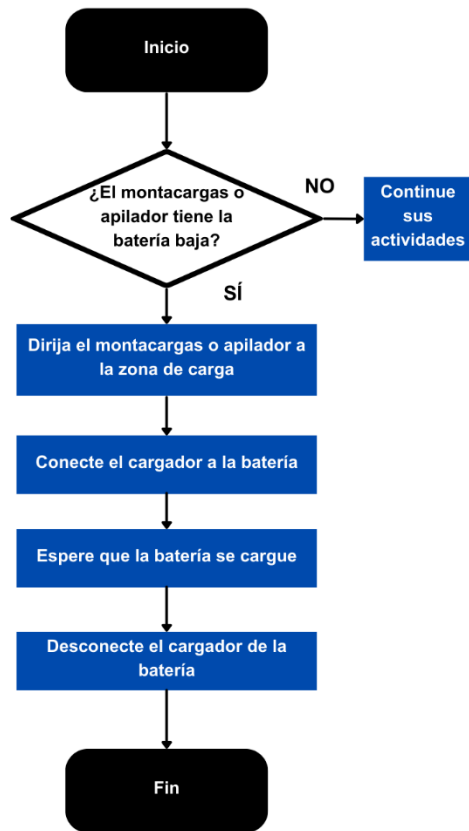
La Compañía Farmacéutica cuenta con presencia en los siguientes países: Belice, Bolivia, Ecuador, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay, El Salvador, Honduras, Guatemala, Haití y Panamá.

7. Proceso productivo y productos

El área de bodega se encarga de recibir y suministrar la materia prima, además, almacena los productos terminados que salen de planta. El proceso de carga y descarga de mercancía inicia al recibir la materia prima, posteriormente se almacena mediante apiladores y montacargas en la bodega de Materia Prima (BMP) en los respectivos racks. Cuando el material es solicitado por producción se traslada con los montacargas al área de dispensado para ser ingresado a la planta y continuar con el debido proceso, al finalizar se almacena en bodega droguería.

Para llevar a cabo el transporte de los materiales se debe de realizar la carga de los montacargas y apiladores, este procedimiento es realizado por los siete trabajadores del área de bodegas, únicamente durante su horario laboral de 7:30 am a 5:00 pm. Estos equipos son cargados por cinco baterías de ácido sulfúrico- plomo y sigue el proceso que se muestra en la siguiente figura.

Figura 1. *Diagrama de proceso de carga de baterías de montacargas y apiladores*



B. Planteamiento del problema

En el análisis de riesgos realizado por el Departamento de Salud Ocupacional de la Empresa y el nuevo propietario de la compañía en el año 2023, se determina que se debe mejorar las condiciones de seguridad del proceso de carga de baterías de las dos bodegas, la de Materia Prima y la de Droguería, debido a que existe riesgo de incendio y explosión. Los montacargas y apiladores operan con baterías de ácido sulfúrico y plomo que se cargan en un espacio dentro de estas bodegas, por lo que gases oxígeno e hidrógeno se generan durante el proceso de carga las cuales al encontrarse en un recinto con ventilación limitada podrían crear una atmósfera explosiva.

Actualmente los locales de carga ubicados en las bodegas de Materia Prima y Droguería no cuentan con ninguna medida de contención ni separación de resistencia al fuego, por lo que en caso de se genere un evento tecnológico como explosión, fuga, derrame o incendio, es probable que se extienda a otros departamentos de la empresa. Es importante mencionar que en la bodega Materia Prima se almacenan diferentes productos incluyendo materiales inflamables y en la bodega de Droguería almacena todos los productos terminados y listos para entregar al cliente, un incendio en estas áreas significaría una pérdida de equipos, producto y de dinero, además de un atraso en el cumplimiento de los objetivos de entrega y de producción.

No existen estudios previos sobre el riesgo de la carga de baterías en las bodegas y de esta manera se crea una necesidad de realizar un análisis y diseñar soluciones para el mismo.

C. Justificación del proyecto

Las baterías de ácido sulfúrico y plomo son baterías recargables, almacenan energía química durante la carga y la transforma en eléctrica. Estas baterías están constituidas por una placa negativa y una placa positiva de plomo sumergidas en un contenedor con un electrolito. El proceso de carga se realiza al aplicar corriente eléctrica creando dióxido de plomo en la placa positiva y una pérdida de electrones en la placa negativa mientras se liberan gases como hidrógeno y oxígeno (de Alba Padilla,2017).

El hidrógeno es un gas inflamable y tiene la capacidad de crear una atmósfera explosiva, por lo que, una chispa puede producir su ignición inmediata. Su rango de explosividad se encuentra entre el 4 al 75% en volumen de aire, por lo que existe riesgo de explosión ante cualquier foco de ignición. El riesgo es menor cuando la batería está en reposo o descargada, sin embargo, el desprendimiento de los gases sucede mayoritariamente durante la fase final de carga (Fibla,2020).

Por otra parte, es importante considerar la cantidad de oxígeno en el proceso en estudio ya que una atmósfera sobre oxigenada puede ser peligrosa por riesgo de explosión e incendio. El aire contiene 21% de concentración de oxígeno normalmente, una concentración que supere el 23,5% será considerada como sobre oxigenada y una atmósfera con concentración menor a 18% comenzará a afectar la salud de las personas (Carranza, 2022).

Debido a la generación de los gases hidrógeno y oxígeno en el proceso en estudio, es necesario que el recinto donde se realiza la carga cuente con ventilación para disminuir al máximo la atmósfera explosiva (NFPA 855, 2023). Actualmente, podría existir acumulación de gases hidrógeno y oxígeno generados durante la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo ya que no existen aberturas ni sistemas de ventilación, únicamente la puerta.

El ácido sulfúrico es un líquido denso e incoloro, soluble en agua, pero en algunos casos puede generar una reacción violenta y exotérmica, lo cual es importante de considerar ya que dentro de las placas se genera la electrólisis del agua. Esta sustancia se absorbe por el tracto respiratorio causando irritación e inflamación y se han observado cambios en la laringe, incluso

se ha asociado al riesgo de cáncer en exposiciones repetitivas. Con los resultados obtenidos en los estudios es difícil establecer un límite NOAEL (Nivel sin efecto adverso observable, por sus siglas en inglés) ya que en algunos estudios se demuestran efectos a niveles inferiores a los establecidos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2015).

El área de carga de baterías no cuenta con separación con el resto de la bodega, a pesar de ser un espacio por el cual se transita constantemente por los mismos trabajadores de bodegas y otros colaboradores que ingresan a realizar tareas. Además, dentro de esta bodega existe un total de 188 productos, de los cuales aproximadamente 65 se encuentran en la bodega de inflamables, incluyendo alcohol isopropílico, alcohol etílico 95%, acetona, lustra pisos, saborizantes, azufre precipitado, entre otros. Esta bodega de inflamables cuenta con contención de derrames, paredes de concreto y rociadores.

Asimismo, según las Estadísticas de Incendios de Costa Rica a diciembre 2021, para el año 2020 hubo 918 incendios estructurales y para el 2021 se reportaron 966 incendios, lo que significa un aumento del 5,23%. Del total de incendios reportados en el año 2021, se investigaron 95 de los cuales diez tuvieron origen en la bodega. Las principales fuentes de ignición fueron por problemas eléctricos (Bomberos de Costa Rica, 2021).

Según lo indicado en la auditoría realizada por los propietarios, las medidas de seguridad deben mejorar para la bodega de materia prima en la que se requiere realizar un espacio seguro para las tres baterías de ácido sulfúrico y plomo que se encuentran expuestas. En el caso de la bodega Droguería, se solicita el traslado de la única batería, con posibilidad de compra de más baterías posteriormente, hacia un espacio que cumpla las condiciones de seguridad según la legislación nacional.

En caso de omitir la solicitud se estaría incumpliendo con el principio de seguridad de la compañía y se recibirán sanciones. Por las anteriores razones mencionadas será necesario realizar un procedimiento de carga y una propuesta de programa para el mejoramiento de las condiciones de seguridad para el proceso de carga de baterías.

D. Objetivos

1. Objetivo general

- Proponer un programa de seguridad contra incendios y explosión para la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

2. Objetivos específicos

- Identificar la situación actual de la protección contra incendios de la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.
- Analizar las condiciones de vulnerabilidad de incendio y explosión del área de bodega por la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo de una Compañía Farmacéutica.
- Diseñar un programa con alternativas de solución ingenieriles y administrativas para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

E. Alcances y limitaciones

Alcances

El proyecto pretende realizar un análisis y evaluación de los factores de riesgo durante el proceso de carga de las baterías de los montacargas y apiladores en las bodegas de materia prima y droguería según la NFPA 855 y NFPA 101 con el fin de proponer un programa de seguridad contra incendios y explosiones para el proceso de carga de baterías de estas dos bodegas. El programa, basado en la INTE T29:2016, pretende brindar un diseño de local de carga que cuente con las condiciones seguras según la legislación, tomando en cuenta materiales, sistemas contra incendios, equipos, para realizar el procedimiento de carga en las bodegas de la planta de la Compañía Farmacéutica en Costa Rica.

Esta propuesta analiza y evalúa los factores de riesgo durante el almacenamiento e intercambio de las cuatro baterías para proponer estrategias de control que permitan alcanzar altos estándares de salud y seguridad en el espacio de trabajo según las normas UNE-EN 62485- 3:2015, la NFPA 101, NFPA 855 y la INTE T29:2016. Para la realización del proyecto se cuenta con un presupuesto de ₡30 000 000.

Limitaciones

No se identificaron limitaciones para este proyecto.

II. Marco conceptual

Una bodega de almacenaje es un espacio en el cual se depositan materias primas y productos por tiempo indefinido o hasta que ocurra una solicitud de entrega. Su objetivo es la recepción y movimiento de productos. Existen diferentes tipos de bodegas basándose según el producto como aquellas que contengan productos inflamables o de uso general. También depende del tipo de edificio, el flujo de materiales, su localización y mecanización (Fernández, 2022).

Una batería es un dispositivo que almacena energía en forma química durante la carga y la libera como energía eléctrica durante la descarga, mediante el proceso electroquímico de una doble conversión de energía. Debido al bajo costo, el tipo más común de baterías utilizadas es la batería de plomo ácido, el cual genera gases hidrógeno y oxígeno debido a su reacción química, por lo que se necesita ventilación al exterior con el fin de restringir un derrame de electrolito (Álvarez Granda & Zuluaga Gómez, 2013).

Según (Montealegre et al, 2019) las baterías están compuestas por una rejilla de plomo, estaño, calcio, óxido de plomo y lamina de calcio, con placas de óxido de plomo, estaño y calcio. Las placas positivas son de peróxido de plomo y las placas negativas son de plomo esponjoso. También contiene separadores de polietileno, electrólito de ácido sulfúrico y agua desmineralizada. El peso total de la batería según la suma de todos los materiales es de 18 kilogramos.

Debido a los componentes anteriormente mencionados se debe de considerar la posibilidad de la creación de una atmósfera explosiva en el ambiente, la cual depende de la presencia de una sustancia combustible, su grado de dispersión, la concentración en el aire y la cantidad de atmósfera explosiva para dar lugar a lesiones. Los gases y vapores tienen la característica de cumplir con un alto grado de dispersión, la cual contribuye a la creación de una atmósfera explosiva peligrosa. La cantidad de atmósfera explosiva se determina según los efectos posibles que pueda causar la explosión (UNE, 2020).

Una explosión es una expansión violenta y rápida que puede tener su origen físico, por cambios de presión y/o temperatura, o químico, reacciones violentas de gases, vapores o polvos, acompañado de un cambio de energía y seguidamente una onda expansiva (Fibla et al, 2020).

La estimación de los posibles efectos de una explosión toma en cuenta las ondas de presión, llamas y gases, proyección de fragmentos. Se debe de considerar las consecuencias, las cuales se relacionan a la cantidad de la atmósfera explosiva, el equipo de protección personal, las propiedades físicas y químicas de las sustancias inflamables y las características físicas de las instalaciones. (UNE, 2020).

Una explosión trae consigo fuego, definido como aquel conjunto de partículas incandescente de materia combustible que ha sido producida por una reacción química violenta y produce llamas, calor y gases. El inicio del fuego se relaciona con un combustible, como productos inflamables, comburente como el oxígeno, energía como temperatura o chispas y reacción para que se mantenga la combustión. En cambio, un incendio es consecuencia de un fuego no controlado (Macari Lagos et al, 2015).

Como fuente de inicio del fuego es importante tomar en cuenta las características de los productos inflamables. La temperatura de autoignición, definida como la temperatura mínima a la que sin necesidad de una fuente de ignición una sustancia en contacto con el aire arde espontáneamente. La energía mínima de ignición es la energía mínima necesaria para iniciar la combustión de una mezcla inflamable, la cual depende de la concentración del combustible en el aire (Sierra, 1991).

Asimismo, debido al tipo de procedimiento que se lleva a cabo se debe considerar el porcentaje de oxígeno en el aire ya que un ambiente enriquecido del mismo puede ser peligroso si se alcanza el 23,5% con mayor probabilidad de que se genere un incendio. Por otro lado, si el porcentaje es de un 19,6% se considera un ambiente deficiente de oxígeno es peligroso para los humanos cuando se alcanza el 16%, ya que se muestran los primeros síntomas de anoxia y en menor cantidad se tienen mayores consecuencias hasta alcanzar del 3 al 5% donde solo se tienen de 3 a 5 minutos de vida. Un ambiente seguro debe de contar con un 20,9% de oxígeno (UNE, 2020).

En el caso del hidrógeno, se busca mantener una concentración de hidrógeno menor al $4\%_{vol}$ del umbral límite inferior de explosión (LEL). Mantener estos valores permiten la seguridad y es posible por medio de la ventilación, la cual debe de tener un valor mínimo de caudal de aire según la siguiente fórmula (UNE, 2015):

$$Q = v \times q \times s \times n \times I_{gas}(\text{m}^3/\text{h})$$

donde

Q caudal de aire de ventilación en m^3/h ;

v es la disolución de hidrógeno necesaria: $\frac{(100\%-4\%)}{4\%} = 24$;

$q = 4,599 \times 10^{-4} \text{m}^3$;

$s = 5$ factor de seguridad general;

n es el número de elementos;

I_{gas} valor de corriente de emisión de gas a utilizar para el cálculo del caudal de aire de ventilación.

En caso de que no se conozca el valor de I_{gas} se puede utilizar el valor brindado por el fabricante. En los demás casos en los que no se conoce el valor final de la corriente de carga, se puede conocer como el 40% de la corriente de salida asignada del cargador.

Por otra parte, según el Reglamento a la Ley N° 8228 del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, en el artículo 66 se indica que el Cuerpo de Bomberos adopta las normas de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), es por esta razón que se deben considerar los requisitos de la NFPA 855 para la realización de este proyecto. La misma menciona que se debe de contar con ventilación mecánica de escape que proporcione una velocidad mínima de 1 ft³/min/ft². (Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, 2023).

En el caso de ventilación natural, la NFPA 855 señala que se debe cumplir que la ventilación de escape deberá estar diseñada para limitar la concentración máxima del gas inflamable al 25 por ciento del límite inferior de inflamabilidad (LFL) del volumen total del gabinete exterior durante el peor de los casos de carga de “refuerzo” simultánea de todas las baterías. Para determinar el caudal en ventilación natural, se deben seguir los siguientes cálculos según (Lucas, 2023).

$$LEL_{\text{hidrógeno}} \times 25\%$$

Volumen máximo de hidrógeno permitido en la sala:

$$V_{\text{max}} = V_A \times \%CH_2$$

V_{max} = volumen máximo de hidrogeno permitido

V_A = Volumen de la sala

$\%CH_2$ = concentración de hidrógeno

Concentración de hidrógeno

$$C_H = N \times I \times K$$

N = número de celdas por batería

I = Amperaje

K = constante

Caudal mínimo requerido:

$$Q = \frac{C_H}{\%CH_2}$$

Además de lo anteriormente mencionado, la manipulación de baterías genera riesgos de incendio debido a la concentración de hidrogeno en áreas incorrectamente ventilada, químicos por contacto con el ácido sulfúrico en caso de tener contacto con el electrolito, peligro eléctricos asociados al mantenimiento de estas baterías, peligro de energía almacenada y peligros físicos por el levantamiento durante la instalación o remoción de las baterías. (NFPA,2023).

El contacto y proyección de ácido sulfúrico el cual es clasificado como corrosivo, riesgo de contacto con la corriente eléctrica en la utilización de los equipos de carga, riesgos mecánicos por tropiezos, caída de objetos pesados y sobreesfuerzo en manipulación, también, la exposición a riesgos higiénicos por inhalación de aerosoles de ácido sulfúrico (NTP 617).

La exposición por parte del personal se establece según la media ponderada de exposición (TWA), el cual se define como el valor a la que se puede estar expuestos repetidamente en una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales sin generar efectos adversos en la salud. El valor TWA según la norma INTE 31-08-04-2016 para el plomo es de 0,05 mg/m³ y genera deterioro del Sistema Nervioso Central. En el caso del ácido sulfúrico el valor de TWA es de 0,2 tiene efectos críticos en el funcionamiento pulmonar. (INTE, 2016).

Es por esta razón que se debe de disponer de un local de carga o un sistema de almacenamiento de energía, un espacio dispuesto únicamente para la carga de baterías. Este tipo de locales deben estar diseñadas con separación de productos inflamables, paredes con resistencia al fuego de 1 hora mínimo, detectores de humo, las baterías deben estar protegidas a impactos, luces de emergencia, la puerta debe de abrir hacia afuera y debe contar con barra antipánico. (NFPA,2023).

Es importante considerar la prevención de cortocircuitos ya que toda la energía acumulada durante la carga puede liberarse de forma incontrolable por medio de un cortocircuito, produciendo chispas, explosiones o evaporación del electrolito. Por esta razón las conexiones de la batería deben estar protegidas de forma que no se produzcan cortocircuitos y las conexiones principales tienen que ser diseñadas para soportar un cortocircuito. El aislamiento debe resistir las condiciones ambientales y si no se encuentran aislados solo se deben utilizar herramientas aislantes (UNE, 2019).

Las soluciones deben seguir los requisitos de compartimentación mediante barreras cortafuego, las cuales deben separar el incendio con otras zonas del edificio y deben estar diseñadas para mantener la integridad de la estructura. Las barreras deben de tener mínimo una hora de resistencia al fuego y las aberturas que existan deben estar protegidas con el fin de evitar la propagación del fuego y restringir el humo (Bomberos de Costa Rica, 2020)

La presentación final será mostrada en un programa de salud y seguridad, el cual debe brindar condiciones para un buen mantenimiento de baterías siguiendo inspecciones diarias y visuales que permitan corregir antes de un accidente. Se recomienda evitar la descarga total de la batería ya que se reduce la vida útil, por lo que al quedar un 10% de carga se debe trasladar al local (Aguilar Chávez et al, 2022).

III. Metodología

A. Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva y aplicada. El estudio descriptivo recopila datos e información sobre las características, propiedades y aspectos sobre la protección contra incendios y la población estudiada. Por otra parte, la investigación aplicada permite utilizar el conocimiento teórico para utilizarlo en la medición de variables, análisis y propuestas de diseño ingenieril. Por otra parte, mediante la investigación encontrar las soluciones y resolver los problemas estudiados durante el desarrollo del proyecto (Nieto, 2018).

B. Fuentes de información

Las fuentes de información utilizadas para la investigación se muestran a continuación.

1. Fuentes primarias

Legislación

- NFPA 855:2020 Norma para la instalación de sistemas estacionarios de almacenamiento de energía.
- UNE-EN 62485-3:2015 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción.

Otras fuentes

- Información brindada por la empresa
- Cuestionarios aplicados

2. Fuentes secundarias

- NTP 617: Locales de carga de baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico
- NTP 630: Riesgo de incendio y explosión en atmósferas sobre oxigenadas

Proyectos de graduación

- Vega-Alfaro, K. (2022). Propuesta de un programa para el almacenamiento e intercambio seguro de las baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de Recibo de una empresa de dispositivos médicos.

3. Fuentes terciarias

- Repositorio de proyecto del Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Bases de datos de la biblioteca del Instituto Tecnológico de Costa Rica
- Google Académico

C. Población y muestra

La investigación es realizada en el área de bodega de Materia Prima y Droguería. Se realiza la evaluación en el turno de 7:30 am a 5:00 pm y la población de estudio serán los tres apiladores, un montacargas, cinco trabajadores y cuatro baterías de la bodega de Materia Prima y dos apiladores, una batería y dos colaboradores de Droguería.

Cuadro 1. *Población y muestra del estudio para el proceso de carga de baterías*

Herramienta	Población	Tipo de muestra
Entrevista semiestructurada a los colaboradores que realizan la carga de las baterías en las bodegas.	Personas colaboradoras de bodega	7 personas
Lista de verificación basada en UNE-EN- 1127-1:2015	Total de baterías apiladores mecánico y montacargas	Tres apiladores mecánicos, un montacargas, y cuatro baterías de la bodega de Materia Prima y dos apiladores y una batería de Droguería, cinco apiladores mecánicos, un montacargas y cinco baterías.
Matriz HAZOP de identificación de peligros y evaluación de riesgos	Total de bodegas con baterías	Bodegas de materia prima y droguería, área de carga
Entrevista al encargado de bodegas Materia Prima y Droguería.	Encargado de bodega Materia Prima y Droguería	No aplica
Entrevista a jefe de Salud Ocupacional	Jefe de Salud Ocupacional	No aplica

Lista de verificación según NFPA 855	Total de bodegas con baterías	Tres apiladores mecánicos, un montacargas, y cuatro baterías de la bodega de Materia Prima y dos apiladores y una batería de Droguería, cinco apiladores mecánicos, un montacargas y cinco baterías.
Lista de verificación según NFPA 101	Total de bodegas con baterías	Tres apiladores mecánicos, un montacargas, y cuatro baterías de la bodega de Materia Prima y dos apiladores y una batería de Droguería, cinco apiladores mecánicos, un montacargas y cinco baterías.

D. Operacionalización de variables

Objetivo 1: Identificar la situación actual de la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

Cuadro 2. Operacionalización de variables objetivo 1

Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
Situación actual de la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodegas de materia prima y droguería en	Condiciones en las que se encuentra el espacio, entorno y equipo mediante las	Cantidad de recargas al día. Tiempo de la recarga	Entrevista semiestructurada a los colaboradores que realizan la carga de las baterías en las bodegas.

una Compañía Farmacéutica.	cuales se realiza la recarga de baterías. También se evalúan los procedimientos con los que se realiza la carga.	Cantidad de Equipo de Protección Personal utilizado	
		Cantidad y frecuencia de capacitaciones realizadas	
		Nivel de conocimiento de la exposición a estos peligros	
		Cantidad de procedimientos del proceso de carga de baterías existentes	
		Cantidad de fuentes de ignición y propagación	Lista de verificación norma UNE-EN-1127-1:2020
		Cantidad de peligros actuales Personal involucrado en el proceso de carga de baterías	Matriz HAZOP de identificación de peligros y evaluación de riesgos.
		Frecuencia de mantenimiento realizados a las baterías.	Entrevista al encargado de bodegas Materia Prima y Droguería.

Objetivo 2: Analizar las condiciones de vulnerabilidad de incendio y explosión del área de bodega por la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo de una Compañía Farmacéutica.

Cuadro 3. Operacionalización de variable objetivo 2

Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
<p>Condiciones de vulnerabilidad de incendio y explosión del área de bodega por la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo de una Compañía Farmacéutica.</p>	<p>Evaluación de las condiciones de actuales de las bodegas de Materia Prima y Droguería en las cuales se realiza la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo</p>	<p>Cantidad de medidas de protección contra contacto directo en indirecto durante el proceso de carga</p> <p>Cantidad de medidas de protección durante el mantenimiento</p> <p>Cumplimiento de caudal mínimo requerido</p> <p>Equipo de Protección Personal utilizado</p>	<p>Lista de verificación basada en UNE-EN 62485-3:2015</p>
		<p>Cantidad de medidas para el almacenaje de combustibles</p> <p>Tipo de condiciones ambientales</p> <p>Cantidad de requisitos eléctricos cumplidos</p>	<p>Lista de verificación según NFPA 855</p>

		<p>Cantidad de medidas para la protección de impactos</p> <p>Cantidad de medidas para protección contra incendios</p> <p>Cantidad de medidas cumplidas para los medios de egreso</p> <p>Cumplimiento de ventilación</p> <p>Cantidad de medidas para el control de derrames</p> <p>Cantidad de requisitos cumplidos de baterías</p>	
		Cantidad de requisitos cumplidos de medios de egreso	Lista de verificación según NFPA 101
		Cantidad de amenazas, fortalezas, debilidades y oportunidades	FODA estratégico
		Cantidad de estrategias	
		Cantidad de peligros	Matriz HAZOP de identificación de

		Cantidad de posibles causas Cantidad de consecuencias Cantidad de controles Cantidad de acciones requeridas	peligros y evaluación de riesgos.
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

Objetivo 3: Proponer alternativas de solución ingenieril y administrativos para la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

Cuadro 4. Operacionalización de variables objetivo 3

Variable	Conceptualización	Indicadores	Instrumentos o herramientas
Alternativas de solución ingenieril y administrativos para la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica	Diseño de estructuras y equipo que reduzca los riesgos de la carga de baterías. Diseño de programa que permita conocer prácticas de trabajo seguro.	Cantidad de elementos que integran un programa	Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad en el trabajo INTE T29:2016
		Cantidad de tareas del programa	Matriz RACI
		Cantidad de tiempo que se requiere para el desarrollo del programa	Cronograma
		Cantidad de procedimientos de trabajo seguro	Plantilla de procedimientos administrativos de la

			Compañía Farmacéutica
		Cantidad de capacitaciones	Cronograma de capacitaciones
		Costos asociados a cada alternativa	Presupuesto en cada alternativa
		Cantidad de modificaciones y mejoras realizadas para la carga de baterías en las bodegas de Materia Prima y Droguería	Lista de verificación basada en UNE-EN 62485-3:2015
		Cantidad de requisitos cumplidos en factores legales, factibilidad de implementación, aspectos de salud y seguridad pública, aspectos culturales y sociales, impacto ambiental, económico, requerimientos por parte del beneficiario.	Matriz de comparación de las alternativas de solución
		Verificación de las soluciones	Aplicación de listas de verificación NFPA 855, UNE-EN: 62485, NFPA 101 Y UNE- EN: 1127

E. Instrumentos o herramientas de investigación

1. Entrevista semiestructurada a los colaboradores que realizan la carga de las baterías en las bodegas.

Mediante este tipo de entrevista se establece que tipo de información será necesaria y se seleccionan las preguntas siguiendo un orden. Permite recopilar de forma más abierta los datos ya que no es necesario solo seguir la estructura, si no, permite agregar preguntas (Folgueiras, 2016). La entrevista. Esta entrevista se les realizó a los siete operarios de bodega. (Ver apéndice 1 y 2).

2. Lista de verificación

Esta herramienta relaciona acciones con tareas específicas con el fin de conocer la ausencia o presencia de cada ítem. Usualmente se emplea una escala dicotómica o una casilla de verificación (González et al, 2020). Las listas de verificación utilizadas se basan en las normas:

- NTP 599: Evaluación del riesgo de incendio: criterios. (Ver anexo 1).
- UNE-EN 62485-3:201 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción. (Ver apéndice 3).
- NFPA 855:2020 Norma para la instalación de sistemas estacionarios de almacenamiento de energía. (Ver apéndice 4).
- NFPA 101: 2024 Código de seguridad humana (Ver apéndice 5)

3. Matriz HAZOP de identificación de peligros y evaluación de riesgos.

Es una herramienta que permite establecer los posibles riesgos y peligros a los que se encuentran expuestos los trabajadores. Establece niveles de prioridad y las acciones a tomar.

4. Matriz resumen

Esta matriz elabora un cuadro en el cual se representa la información más importante de forma breve y concisa. Este contendrá la cantidad de peligros según los componentes de las baterías de ácido sulfúrico y plomo

5. Guía para la elaboración del programa de salud y seguridad

Es un documento el cual orienta paso a paso a las personas para la elaboración del programa de salud y seguridad.

6. Matriz RACI

Una matriz de asignación de responsabilidades (RAM) se utiliza para asignar las actividades con los responsables, autoridad, consultor e informado. Se presenta en formato de matriz, asegurando que únicamente exista una persona responsable y evita confusiones. (Figueroa, 2012).

7. FODA

Instrumento para el análisis de los resultados obtenidos divididos en oportunidades, fortalezas, debilidades y amenazas.

8. Diagrama de GANTT

Los diagramas de Gantt son ayudas visuales utilizadas para la planificación y programación de un trabajo (Martins, 2022). Se utiliza para la planificación de la cantidad de tiempo que se requiere para el desarrollo del programa

9. Plantilla de procedimientos

La Compañía Farmacéutica cuenta con un formato básico que deben de tener todos los procedimientos que se realicen.

10. Cronograma de capacitaciones

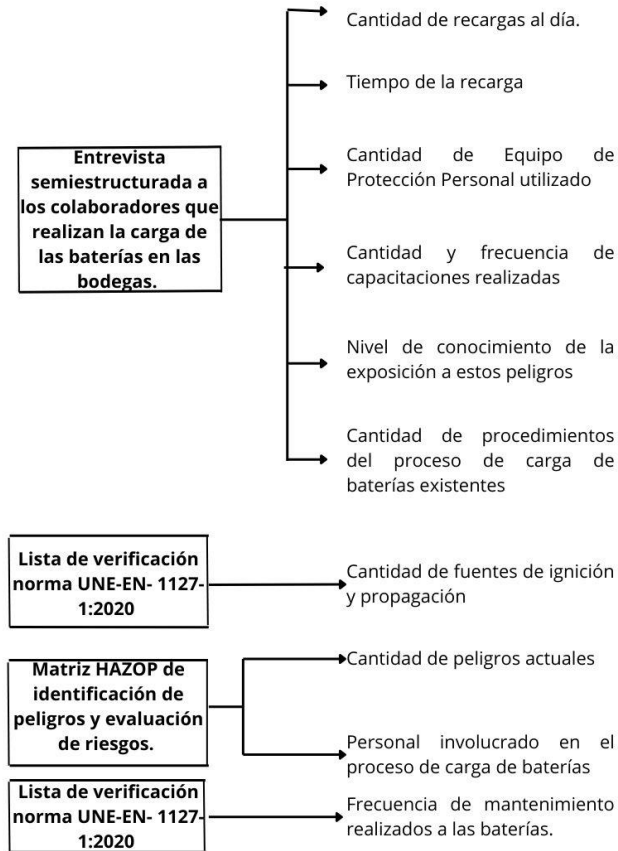
Es una herramienta utilizada para la gestión del proyecto con un listado de tareas necesarias por realizar (Talbert, 2024). Este cronograma contendrá la cantidad de capacitaciones por realizar.

El plan de análisis se muestra en la figura 3

Figura 2. Plan de análisis

Objetivo 1

Identificar la situación actual de la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.



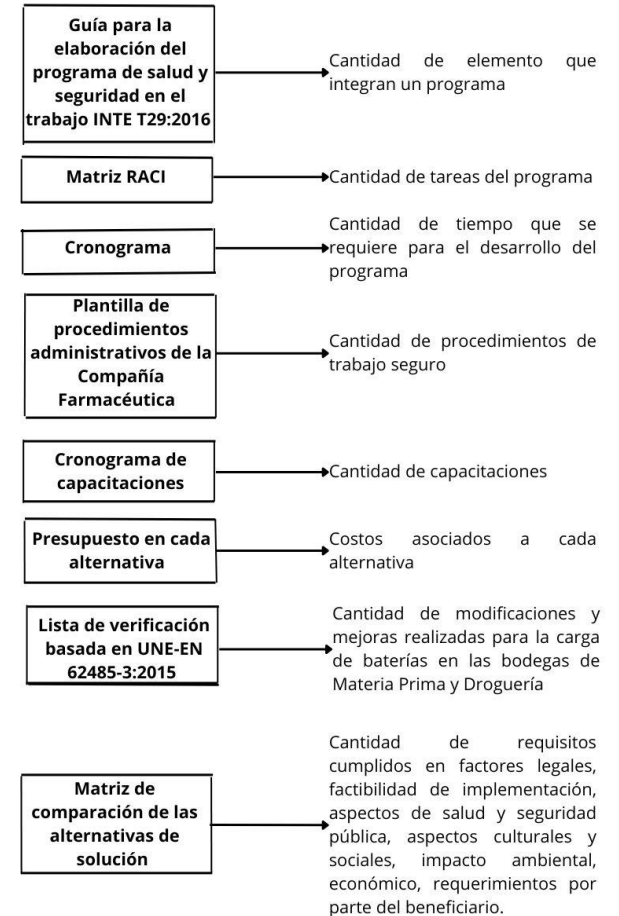
Objetivo 2

Analizar las condiciones de vulnerabilidad de incendio y explosión del área de bodega por la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo de una Compañía Farmacéutica.



Objetivo 3

Proponer alternativas de solución ingenieril y administrativos para la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.



Este proyecto cuenta con tres etapas: la primera etapa busca un diagnóstico inicial de la situación en cuanto al proceso de carga de baterías, con herramientas que ayuden a determinar el conocimiento de los colaboradores, la identificación de peligros y la evaluación de riesgos. Posteriormente, se realiza un análisis de la situación actual según las condiciones y por último se presentan las soluciones que cumplan con las especificaciones anteriormente analizadas.

Inicialmente, se realiza una entrevista semiestructurada al personal de bodega con el fin de conocer los tiempos de recarga, las capacitaciones, la cantidad de procedimientos y el equipo de protección personal utilizado. Esta entrevista presenta la información básica para la carga de baterías y permite conocer el nivel de conocimiento de este por parte de los colaboradores. Además, se determinan los peligros y riesgos asociados a este proceso de carga a los que se encuentran expuestos trabajadores y activos de la bodega.

Por otra parte, mediante la lista de verificación basada en la UNE-EN-1127-1:2020 se conoce la cantidad de fuentes de ignición que puedan comenzar una explosión en la zona de carga. Por último, se realizan entrevistas a SO y al encargado de bodega que permitan conocer el mantenimiento que se le realiza a la zona de carga y cuál es el presupuesto planificado para el desarrollo de este proyecto.

La segunda etapa consta de conocer la situación actual, por lo que se utiliza una matriz HAZOP, esta permite identificar los peligros actuales para el proceso de carga de baterías mediante el jefe de bodega, el jefe de proyectos, el jefe de Salud Ocupacional, auxiliar de bodega y jefe de mantenimiento. Además, se aplican listas de verificación según la normativa nacional con el fin de conocer cuantas de las disposiciones legales cumple actualmente la zona de carga y cuales puntos se deben mejorar. Estas listas están basadas en la NFPA 855, UNE-EN-62485-3:2015 y la NFPA 101. En cada lista se detallan diferentes aspectos por evaluar con el fin de contar con una perspectiva completa de las mejores condiciones para la elaboración de las soluciones. Para el análisis de la información se utilizan gráficos de barras que permiten comparar los requisitos cumplidos de forma visual. Se utilizan porcentajes para determinar los requisitos logrados y los faltantes de las listas de verificación con el fin de conocer el alcance por parte de las bodegas.

Además, se realiza un análisis FODA tipo estratégico para determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de los resultados encontrados para las bodegas de materia prima y droguería. Posteriormente se establecen estrategias para incrementar las ventajas actuales del proceso de carga, reconocer las debilidades y establecer estrategias, las cuales son clave para las recomendaciones que se originan del proyecto.

En la última etapa se proponen alternativas de solución siguiendo la guía para la elaboración del programa de salud y seguridad según INTE T29:2016, especificando la cantidad de tareas del programa mediante la matriz RACI, en la cual se establecen las actividades y su respectivo responsable. El cronograma demuestra la cantidad de tiempo que se requiere para el desarrollo de este programa acompañado de un cronograma de capacitaciones. Estas soluciones están basadas en la lista de verificación según UNE-EN-62485-3:2015 y se realiza una matriz de comparación con el fin de conocer cual solución cumple con la mayoría de los requisitos. Agregado al análisis, se incluye el costo de cada alternativa para la comparación con el presupuesto y la selección de la mejor propuesta para la Compañía Farmacéutica.

IV. Análisis de la situación actual

5.1 Situación actual de la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo

La carga de baterías es realizada en las bodegas de Materia Prima y Droguería dos veces al día por los siete colaboradores de las bodegas. El proceso inicia cuando el apilador o el montacargas es dirigido a la zona de carga, colocando la batería del equipo en dirección a la estación de carga, destacando que en este proceso no se separa la batería del apilador o el montacargas. Posteriormente, se debe esperar un tiempo aproximado de una a tres horas porque los equipos son únicamente cargados en momentos de descanso o cuando el equipo no se esté utilizando. Al finalizar, los colaboradores apagan la batería de carga con el fin de evitar una descarga eléctrica y desenchufan la batería del montacargas para continuar con sus labores.

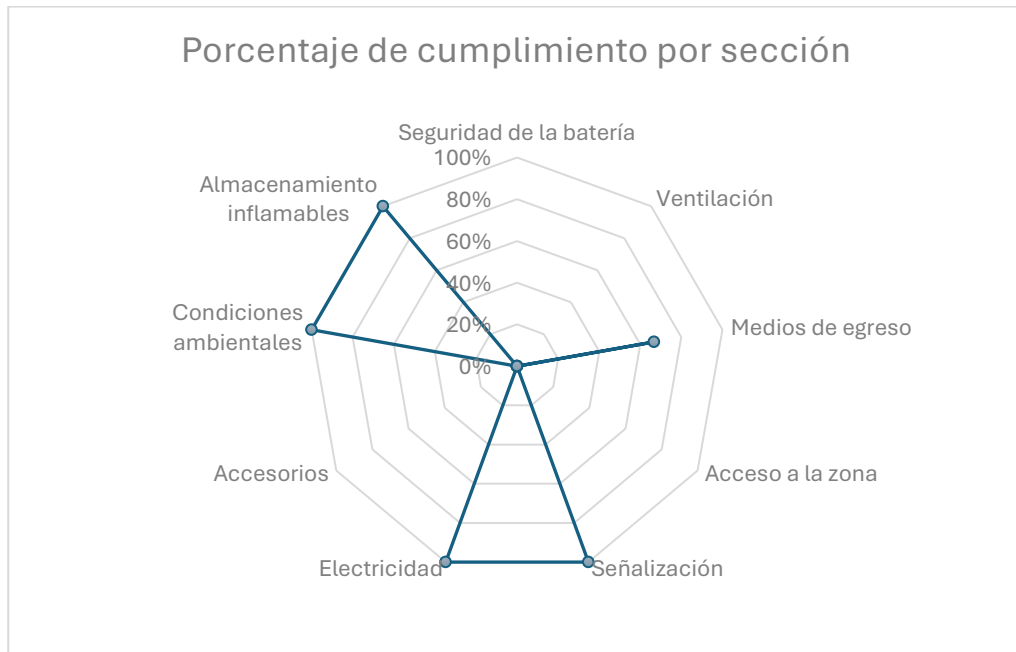
5.2 Identificación de peligros del proceso de carga de baterías

En esta sección se reconocen los peligros presentes en ambas bodegas de la Compañía Farmacéutica para el proceso de carga de baterías mediante la aplicación de distintas herramientas.

Según lo indica el Reglamento a la Ley N° 8228 del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, Costa Rica adopta las normas de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), por lo que la NFPA 855 será tomada como referencia para el análisis de las condiciones del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo. Adicionalmente se incorporan aspectos de UNE-EN-62485 con el fin de complementar la evaluación con relación al estado y protección de las baterías, la ventilación en la zona de carga y el uso de equipo de protección personal.

En este sentido, se aplica la lista de verificación basada en la NFPA 855 y para su análisis los ítems fueron divididos en nueve secciones según el tipo de pregunta, las cuales son: almacenamiento de inflamables, condiciones ambientales, accesorios, electricidad, señalización, acceso a la zona, medios de egreso, ventilación y seguridad de la batería. La figura 4 muestra los resultados en porcentaje obtenidos para cada sección.

Figura 3. Porcentaje de cumplimiento obtenido para las secciones de la lista de verificación basada en la NFPA 855.



A partir del diagrama de araña se evidencia que se cumplen las preguntas relacionadas con las condiciones de electricidad y ambientales, debido a que en ambas bodegas las instalaciones eléctricas cumplen con la NFPA 70 y la temperatura y humedad se encuentran dentro del rango indicado por los fabricantes de las baterías. Con respecto al almacenamiento de sustancias inflamables, la NFPA 855 menciona que el almacenamiento de este tipo de material debe estar a una distancia mínima de 0,9 metros; tanto en la bodega de Materia Prima como la de Droguería, los materiales combustibles se encuentran separados por una distancia de siete metros de la zona de carga.

Los tres medios de egreso en la bodega de Materia Prima y los dos de bodega de Droguería cumplen un 67% de los aspectos ya que actualmente las puertas abren en dirección al egreso y cuentan con barra antipánico en buen estado y en funcionamiento. Sin embargo, se solicita que las puertas de salida deben estar provistas de iluminación de emergencia y en ninguna de las dos bodegas se encuentran instaladas. A pesar de lo anterior, existe señalización que indiquen los medios de egreso y el peligro de alta tensión en las dos bodegas.

En relación con los ítems incumplidos se destaca la falta de seguridad de las baterías, debido a que no existen medidas de contención de derrames en las áreas de carga, tampoco se guarda la distancia de 0.9 m de espacio entre baterías. En el caso de los accesorios las dos bodegas no están provistas de rociadores, detectores de humo ni un sistema de monitoreo que permita la detección temprana y control en caso de incendio.

Las baterías no están protegidas de golpes ya que el proceso de carga se realiza conectadas a los apiladores y montacargas, por lo que los trabajadores deben acercarse hasta la zona de carga y en caso de fallar pueden colisionar contra el estante. En el caso de la bodega de droguería hay paso de apiladores y carretillas por la zona, las que podrían impactar contra las baterías de carga, causando un derrame y daño en las baterías.

A su vez, el acceso a la zona se encuentra delimitada de las demás áreas de la bodega, lo que permite el ingreso y contacto del personal de la empresa con las baterías. A pesar de que el ingreso a bodega es restringido, con el uso de la tarjeta pueden entrar trabajadores de otros departamentos e incluso pueden utilizar esta zona como área de tránsito hacia la parte oeste de la compañía. En el caso de la bodega de droguería, no existe ninguna restricción de acceso al local de carga de baterías puesto a que la puerta se encuentra abierta siempre y no hace falta ninguna identificación para ingresar.

Otro elemento sin cumplir es la ventilación, según la NFPA 855 se solicita en caso de ventilación artificial un caudal igual a $1 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($0.028\text{m}^3/\text{min}$) por cada pie cuadrado de la sala de carga. Para el caso de ventilación natural, la ventilación de escape deberá estar diseñada para limitar la concentración máxima de gas inflamable al 25 por ciento del límite inferior de inflamabilidad (LFL) del volumen total durante el peor de los casos de carga. Este aspecto se detalla en la sección 5.5.

Por otra parte, la lista de verificación según UNE-EN-62485:2015 identificó un 57% de los componentes cumpliendo conforme a la norma. Se verifica que todas las partes en tensión de las baterías están cubiertas y se encuentran en buen estado. En cuanto a la interrupción de la carga para desconectar el equipo, esta se realiza por indicaciones de la jefatura, no obstante, no existe un procedimiento de carga de las baterías y no se han recibido capacitaciones al respecto. Esto significa que los trabajadores no conocen la razón por la que deban llevar a cabo este paso

y no existe ningún tipo de documentación que respalde esta práctica. Por último, el equipo de protección personal necesario solicitado es utilizado durante la realización del proceso de carga, este equipo incluye únicamente zapatos de seguridad ya que no existe contacto con el ácido de la batería.

En cuanto a los aspectos que requieren atención para el mejoramiento del proceso están relacionados a que algunas de las baterías cuentan con bornes y conectores dañados y desgastados por la falta de procedimientos de mantenimiento de los equipos y la antigüedad de estos. Actualmente se está iniciando un periodo de prueba para el control de las baterías y se espera una mejora de las condiciones.

Asimismo, no existe ningún tipo de procedimiento que regule y verifique el retiro de anillos, pulseras o collares por parte de los colaboradores antes de entrar en contacto con las baterías. Tampoco se han brindado capacitaciones que dicten los pasos a seguir para un correcto proceso de carga de baterías; previamente no se había determinado la necesidad de controlar la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo ya que no se había realizado ninguna evaluación.

Por último, se determina que la ventilación en ambas bodegas no proporciona las condiciones de seguridad necesarias para evitar la acumulación de los gases liberados durante el proceso de carga. Este requerimiento es verificado según datos tomados con anemómetro y cálculos basados en la norma UNE- EN- 62485:2015, los cuales son mostrados en el apartado 5.5 de esta sección.

Con el fin de comprender las razones de las fallas de seguridad encontradas con la lista de verificación UNE-EN-62485: 2015, se realiza un análisis mediante la herramienta de 5 porqué, la cual se puede visualizar en el apéndice 7. La causa raíz encontrada en el daño de los bornes y conectores, el retiro de objetos personales metálicos y la falta de ventilación está asociada a que la gestión de la seguridad y salud ocupacional actual no abarcaba este proceso, por lo que existe una falta de control y documentación del proceso de carga de baterías porque no se han realizado evaluaciones sobre el riesgo que representa esta práctica. Finalmente, el cumplimiento de la lista de verificación de la UNE-EN-62485 obtuvo un 38% y la NFPA 855 alcanzó un 33%, ambos porcentajes de cumplimiento son similares. En ambas normas se observa que existe una ventilación limitada se difiere con el caudal calculado; además, no existe delimitación de la zona

de carga, permitiendo la entrada de cualquier colaborador. Es importante mencionar que a diferencia de la NFPA 855 en la UNE-EN-62485 se evalúa el estado y protección de las baterías, el uso de equipo de protección personal y el retiro de objetos personales metálicos. Se debe destacar que la NFPA 855 es de cumplimiento obligatorio, por otro lado, la UNE-EN-62485: 2015 se evaluará con el fin de complementar las prácticas recomendadas.

Integrando los resultados obtenidos previamente por las listas de verificación, se aplica un análisis mediante la matriz HAZOP. Para conocer los riesgos asociados al proceso de carga de baterías se reúne al personal de bodegas, facilidades, planificación de proyectos y salud ocupacional. El fin de incluir a diferentes departamentos es la creación de un análisis integral de la situación mediante diferentes puntos de vista. El cuadro número cinco muestra el resultado obtenido.

Cuadro 5. Matriz HAZOP para la identificación de peligros presentes en el proceso de carga de baterías en las bodegas de Materia Prima y Droguería

Nodo	Palabra guía	Propiedad/ parámetro	Posibles causas	Consecuencias	Controles existentes	Acciones requeridas	Encargado
Conectar batería	Contacto	baterías	Contacto con ácido de batería	Quemaduras Irritación Corrosión Tapones sucios Falta de procedimientos Desconocimiento	Mantenimiento del equipo	Instalar sistema de ventilación. Limpieza de tapones Uso de equipo de protección personal	Contratista Departamento de Salud Ocupacional
Conectar batería	Fallo de	Conexión	Edad de la batería Distracción	Explosión	Mantenimiento del equipo	Revisar y controlar vida útil de la batería. Protocolo en caso de emergencia.	Jefe de bodega y facilidades Departamento de Salud Ocupacional
Conectar batería	Contrario	Electricidad	Contacto entre la batería y metal Fallos internos de la batería Edad de la batería	Explosión Chispas	Mantenimiento del equipo	Estandarizar protocolo del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico-plomo.	Departamento de Salud Ocupacional

						Prohibir el uso de joyería No utilizar herramientas metálicas	Departamento de Salud Ocupacional, jefe de bodega Departamento de Salud Ocupacional, jefe de bodega
Carga	Más	Tiempo	Descuido del personal	Calentamiento de baterías lo cual genera liberación de gases Chispas Descarga eléctrica	Sin controles	Registrar tiempo de inicio y finalización de carga	Colaboradores de bodega
Carga	Mayor	Concentración	Poca ventilación Fuentes de ignición	Explosión Incendio	Sin controles	Ventilación natural o artificial que cumpla con las condiciones establecidas por la NFPA 855	Departamento de Salud Ocupacional Facilidades Contratistas
Desconectar batería	Fallo de	Desconexión	No apagar el cargador	Descarga corriente de	Sin controles	Estandarizar protocolo del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico-plomo.	Departamento de Salud Ocupacional

						Registrar tiempo de inicio y finalización de carga	Colaboradores de bodega
Desconectar batería	Descuido de	Personal	Mantener el cargador encendido cuando no esté en uso	Sobrecalentamiento Emisión de gases Explosión	Sin controles	Estandarizar protocolo del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico-plomo.	Departamento de Salud Ocupacional
Desconectar batería	Aumento de	Gases	Proceso final de carga	Explosión	Sin controles	Ventilación natural o artificial que cumpla con las condiciones establecidas por la NFPA 855	Departamento de Salud Ocupacional Facilidades Contratistas

Nota: Formato del HAZOP basado en UNE-EN-61882:2017

Durante la identificación de peligros se reconocen lesiones físicas al personal por el contacto directo con las baterías y sus partes. Los efectos negativos identificados en el HAZOP, (ver cuadro 4) consisten en la presencia de explosiones, siendo este el más recurrente y está asociada a la liberación de gases durante el proceso de carga, posibles chispas internas, golpes y sobrecalentamiento de las baterías. Al finalizar la evaluación, se determinan tres peligros para el proceso de carga de las baterías de ácido sulfúrico- plomo ubicadas en las bodegas de materia prima y droguería, los cuales son:

- Atmósfera explosiva
- Incendios
- Descarga eléctrica

Con respecto a los controles existentes, están relacionados al mantenimiento de los equipos realizados de manera trimestral, incluyendo la limpieza del equipo únicamente de la parte externa; y los peligros determinados no cuentan con ningún tipo de control para evitar las consecuencias. Esto indica que en el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo es necesario se deben de realizar mejoras para aumentar la cantidad de controles existentes y brindar seguridad al personal y a las instalaciones.

5.3 Instalaciones y medios de egreso

Los medios de egreso son el recorrido continuo desde un punto específico hasta la vía pública (Bomberos de Costa Rica, 2023). Para llevar a cabo esta evaluación se consideran las áreas completas de las bodegas y no únicamente los locales de carga. Es importante seleccionar el tipo de ocupación del recinto, la cual se clasifica como ocupación múltiple mixta, con ocupación principal de almacenamiento ordinario ya que contiene baterías de ácido sulfúrico- plomo que generan gases durante el proceso de carga, generando riesgo de explosión.

Es importante mencionar que en las bodegas de Materia Prima y Droguería no se cuenta con mecanismos de seguridad como rociadores ni detectores de humo. Sin embargo, dentro de la bodega de Materia Prima se ubica la bodega de inflamables con un área de 5 metros de largo

y 5 metros de ancho, esta es la única sección que cuenta con rociadores y detectores de humo dentro de las bodegas.

Mediante la lista de verificación del apéndice 5 se determina que las bodegas cuentan con un piso de losa de concreto sin irregularidades, tampoco es un material resbaloso y el personal en estas áreas debe usar zapatos de seguridad, disminuyendo la probabilidad de sufrir una caída. Asimismo, el camino está señalizado con el fin de garantizar que los trabajadores conozcan la ruta por la que deben evacuar.

Los medios de egreso se encuentran libres de toda obstrucción ya que es prohibido obstaculizar estas zonas, las puertas cuentan con barra antipánico y pueden abrirse fácilmente en caso de una emergencia. En total existen tres medios de egreso distribuidos a lo largo de la bodega de Materia Prima para cinco trabajadores y en Droguería existen dos medios de egreso utilizadas por dos personas y otros en caso de que se encuentren en la bodega.

Según la NFPA 101, se calcula el ancho libre de los medios de egreso según la siguiente ecuación:

$$\text{Ancho libre (cm)} = \frac{\text{Cantidad de personas}}{\text{Factor de capacidad}}$$

La cantidad de personas máximas en esta área es de 15 personas debido a que es un área de almacenamiento, el factor de capacidad es de 0.51 cm/persona y la cantidad de medios de egreso para la bodega de Materia Prima es de cinco y en la bodega de Droguería es de dos. Así se determina que el ancho libre en la bodega de Materia Prima es de 5.8 cm y el de Droguería es de 14.7 cm.

Según la NFPA 101 la cantidad de personas que pueden evacuar por los medios de egreso es calculada como:

$$\text{Cantidad de personas} = \frac{\text{Ancho libre (cm)}}{\text{Factor de capacidad}}$$

Para la bodega de Materia Prima y la bodega de Droguería se determina un ancho libre de 1,06 m y un factor de capacidad de 0.51 cm/persona establecido por la NFPA 101. El total

que puede evacuar por una puerta en estas áreas es de 207 personas, la cual es mayor a la cantidad de personas que se encuentran en las bodegas, como resultado se cumple el requerimiento.

Por otro lado, la carga de ocupantes para las bodegas según la NFPA 101 es igual a la cantidad máxima probable de ocupantes presentes en cualquier momento, en este caso se considera un factor de veinte personas para ambas bodegas. Esto se debe a que la bodega es clasificada como alto riesgo y no se espera encontrar una carga de ocupantes mayor de veinte personas en las bodegas.

Por su parte, el límite de recorrido común según lo establece el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios, para la ocupación de almacenamiento riesgo ordinario sin rociadores, debe proporcionar salidas para permitir que todos los ocupantes escapen hacia el exterior o hacia un lugar seguro con una distancia de recorrido de no más de 15 m. En la bodega de Materia Prima se cumple con lo estipulado ya que se cuenta con diferentes medios de egreso alrededor de la bodega, sin embargo, la bodega de Droguería tiene un recorrido mayor de hasta 20 m, por lo que no se cumple con lo estipulado.

En cuanto a la distancia entre salidas utilizadas como medios de egreso, deben ubicarse a una distancia entre sí no menor a la mitad de la longitud de la máxima dimensión diagonal del edificio cuando no se cuente con rociadores automáticos. Debido a que las bodega de Materia Prima cuenta con cinco medios de egreso, se cumple con la distancia entre salidas. Asimismo, la bodega de Droguería tiene dos medios de egreso, en este caso la distancia sí supera la mitad de la distancia total de la bodega, por lo que incumple.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, tanto la bodega de materia prima como la bodega de Droguería cumplen con los requisitos establecidos en la NFPA 101, esto significa que hay un cumplimiento de la lista de verificación al 100%. Sin embargo, es importante mencionar que se deben mejorar las condiciones de seguridad humana en la bodega de Droguería, ya que no cumplen con la distancia límite de recorrido ni con la distancia entre salidas.

5.4 Fuentes de ignición

Las fuentes de ignición son parte importante del efecto de un incendio porque puede aumentar o disminuir la magnitud y el efecto de este. Existen diferentes tipos que pueden estar abiertas, ocultas o intermitentes (Bomberos Consorci Provincial de Valencia, 2016). Las posibles fuentes de inflamación son las superficies calientes, llamas y gases calientes, impacto, fricción y abrasión generados mecánicamente, equipos eléctricos y componentes, electricidad estática, rayos, ondas electromagnéticas de radiofrecuencia y otros.

Las baterías al encontrarse en una posible atmósfera explosiva por los gases producidos durante la carga deben de considerar las fuentes de ignición que generarían un accidente. En el siguiente cuadro se observa las fuentes de ignición encontradas en las bodegas de materia prima y droguería según el apéndice 6: Fuentes de ignición en las áreas de bodega de Materia Prima y Droguería basada en la norma UNE-EN 1127-1:2020 Atmósferas explosivas. Prevención y protección contra la explosión. Parte 1: Conceptos básicos y metodología.

Cuadro 6. Resumen fuentes de ignición identificadas en el proceso de carga de baterías basadas en la UNE-EN 1127-1:2020

Fuente de ignición	Causas
Impactos, fricción y abrasión generados mecánicamente	Caídas y golpes
Equipos eléctricos y componentes	Baterías y cargadores de baterías Uso de joyería.
Corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica	Baterías y cargadores de baterías
Electricidad estática	Paso de montacargas y apiladores
Reacciones exotérmicas	Cortocircuito
Ondas electromagnéticas de radiofrecuencia	Uso de radios

Durante la evaluación se identificaron seis diferentes tipos de fuentes de ignición, esto indica que un 46% de los ítems indicados en la norma UNE-EN-1127-1:2020 se encuentran como posibles fuentes de ignición en ambas bodegas como se puede visualizar en el cuadro 6, de las cuales tres son consideradas parte del sistema de carga de las baterías y tres son condiciones externas.

En el caso de impactos generados mecánicamente, el local de carga se encuentra expuesto a golpes ya que es una zona de paso, por lo que pueden llegar a recibir golpes o caerse. En cuanto a los equipos eléctricos se deben considerar el equipo de carga y la joyería que utilice el personal mientras conecten y desconecten ya que pueden entrar en contacto con alguna parte en tensión. La electricidad estática puede provocarse por el contacto de los montacargas y apiladores en el área con el piso, especialmente porque estos equipos se acercan a la zona de carga.

Al igual que los equipos eléctricos, las corrientes eléctricas parásitas se relacionan con los cargadores, el cableado y la batería. Por otra parte, las reacciones exotérmicas se generarían en caso de cortocircuito ya sea en las partes internas de la batería, en los cables o al conectar y/o desconectar la batería. Por último, las ondas electromagnéticas de radiofrecuencia son muy frecuentes debido a que los trabajadores transportan el radio y lo utilizan constantemente incluso cuando se realice el procedimiento de carga.

5.5 Ventilación

La ventilación tiene el objetivo de mantener la concentración de los gases bajo el límite inferior de explosividad con el fin de proporcionar un espacio seguro en caso de liberación de gases durante el proceso de carga. Actualmente, ambos locales de carga están ubicados dentro de la bodega, la única abertura es la puerta y tampoco cuentan con ventilación artificial. Por esta razón, se debe calcular el caudal mínimo de ventilación requerido según la legislación y se compara con el caudal requerido por parte de la UNE- EN- 62485: 2015 y la NFPA 855, de esta forma se elige el resultado que permita mantener este espacio con mayor ventilación.

Con el instrumento anemómetro se realizan mediciones de la ventilación para las dos bodegas el 11 de setiembre a las 11:00 a.m., el día estaba a 25 ° y soleado. Los resultados obtenidos demuestran que no se cumple con el caudal anteriormente calculado ya que el

anemómetro marca 0 m/s. La razón se puede asociar a que ambos locales de carga se encuentran dentro de las bodegas y no existe sistemas de ventilación estas áreas.

Según la NFPA 855, el caudal de ventilación artificial debe ser igual a 1 ft³/min (0.028 m³/min) por cada pie cuadrado de la sala de carga, por lo que es importante conocer las medidas de los locales de carga ya que la ventilación es acorde a esta medida. Se debe destacar que para el cálculo se toma como referencia el área esperada para el diseño de los locales de carga.

Por otro lado, la UNE-EN-62485 considera el valor final de la corriente de carga y el número de elementos de las baterías. Ambos datos son brindados por el fabricante, sin embargo, valor final de la corriente de carga se desconoce para estos equipos por lo que se calcula una estimación de este dato según el amperaje de la batería multiplicado por aproximadamente el porcentaje final de carga, es decir, un 40%. Únicamente se realiza el cálculo para la bodega de Materia Prima ya que se desconocen los elementos de la batería ubicada Los otros factores son variables brindadas por norma, siendo así el resultado de la fórmula como sigue:

$$Q = 0,055 \times n \times I_{gas} \text{ (m}^3\text{/h)}$$

n= número de elementos

I_{gas}= Valor final de la corriente de carga

Para bodega de Materia Prima Q= 135,41 ft³/min

Para bodega de Droguería Q= 14,75 ft³/min

A continuación, se muestra el caudal mínimo requerido para ambas bodegas según NFPA 855 y UNE-EN-62485.

Cuadro 7. Áreas de locales de carga

Local de carga	Área en m ²	Área en ft ²	Caudal requerido para	Caudal requerido por
----------------	------------------------	-------------------------	-----------------------	----------------------

			ventilación artificial por NFPA (ft³/min)	UNE-EN-62485:2015 (ft³/min)
Materia Prima	12	129,17	129,17	90,69
Droguería	10,75	115,71	115,71	14,75

Se utilizará la NFPA 855 como criterio ya que según lo indica el Reglamento a la Ley N° 8228 del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, Costa Rica adopta las normas de la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA por sus siglas en inglés), por lo que los criterios encontrados en la norma NFPA 855 tienen prioridad ante los de la UNE-EN-62485. Por otra parte, la UNE-EN-62485:2015 toma en cuenta la cantidad de baterías y en caso de que a futuro se requiera comprar nuevas baterías se debería realizar el cálculo de nuevo y realizar las modificaciones respectivas, al contrario, la NFPA 855 se basa en el área del local, por lo que en caso de aumentar la cantidad de baterías no existiría afectación.

Mediante la entrevista aplicada al encargado y colaboradores de bodega se obtiene información del proceso de carga de las baterías y el conocimiento del personal con respecto al mismo. Las baterías de apiladores y montacargas son cargadas dos veces al día ya que no se cumple el ciclo completo de carga, es decir, se conecta la batería durante descansos y cuando se necesita nuevamente se desconectan, por lo que se debe de repetir el proceso continuamente. El espacio permite cargar hasta tres baterías simultáneamente, pero es común que solo carguen una a la vez.

No se ha recibido ninguna capacitación al respecto de los peligros a los cuales se enfrentan los operarios de los cargadores al realizar la carga de las baterías y tampoco el riesgo que representan estos equipos al estar expuestos. Asimismo, se desconoce el correcto procedimiento de manejo y carga de las baterías ya que como tal no existen métodos establecidos por la compañía. Sin embargo, sí existe conocimiento del tipo de batería que se encuentra en las bodegas, pero no del cargador y tensión que se utiliza.

Desde el establecimiento de la empresa no se han realizado evaluaciones a estos locales de carga y por buenas prácticas del jefe de bodega se realiza el apagado de la batería antes de

conectarla y al momento de desconectarla. También se realiza mantenimiento continuo por parte de la empresa que realiza la revisión de los apiladores y montacargas cada 3 meses, por lo que los equipos están en constante ajuste en la cantidad de agua y componentes en caso de ser necesario.

En relación con el cambio de las baterías, montacargas y apiladores a pesar de que se espera reemplazar el equipo en algún momento, aún no se encuentra dentro de los planes de la Compañía. También, está previsto la compra de más baterías, sin embargo, esto está sujeto al crecimiento de la compañía y aún no está proyectada la cantidad que sean necesarias.

5.7 Análisis FODA

Para el análisis de la información se realiza un FODA estratégico, el cual permite comparar las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del proceso de carga con el fin de plantear estrategias. En el cuadro 8 se pueden observar los resultados.

Cuadro 1. Análisis FODA estratégico

Fortalezas	Debilidades
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantenimiento preventivo realizado de forma trimestral a las baterías, montacargas y apiladores 2. Medios de egreso en bodegas Materia Prima y Droguería cumplen con la NFPA 101 3. Compromiso evidenciado en la política y los principios de la compañía. 4. Participación de los diferentes departamentos en la mejora continua de los procesos de seguridad en la compañía 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Riesgo de incendio y explosión durante el proceso de carga de baterías 2. Incumplimiento de NFPA 855, UNE-EN-62485:2015 y UNE-EN 1127-1: 2020, lo que genera condiciones inseguras para los colaboradores y las instalaciones 3. Falta de procedimientos y capacitación del proceso de carga de baterías 4. Degradación de las baterías 5. Ventilación inadecuada

<p>5. Correcta señalización de los medios de egreso y riesgos asociado al proceso de carga</p> <p>6. Presupuesto disponible para la remodelación de los espacios de carga</p>	<p>6. Baterías, montacargas y apiladores antiguos</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>1. Expansión del espacio físico de la compañía</p> <p>2. Crecimiento de la compañía en el mercado nacional</p> <p>3. Colaboración de contratistas para la elaboración de procedimientos y capacitación.</p> <p>4. Procesos de seguridad de Chile incentivan a mejorar en el proceso de carga de baterías con el conocimiento e instalaciones actuales.</p>	<p>1. Requisitos reglamentarios que impliquen modificaciones costosas.</p> <p>2. Equipos más actualizados con baterías de litio, representando nuevos peligros para la organización.</p> <p>3. Incumplimiento de requisitos solicitados por los propietarios de la compañía lo que conllevaría a sanciones</p>

Cuadro 9. Matriz MAFE

Estrategias FO	Estrategias DO
<p>1. Estandarizar protocolo del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo. (F1, F3, O3, O4).</p>	<p>1. El crecimiento de la compañía brinda opciones para mejorar las condiciones de seguridad de la empresa, ya que los recursos pueden ser direccionados a la mejora de estas debilidades. (O1,O2,D2)</p> <p>2. Colaboración de contratistas para el diseño de ventilación adecuada. (O3,D5).</p>

	3. Colaboración de contratistas para la elaboración de procedimientos del proceso de carga de baterías. (O3, D3)
Estrategias FA	Estrategias DA
1. Implementar sistema de ventilación acorde a la NFPA 855 (D2, D5, F5, F3)	1. Desarrollar un programa para el proceso de carga de las baterías de ácido sulfúrico y plomo según NFPA 855 e INTE T29:2016 (A3, D3, D2, D1) 2. Desarrollar controles administrativos e ingenieriles para gestionar el riesgo asociado (D1, D2, A3)

6 Conclusiones

Se evidencia una deficiencia en los controles para la prevención de los riesgos asociados a las explosiones e incendios en el proceso de carga de baterías representando una amenaza para las instalaciones y personal.

Los controles existentes abarcan en su mayoría el mantenimiento de las baterías y la señalización correcta de los locales de carga, sin embargo, se determina que los peligros identificados no cuentan con la protección adecuada. Esto sugiere que el proceso no ofrece la seguridad adecuada para los locales de carga ni para el personal que realice el procedimiento de carga de las baterías.

En las bodegas de Materia Prima y Droguería existe riesgo de explosión e incendio ya que no se cumple con los requisitos necesarios establecidos por las normas UNE-EN-62485: 2015 y NFPA 855. Esto se debe a la ausencia de ventilación, falta de rociadores, detectores de humo, monitoreo, ubicación de los equipos y carencia de delimitación del espacio.

La bodega de Droguería es vulnerable en caso de incendio ya que no se cumplen los requisitos relacionados a la seguridad humana con respecto a la distancia límite de recorrido, y la distancia los medios de egreso, por lo que se deben de hacer mejoras.

La ventilación de las áreas es insuficiente en comparación con el caudal requerido por la NFPA 855. La falta de una ventilación adecuada puede aumentar la concentración de los gases producidos durante el proceso de carga de baterías aumentando la probabilidad de una atmosfera explosiva. Además, hay presencia de fuentes de ignición puede ser peligroso ya que cualquier chispa puede causar una explosión. Durante el desarrollo de este proyecto se utiliza la UNE-EN-62485: 2015 ya que brinda información de evaluación importante, sin embargo, para el diseño de la ventilación se utiliza la NFPA 855 ya que toma en cuenta el área del local de carga, siendo una ventaja en caso de que se deseen comprar más baterías. Además, la ley 8228 indica que la NFPA es de obligatoriedad en nuestro país. El personal no ha recibido capacitación sobre los peligros a los que son expuestos durante el manejo de baterías, ni se tiene conocimiento de los correctos procedimientos de carga. La falta de información puede desencadenar accidentes e incidentes ya que no se conoce la necesidad de protección, uso de EPP, reconocimiento de señalización y prohibición del uso de objetos metálicos.

7 Recomendaciones

Se recomienda diseñar dos locales de carga para las baterías de ácido sulfúrico- plomo que cumplan con los requisitos establecidos por las normas UNE-EN-62485: 2015, NFPA 855 y NFPA 101 y proporcione una atmósfera segura para los colaboradores de la Compañía. Estos locales para las bodegas de Materia Prima y droguería deben contar con medidas de seguridad para las baterías, la instalación eléctrica, correctos medios de egreso, detectores de humo, rociadores, señalización, control de fuentes de ignición y ventilación según NFPA 855.

Crear un programa para el almacenamiento y manejo de seguro baterías de ácido sulfúrico y plomo basado en los principios de la Compañía y la normativa INTE T29:2016, NFPA 855, UNE-EN-62485-3: 2015 y NFPA 101. Este programa contendrá capacitaciones, procedimientos y cronograma, además de controles ingenieriles para los peligros de explosión e incendios.

Se recomienda la instalación de un sistema de ventilación que cumpla con el caudal requerido por la NFPA 855 y con los requisitos para ser utilizados en atmosferas explosivas en los locales de carga. Esto con el fin de extraer los gases generados durante el proceso de carga y mitigar el riesgo de explosión e incendio por atmósfera explosiva.

Desarrollar un procedimiento estandarizado en conjunto con los contratistas para el proceso de carga de las baterías mediante documentación basada en los requisitos establecidos por la Compañía Farmacéutica, que guíe a las personas trabajadoras para el manejo de las baterías de forma segura.

Invertir en equipo de protección personal que incluya zapatos de seguridad, lentes de seguridad y guantes que cumplan con los requisitos para su uso durante el proceso de carga de baterías.

Implementar capacitaciones programadas en conjunto con los contratistas para los colaboradores de bodega con el objetivo de fomentar una cultura de seguridad y conocimiento de los riesgos asociados a la carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo. Se debe establecer un aseguramiento de la eficiencia de estas capacitaciones.

En las bodegas de Materia Prima y Droguería, incluyendo los locales de carga, se debe realizar una evaluación de las condiciones en seguridad humana ya que se debe mejorar la cantidad de medios de egreso y su ubicación, para mejorar la distancia límite de recorrido y la distancia entre medios de egreso en la bodega de Droguería.

Se debe valorar la expansión de la cobertura del sistema contra incendios y rociadores para el área de bodega de Materia Prima y Droguería.

Se recomienda realizar un nuevo proceso de carga de baterías en el cual se deben separar las baterías de los montacargas y apiladores. Por tanto, se recomienda instalar intercambiadores de baterías adaptables a las carretillas empleadas en las bodegas, de esta forma se disminuyen los riesgos y previenen lesiones musculoesqueléticas durante el intercambio de las baterías. Además, busca la disminuir el riesgos de caídas de baterías durante su traslado, ya que puede ocasionar una atmósfera explosiva y derrame del ácido.

V. Alternativas de solución

Mediante los resultados obtenidos en el apartado anterior se propone un diseño de Programa de seguridad contra incendios y explosiones para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica con el fin de proteger la salud de los colaboradores y la compañía. El programa se basa en la norma INTE T29:2016 y los controles son diseñados de acuerdo con la NFPA 855: Norma para la Instalación de Sistemas de Almacenamiento de Energía Estacionarios.

A continuación se presentan tres soluciones ingenieriles respectivamente para cada uno de los locales de carga, ya que las condiciones de construcción de la bodega de Materia Prima y Droguería son distintas. El planteamiento de tres soluciones permite abarcar las diferentes ideas planteadas en la Compañía Farmacéutica y seleccionar la más indicada según salud y seguridad, ambiente, economía, sociocultura y estándares normativos.

Las propuestas de la bodega de Materia Prima consideran el almacenamiento de ocho baterías ya que el espacio permite colocar otros dos estantes. Es importante recordar que se debe guardar una distancia de seguridad de 0.9m entre cada una de las baterías. Por su parte, la bodega de Droguería almacena una batería, pero el espacio puede permitir un máximo de cuatro baterías.

Los accesorios como detectores de humo, kit de contención de derrames, extintores, y detector de hidrógeno se deben de adquirir dado que las bodegas no cuentan con estos elementos. Agregado, los rociadores deben funcionar acorde con el sistema contra incendios de la empresa. Por su lado, la compañía cuenta en el inventario con luces a prueba de explosión, estas no estarán incluidas en el costo.

Para facilitar la comprensión de los cambios de ubicación se muestra la localización actual de la zona de carga en las bodegas de Materia Prima y droguería se observan en la figura 5 y 6 respectivamente.

Figura 5. Zona de carga en bodega de Materia Prima

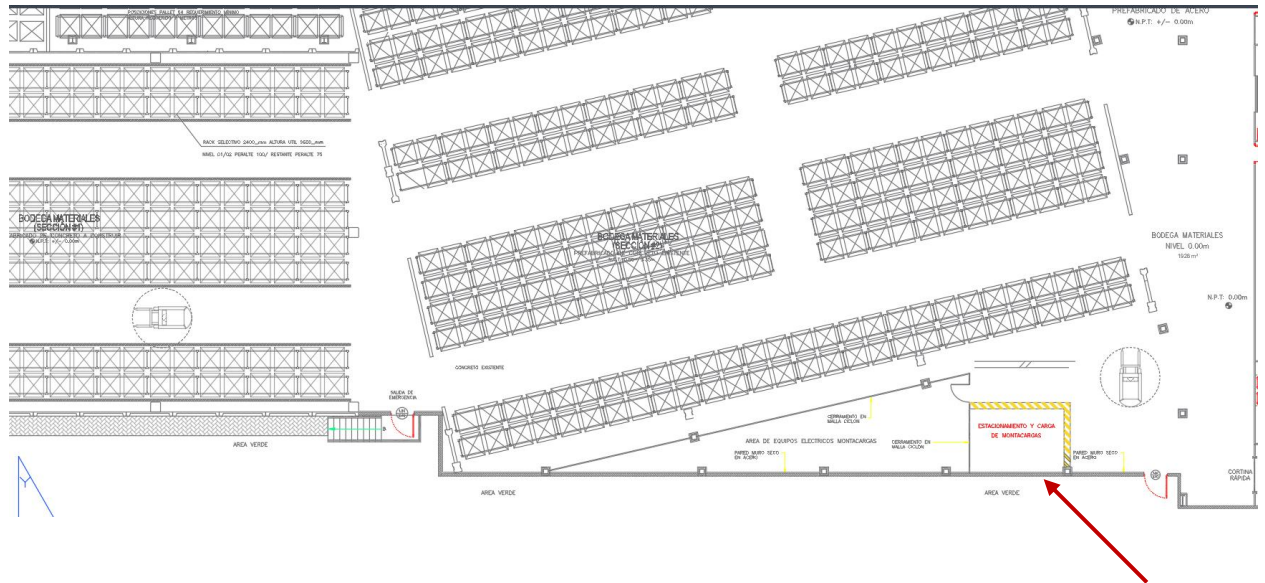
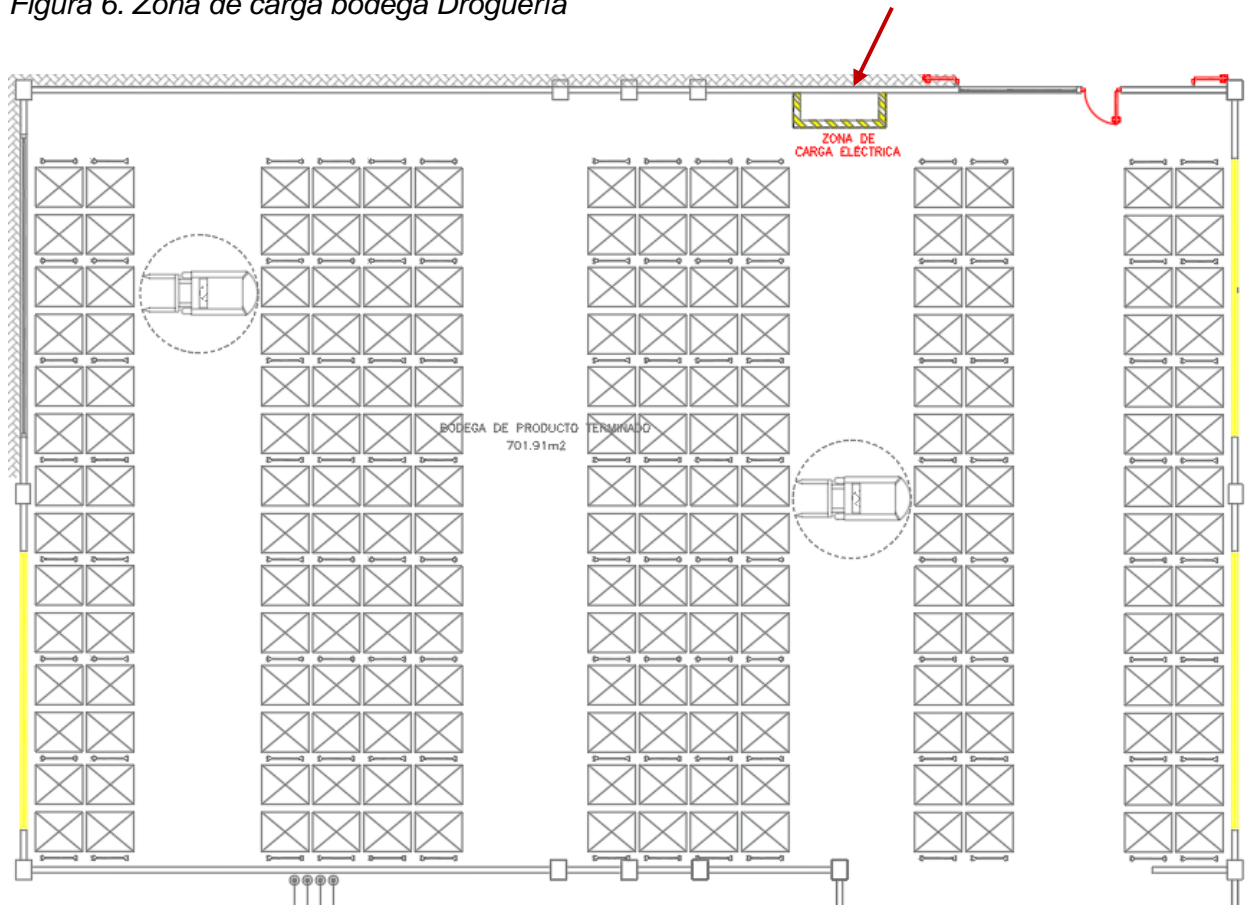


Figura 6. Zona de carga bodega Droguería



I Parte. Propuestas de solución ingenieriles para el proceso de carga de baterías en la bodega de Materia Prima

Según el análisis realizado se determina que se requiere la construcción de dos locales de carga, en donde se permita realizar el proceso de carga de forma segura. A continuación se muestran las alternativas de solución propuestas para la bodega de Materia Prima y Droguería.

1. Local de carga de Materia Prima

Según la NFPA 855, los materiales combustibles que no tengan relación con el local de carga deben estar separados del mismo. Por esta razón, todas las alternativas de solución para el local de carga de Materia Prima consideran el encerramiento del área con los siguientes detalles:

Alternativa 1: Encerramiento con ventilación natural

Con el fin de separar las baterías del resto de la bodega se propone construir un local de carga que cuente con una ventana que proporcione ventilación natural al recinto. La ventilación natural según la NFPA 855 debe diseñada para limitar la concentración máxima de gas inflamable al 25% del límite inferior de inflamabilidad (LFL) del volumen total durante el peor de los casos de carga. El cálculo de la ventilación natural se puede ver en el apéndice 10, el resultado solicita que esta bodega debe tener un caudal mínimo de 195.29 cfm, los cálculos

Las características de este se encuentran a continuación.

Cuadro 9. Características de alternativa 1

Aspecto	Especificación	Costo total
Medidas del local	Largo: 4.2m Ancho: 3m Alto: 5,3 m	₡ 10 601 959
Ventana	2,40 m x 2,40 m Tapasol en aluminio	
Paredes	Concreto	
Puerta	Cortina eléctrica de 2m de ancho y 2.5 m de alto	
Intercambiadores	3 carretillas eléctricas	
Señalización	INTECO	
Alimentación eléctrica	220v	
Iluminación	Artificial con lámparas con protección a prueba de explosión.	
Ventilación	Natural	
Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, rociadores	

A pesar de que esta propuesta tiene un costo menor, la ventana puede causar problemas en el ambiente por el ingreso de polvo a la sala que luego se puede esparcir hacia la bodega de materia prima, ya que la localización de la Compañía está cerca de construcciones y de calle de lastre. El paso de camiones continuamente ocasiona la entrada de polvo a diferentes áreas y en el caso de esta ventana, es aún más fácil su ingreso. Esto implica una limpieza continua de los equipos como baterías, montacargas y apiladores como problemas de suciedad en el área de materia prima.

Alternativa 2: Ventilación artificial con detector de hidrógeno

A diferencia de la alternativa 1, esta propone un sistema de extracción que funcione según la cantidad de hidrógeno liberado por las baterías mediante la detección de un sensor, por lo que la ventilación no estaría activada constantemente, sino que únicamente se encendería en caso de detectarse altos niveles de hidrógeno. Esta opción evita que los trabajadores tengan que estar revisando si la ventilación está encendida ya que se activará de forma automática.

Cuadro 10. Características de alternativa 2

Aspecto	Especificación	Costo total
Medidas del local	Largo: 4.2m Ancho: 3m Alto: 3 m	₡ 15 601 959
Paredes	Concreto	
Puerta	Corta fuego y barra antipánico Cortina eléctrica de 2m de ancho y 2.5 m de alto	
Intercambiadores	3 carretillas eléctricas	
Señalización	INTECO	
Alimentación eléctrica	220v	

Iluminación	Artificial con lámparas con protección a prueba de explosión.
Sistema de ventilación	Extractor a prueba de explosión Rejilla de entrada de aire
Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, rociadores, detector de hidrógeno.
Aspecto ventilación	Especificación
Tipo de extractor	Centrifugo
Caudal del extractor	250 CFM
Volumen del extractor	75 dBA
Peso del extractor	49 lbs
Tipo de protección del extractor	A prueba de explosión NEC Clase I División 1, 2 Grupos C, D NEC Clase II División 1, 2 Grupos E, F, G
Ductos	Circulares de acero inoxidable
Diámetro	10,16 cm

Este Sistema de ventilación está diseñado para funcionar en atmósferas explosivas ya que cuenta con un extractor a prueba de explosión en forma circular con el fin de evitar fricciones y ductos resistentes que no generen chispa con el paso del aire.

En cuanto al ingreso del aire al recinto, se instalará una rejilla de aluminio a un costado de la sala en la parte inferior, esto permitirá que el aire ingrese por la parte de abajo y suba con el extractor, generando un movimiento de aire en toda la sala.

Alternativa 3: Cambio a baterías de Litio

En los últimos años las baterías de litio han tenido un gran crecimiento ya que mantiene la carga por largos periodos de tiempo, son menos pesadas que las baterías tradicionales, tienen una gran vida útil si se mantienen con una tensión eléctrica constante y no necesitan mantenimiento constante. Sin embargo, se debe considerar que el calentamiento del litio puede ocasionar una explosión, además, se generan gases irritantes y vapores tóxicos. En una sobrecarga se puede presentar una explosión e incendio que no es fácil de apagar. (Manrique, 2014).

Debido a las razones anteriores, esta propuesta considera únicamente el cambio de los apiladores, el montacargas y el apilador, sin embargo, más adelante se recomiendan medidas de control en caso de explosión. La capacidad de los equipos es de 1,5 toneladas, con garantía de un año y un costo de ₡ 21 200 000 (por apilador) y de ₡ 25 500 000 (montacargas), se debe considerar que se utilizan tres apiladores y un montacargas en la bodega de Materia Prima y dos apiladores en la bodega de Materia Prima. El total de esta propuesta es de ₡ 131 500 000.

Comparación de alternativas de solución

Finalizada la descripción de las alternativas de solución propuestas se comparan según los criterios de salud, seguridad, ambiente, económico y estándares de normativa. Se asigna una puntuación del “1” al “3”, siendo “1” el peor caso y “3” la propuesta más favorable. Al final se suman todas las puntuaciones asignadas y la alternativa con el mayor puntaje será la elegida. Los criterios de evaluación varían según el tema al que corresponden como se puede observar en el cuadro 12.

Cuadro 11. Criterios de la escala de evaluación para la escogencia de controles ingenieriles

Puntuación	Criterios				
	Salud y seguridad	Económico	Sociocultural	Ambiental	Estándares aplicables

1	La alternativa controla o elimina la exposición a factores de riesgo durante el almacenamiento de baterías	La alternativa sobrepasa el presupuesto asignado (€ 20 000 000)	La alternativa no permite almacenar las baterías actuales	La totalidad de residuos no se pueden gestionar	No se cumple con la NFPA 855
2	La alternativa controla la exposición a factores de riesgo durante el almacenamiento; pero crea nuevos peligros	Es una alternativa costosa pero se ajusta al presupuesto asignado (€ 20 000 000)	La alternativa permite almacenar las baterías actuales	La totalidad de los residuos se pueden gestionar	Se cumple con algunos requisitos de la NFPA 855
3	La alternativa controla o elimina la exposición a factores de riesgo durante el almacenamiento e intercambio de baterías	Es la alternativa de menor costo y se ajusta al presupuesto (€ 20 000 000)	La alternativa permite almacenar las baterías actuales y pueden agregarse más baterías	-	Se cumple con la totalidad de requisitos de la NPFA 855

Una vez definidos los criterios de escogencia, se evalúan las alternativas en el cuadro 13.

Cuadro 12. Matriz multicriterio para las alternativas de solución de bodega de Materia Prima.

Alternativa de solución	Criterio					Puntuación total
	Salud y seguridad	Ambiental	Económico	Sociocultural	Estándares normativos	

Alternativa 1. Encerramiento con ventilación natural	La alternativa soluciona los problemas identificados ya que la abertura permite un caudal de 195.29 cfm, sin embargo, la contaminación que genera el polvo afecta las baterías y puede contaminar la Materia Prima	La creación de la alternativa genera sobrantes de material sin embargo la empresa cuenta con un plan ambiental de disposición final.	Es una alternativa costosa, sin embargo, se encuentra dentro del presupuesto. (¢ 20 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	Cumple con los apartados de ventilación, medios de egreso, accesorios, condiciones ambientales, almacenamiento de inflamables, electricidad, señalización, acceso a la zona y seguridad de la batería de la NFPA 855.	
Puntaje:	2	1	2	3	3	11
Alternativa 2: Ventilación artificial con detector de hidrógeno	La alternativa soluciona los problemas identificados, el sistema de ventilación está diseñada acorde a los requerimientos de la NFPA 855	La creación de la alternativa genera sobrantes de material sin embargo la empresa cuenta con un plan ambiental de disposición final.	Es una alternativa costosa, sin embargo, se encuentra dentro del presupuesto. (¢ 20 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	Cumple con los apartados de ventilación, medios de egreso, accesorios, condiciones ambientales, almacenamiento de inflamables, electricidad, señalización, acceso a la zona y seguridad de la batería de la NFPA 855.	
Puntaje:	3	1	2	3	3	12

Alternativa 3: Cambio a baterías de Litio	La alternativa de solución soluciona los problemas identificados, sin embargo, estas baterías también representan un riesgo de incendio.	Se generan desechos de equipos y baterías de ácido sulfúrico-plomo.	Sobrepasa el presupuesto asignado (C\$ 20 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	Cumple con los apartados de ventilación, medios de egreso, accesorios, condiciones ambientales, almacenamiento de inflamables, electricidad, señalización, acceso a la zona y seguridad de la batería de la NFPA 855.	
Puntaje:	2	1	1	3	3	10

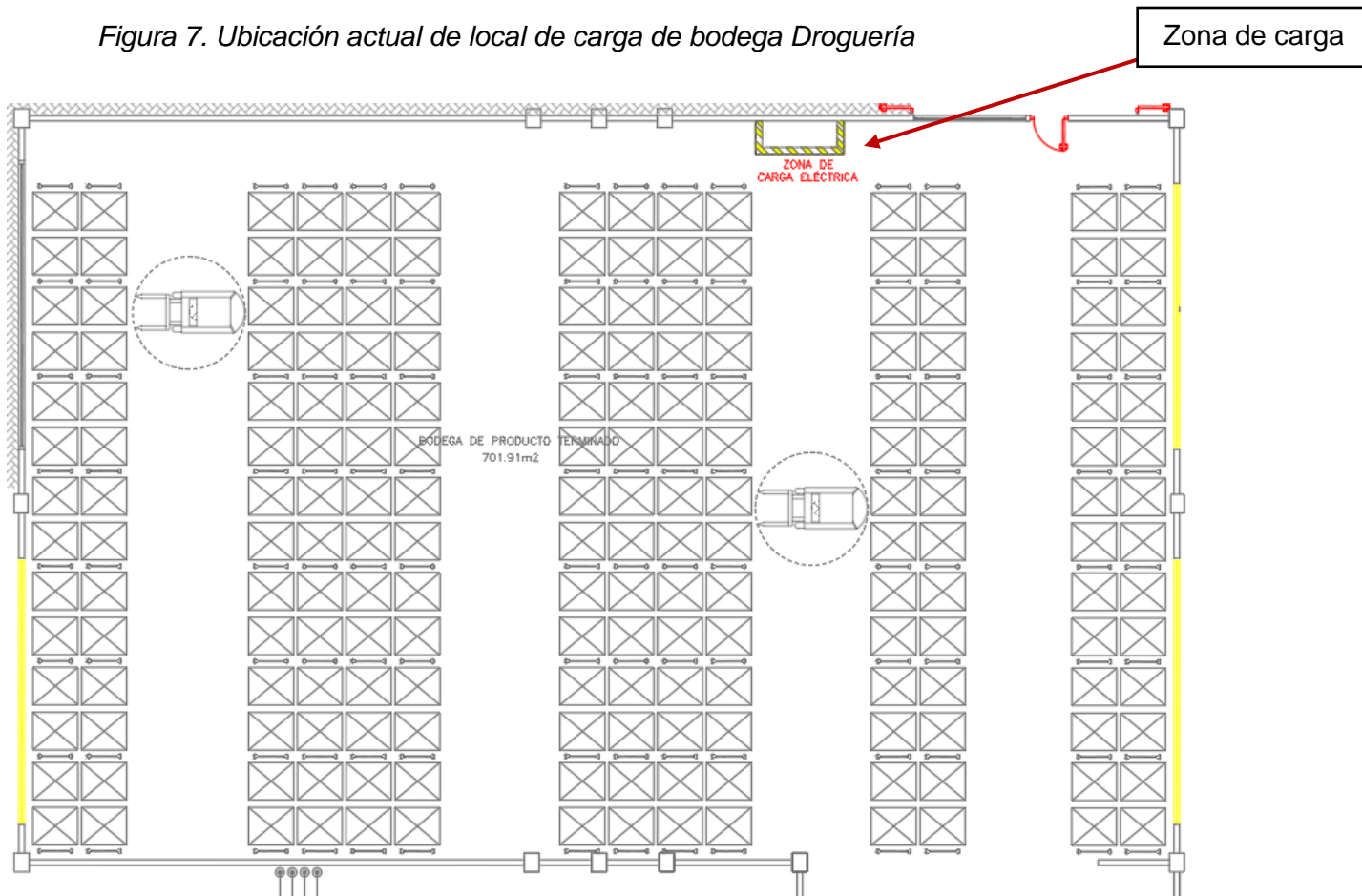
Según el cuadro anterior, la alternativa 2 cuenta con un costo elevado, sin embargo, tiene las mejores condiciones de salud y seguridad, ambiente, sociocultural y normativo. Por esta razón, es la alternativa seleccionada.

Local de carga Droguería

Al igual que la bodega de Materia Prima, se debe contar con separación del local de carga con el resto de la bodega con el fin de evitar accidentes. Además del diseño de un sistema de ventilación que impida la creación de atmosferas explosivas. A continuación, se muestran las alternativas de solución para el local de carga de droguería.

Actualmente el local de carga se encuentra ubicada dentro de la bodega de Droguería, en un costado. Este es un espacio limitado, por lo que se solicita el traslado de esta zona a otra ubicación donde se puedan instalar las condiciones de seguridad necesarias.

Figura 7. Ubicación actual de local de carga de bodega Droguería

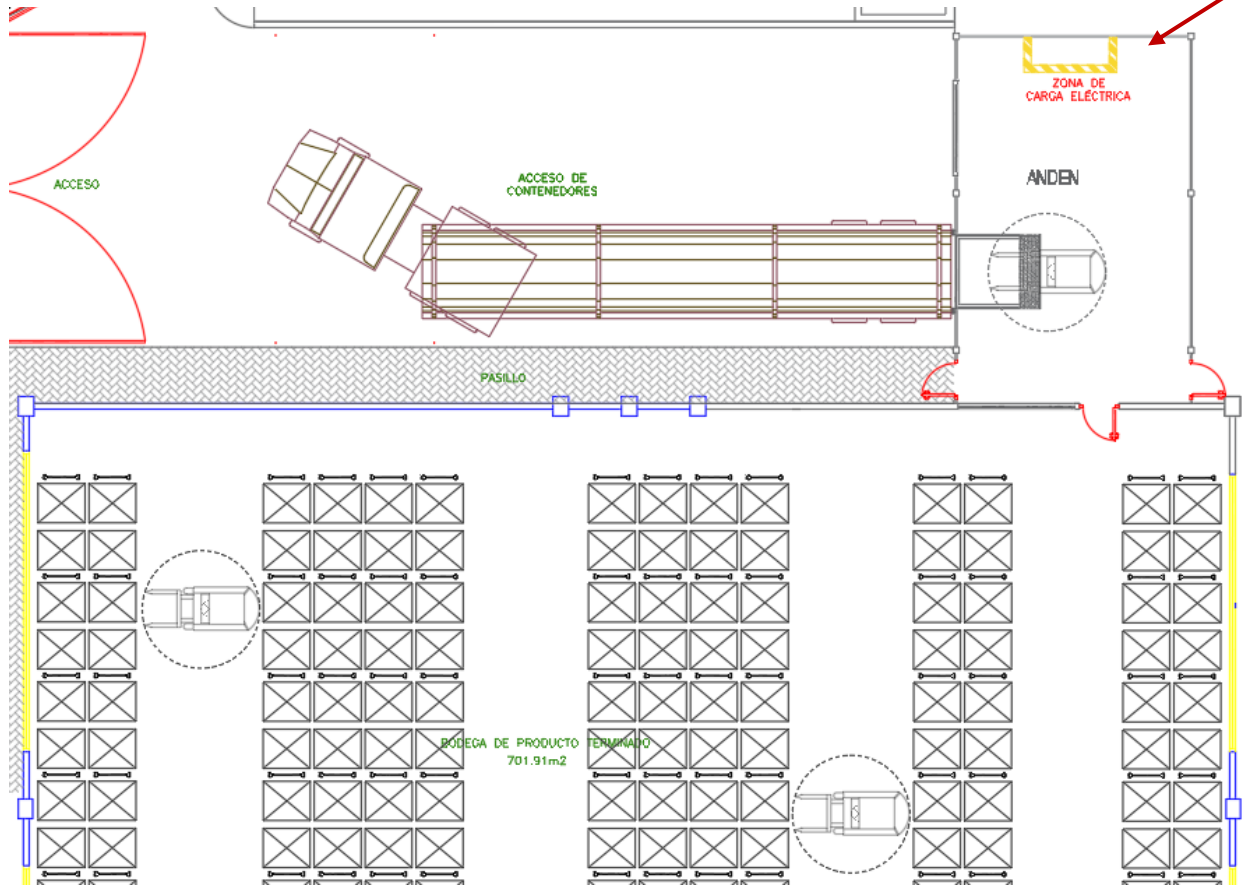


Alternativa 1: Traslado al andén con ventilación natural

Debido a que el espacio de la bodega es limitado, se plantea ubicar el local de carga en la parte externa de la bodega. Este espacio está libre y es de fácil acceso para los montacargas ya que es un área de andén por lo que está resguardada de la lluvia y sol directo. Además, esta zona cuenta con malla a un costado, esta será la entrada de ventilación natural. En la figura 7 se muestra la nueva ubicación del local de carga de baterías.

La NFPA 855 solicita que la ventilación de escape deberá estar diseñada para limitar la concentración máxima de gas inflamable al 25% del límite inferior de inflamabilidad (LFL) del volumen total durante el peor de los casos de carga, que en este caso, corresponde a una batería. El límite inferior del hidrógeno es de 4%, así que su 25% es de 1%. La cantidad máxima de hidrógeno permitido es de $0,43 \text{ m}^3$, posteriormente se realiza el cálculo del caudal requerido, este se muestra en el apéndice 10.

Figura 8. Propuesta 1 de ubicación del local de carga de la bodega Droguería



Cuadro 13. Características alternativa 1 para bodega Droguería

Aspecto	Especificación	Costo total
Medidas	Largo: 5 m Ancho: 2,15 m Alto: 4,20 m	C 4 294 000
Intercambiadores	1 carretillas eléctricas	
Señalización	INTECO	
Alimentación eléctrica	220v	

Iluminación	Artificial anti-explosión	
Sistema de ventilación	Natural	
Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, rociadores	

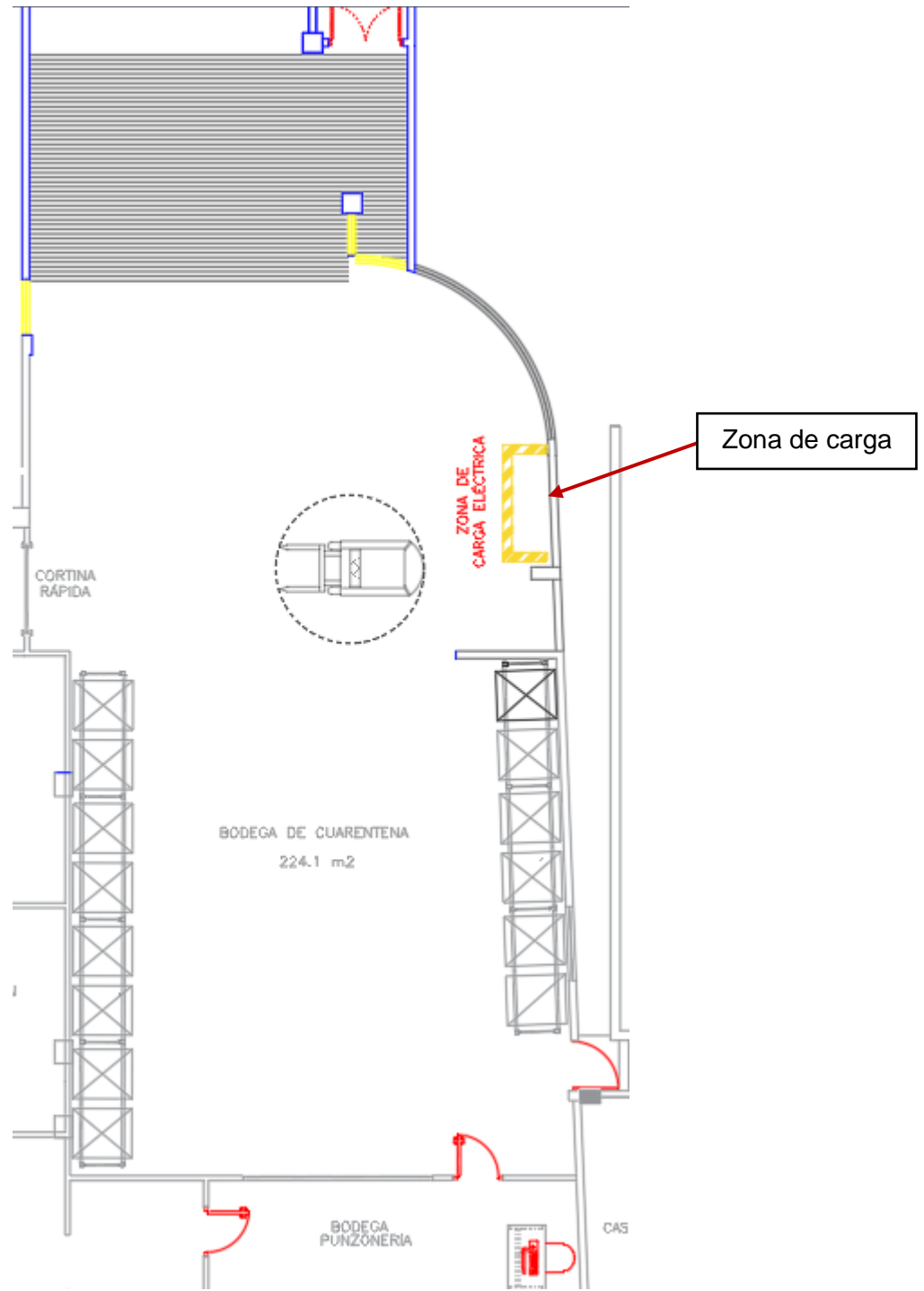
Alternativa 2: Encerramiento

Esta alternativa considera el traslado del local de carga hacia otro espacio dentro de la misma bodega, sin embargo, para esto se necesitaría realizar un reacomodo de los elementos de la bodega para crear un espacio libre suficiente para la zona de carga.

Cuadro 14. Características local de carga Droguería alternativa 2

Aspecto	Especificación	Costo total
Medidas del local	Largo: 2.5 m Ancho: 2.5 m Alto:	₡ 13 526 100
Paredes	Concreto	
Puerta	Corta fuego y barra antipánico	
Intercambiadores	1 carretillas eléctricas	
Señalización	INTECO	
Alimentación eléctrica	220v	
Iluminación	Artificial con lámparas a prueba de explosión	
Sistema de ventilación	Extractor a prueba de explosión Rejilla de entrada de aire	
Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, rociadores	

Figura 9. Ubicación encerramiento alternativa 2 bodega Droguería



Este cambio permite ampliar el espacio de zona de carga sin que los colaboradores tengan que realizar desplazamientos largos para el traslado de las baterías. Asimismo cuenta con un sistema de ventilación que permite extraer los gases evitando la atmósfera explosiva,

Alternativa 3: Cambio de baterías

Al igual que la bodega de materia prima, se contempla también el cambio total de los equipos por montacargas y apiladores que utilicen baterías de litio.

Cuadro 13. Comparación de alternativas de solución bodega de Droguería

Alternativa de solución	Criterio					Puntuación total
	Salud y seguridad	Ambiental	Económico	Sociocultural	Estándares normativos	
Alternativa 1: Traslado al andén con ventilación natural	La alternativa de solución soluciona los problemas identificados, las mediciones con el anemómetro garantizan una correcta ventilación.	La creación de la alternativa genera sobrantes de material sin embargo la empresa cuenta con un plan ambiental de disposición final.	Se encuentra dentro del presupuesto. (₡ 10 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	Cumple con los apartados de ventilación, medios de egreso, accesorios, condiciones ambientales, almacenamiento de inflamables, electricidad, señalización, acceso a la zona y seguridad de la batería de la NFPA 855.	
Puntaje:	3	1	3	3	3	14


Alternativa 2: Encerramiento	La alternativa de solución soluciona los problemas identificados, el sistema de ventilación permite una extracción adecuada según la NFPA 855.	La creación de la alternativa genera sobranes de material sin embargo la empresa cuenta con un plan ambiental de disposición final.	Sobrepasa el presupuesto (€ 10 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	Cumple con los apartados de ventilación, medios de egreso, accesorios, condiciones ambientales, almacenamiento de inflamables, electricidad, señalización, acceso a la zona y seguridad de la batería de la NFPA 855.	
Puntaje:	3	1	2	3	3	12
Alternativa 3: Cambio a baterías de Litio	La alternativa de solución soluciona los problemas identificados, sin embargo, se crean nuevos peligros.	Se generan desechos de equipos y baterías de ácido sulfúrico-plomo.	Sobrepasa el presupuesto (€ 10 000 000)	La alternativa considera a la totalidad del personal de bodega, además de las baterías.	No cumple con NFPA 855, las baterías de litio deben estar ubicadas a un mínimo de 1,5 m de las salidas de la habitación, espacio o edificio, no se cumple está distancia	
Puntaje:	2	1	1	3	3	10


La alternativa 1 es la seleccionada ya que brinda las mejores condiciones de seguridad y salud, ambiente, es económica ya que son menos cantidad de cambios por realizar, sociocultural y normativo.


Detectores de hidrógeno

Es importante monitorear el gas hidrógeno ya que permitirá conocer los niveles de este gas en los recintos y alarmar en caso de que sean peligrosos. Además, este sistema indicará cuando sea necesario encender el sistema de ventilación. A continuación, se comparan opciones de detectores de gas hidrógeno.

Cuadro 14. Comparación detectores de gas hidrógeno para monitoreo en locales de carga

Nombre	Imagén	Descripción	Costo (₡)
Medidor de gas Gasman Hidrógeno (H2)		<p>Rango: 0 ... 2000 ppm</p> <p>Alarma auditiva: 95 dB (A) a 1 m de distancia (tono ajustable)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tono de control regular, se puede desconectar - Tono prolongado en caso de batería baja en el medidor de gas. <p>Alarma óptica: - Notable alarma visual doble roja / azul</p> <p>Alarma vibratoria</p>	<p>Medidor de hidrógeno: 497 603</p> <p>Cargador: 175 158</p>

		<p>Dimensiones: 90 x 48 x 24 mm</p> <p>*No incluye el cargador</p>	
<p>Detector de gas hidrógeno fijo 0-100%LEL H2 con temperatura y humedad Pantalla</p>		<p>Rango de medición: 0-100% LEL</p> <p>Tiempo de respuesta: ≤10S</p> <p>A prueba de explosiones</p> <p>Debe colocarse en paredes</p> <p>Alarma: Sonido y luz</p> <p>Dimensiones: 180*150*90mm</p> <p>Grado de protección: IP65</p>	641 186

<p>Detector de gas hidrógeno HGD-3000</p>		<p>Está diseñado para instalaciones de baterías de plomo-ácido gasificadas y sistemas de carga.</p> <p>Encenderá un ventilador de extracción cuando los niveles de gas hidrógeno alcancen el 1 % y emitirá una alarma al 2 %.</p> <p>Dimensiones: 178 x 120 x 55 mm.</p> <p>Colocarse en el techo, encima de las baterías.</p> <p>Alarma: 80 dB y un LED rojo intermitente.</p> <p>Funciona automáticamente y monitorea continuamente las 24 horas</p>	<p>535 215</p>
--------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------


Según el cuadro anterior, se determina que la mejor opción es el medidor de gas hidrógeno HGD-3000 ya que este está diseñado para trabajar en entornos con baterías de ácido sulfúrico y plomo, además, se puede conectar al sistema de extracción cuando se alcancen


niveles de 1% del gas. Esto permite que sea un sistema automatico que se encienda únicamente cuando sea requerido y sea menor el riesgo. Por otro lado, a diferencia de otros medidores, este se coloca en el techo garantizando una mejor medición y tiene un sistema de alarma efectivo.

Intercambiadores de baterías

Las baterías deben ser separadas de los apiladores y montacargas, estos son equipos pesados que no pueden manejar un operador sin herramientas, además, se exponen las baterías a caídas. Por esta razón se utilizará un intercambiador de baterías que permita el traslado de las baterías de estas disminuyendos los peligros.

Cuadro 14. Comparación de intercambiadores de baterías para el proceso de carga

Nombre	Imagén	Descripción	Costo (₡)
Intercambiador de Baterías EZ	 <p>EZP-24</p>	<p>Dimensiones: 24.1875 pulgadas x 44 pulgadas</p> <p>Método de extracción: con gancho y cadena,</p> <p>Mediante piñones, cadenas y una rueda de mano se traslada la batería dentro y fuera del compartimento.</p>	680 780

		<p>Seguro mecánico</p> <p>Capacidad de carga máxima de 1365 kg.</p> <p>Ajustable a la caretila hidráulica</p>	
<p>Plataforma de transferencia de batería para montacargas</p>		<p>Capacidad de la plataforma: 4000 libras.</p> <p>Dimensiones: 48 pulgadas de largo x 33 pulgadas de ancho x 7 pulgadas de alto en total</p> <p>Correa de 6'L con gancho de seguridad</p>	<p>728 416</p>

<p>Intercambiador de Baterías Walk A Puller</p>		<p>Automático</p> <p>Capacidad: 4000 libras</p> <p>Dimensiones: 56.375 pulgadas x 70.625 pulgadas</p> <p>Altura de elevación de 3-3/4" a 27-3/4". Brazo extractor con extracción magnética o extracción por vacío</p>	<p>1 200 000</p>
--------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------

Se elige el Intercambiador de Baterías EZ, ya que es la opción con el mejor precio del mercado, soporta el peso de la baterías y se ajusta de forma adecuada a la carretilla hidráulica. A pesar de que este intercambiador es manual, permite el traslado seguro de las baterías porque cuenta con un seguro que evita las caídas y el sobreesfuerzo de los colaboradores.

**Programa de seguridad
contra incendios y explosiones
en el proceso de carga de
baterías de ácido sulfúrico y
plomo en el área de bodega de
una compañía Farmacéutica.**

I. Información general

1. Introducción

La compañía farmacéutica ubicada en Costa Rica procesa productos médicos de consumo humano. El área de bodega se encarga de recibir y suministrar la materia prima, además, almacena los productos terminados que salen de planta. Cuando el material es solicitado por producción se traslada con los montacargas al área de dispensado para ser ingresado a la planta y continuar con el debido proceso, al finalizar se envía a empaque, donde se almacena en bodega droguería.

Para llevar a cabo el transporte de los materiales se debe de realizar la carga de los montacargas y apiladores, estos equipos son cargados por baterías de ácido sulfúrico y plomo. Según el análisis se demuestra la falta de condiciones de seguridad en el local de carga, por lo que se desarrolla el siguiente programa de seguridad contra incendios y explosiones para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica.

El programa contiene procedimientos realizados para el proceso de carga de baterías e integra procedimientos ya existentes en la compañía. A continuación, se detallan los procedimientos y registros desarrollados:

1. Procedimiento identificación de peligros y evaluación de riesgos mediante matriz HAZOP (PEO-SHE-SV-0015)
2. Procedimiento del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo (PEO-SHE-SV-008)
3. Procedimiento de capacitación del personal (PEO-SHE-SV-009)
4. Procedimiento de evaluación y seguimiento (PEO-SHE-SV-0010)
5. PEO-SHE-SV-000001- PLAN DE RESPUESTA EMERGENCIAS 2023
6. PEO-SHE-SV-005 - Protocolo de actuación ante un derrame de productos químicos peligrosos
7. Registro de evaluación según matriz HAZOP (RC-SHE-SV-0012)
8. RC-RH-SV-003 Registro de asistencia de capacitación
9. RC-SHE-SV-0011- Registro de carga de apiladores y montacargas

2. Política

El programa de seguridad laboral para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega está alineado al propósito y al principio de la Compañía, los cuales indican:

“Cuidamos la salud de las personas con calidad, acceso y eficiencia, siempre”

“Respetamos y cuidamos a las personas y al medioambiente”

De esta forma, este programa es parte de actividades para protección de sus colaboradores y la Compañía Farmacéutica asume la responsabilidad de identificar, controlar, eliminar los riesgos y proporcionar condiciones seguras para los colaboradores. Además, se debe cumplir los requisitos legales aplicables

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Desarrollar controles administrativos e ingenieriles para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una Compañía Farmacéutica.

3.2 Objetivos específicos

- Definir los controles administrativos e ingenieriles para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una Compañía Farmacéutica.
- Determinar las pautas de capacitación para los trabajadores de bodega.
- Asignar personas involucradas y responsabilidades para el desarrollo del programa
- Desarrollar estrategias de seguimiento y mejora continua del programa de seguridad laboral para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega

4. Alcance

El programa de seguridad contra incendios y explosiones basado en la UNE-EN 62485- 3:2015, la NFPA 101, NFPA 855 y la INTE T29:2016 está dirigido al proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una compañía Farmacéutica ubicada en Costa Rica. La finalidad del programa es prevenir la creación de atmósferas explosivas e incendios mediante controles ingenieriles y administrativos, aplicando herramientas para realizar evaluaciones y seguimiento de los riesgos.

5. Metas

A continuación se muestran las metas establecidas para cada objetivo específico del programa

Cuadro 1. Metas del programa

Objetivo	Meta	Indicador
Definir los controles administrativos e ingenieriles para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega de una Compañía Farmacéutica.	Para el mes de junio del 2025, los controles ingenieriles y administrativos deben implementarse al 100%	Porcentaje de controles administrativos e ingenieriles completados
Determinar las pautas de capacitación para los trabajadores de bodega.	Para el mes de abril del 2025 el total de personal de bodega debe haber recibido la capacitación para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo	Porcentaje de trabajadores que declaran tener un buen conocimiento del proceso de carga de baterías
Asignar personas involucradas y	Para el mes de abril todos los involucrados tienen establecidas sus funciones	Porcentaje de personas con funciones establecidas

responsabilidades para el desarrollo del programa		
Desarrollar estrategias de seguimiento y mejora continua del programa de seguridad laboral para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega	Para el mes de junio del 2025 realizar la primera evaluación de seguimiento.	Porcentaje de herramientas aplicadas

II. Planificación

6. Asignación de responsabilidades

En el siguiente cuadro se muestran las partes interesadas con sus respectivas responsabilidades mediante la matriz RACI para el desarrollo del programa.

Cuadro 2. Responsables del programa

Involucrado	Código	Interno	Externo	Responsabilidades
Salud ocupacional	SO	X		Coordinar y ejecutar actividades del programa
Gerencia de operaciones	G	X		Aprobación de propuestas e implementación del programa
Facilidades	F	X		Supervisión de la

				implementación de los controles ingenieriles
Colaboradores de bodega	CB	X		Participación del programa
Jefe de Gestión de proyectos	GP	X		Supervisión de la implementación de los controles ingenieriles
Supervisor de bodegas	SP	X		Participación en la implementación de los controles administrativos
Proveedores	P		X	Ofrecer servicios para el cumplimiento de los controles ingenieriles
Contratista	C		X	Realizar los controles e instrucciones brindados por la Compañía Farmacéutica para el cumplimiento del programa

En el cuadro 3 se presenta la matriz RACI con el fin de relacionar las actividades con las partes involucradas. La (R) significa persona encargada, (A) es autoridad responsable, (C) es consultor e (I) es informado.

Cuadro 3. Matriz RACI

Actividades	SO	G	F	CB	GP	SP	P	C
Realización y entrega del programa	R	A	I			I		C
Revisión y aprobación del programa	R	A			I			
Aprobación de presupuesto	I	A	I		R	I		
Implementación de controles ingenieriles y administrativos	R	A	R	I	I	I	C	
Mantenimiento de baterías, apiladores y montacargas	A		C			I		R
Capacitación del personal	R	I	I	I	I	A	C	C
Compra y entrega del equipo de protección personal	R	I		I	A	I	C	C
Seguimiento del programa	R	A	I	C	I	C	C	C

III. Participación de las personas trabajadoras

Las personas encargadas de realizar el proceso de carga de baterías conocen su área de trabajo y pueden brindar información muy importante para el mejoramiento continuo del mismo. Durante las capacitaciones será mostrado cómo realizar la carga de baterías de manera segura y se espera brindar un espacio en el cual se aclaren dudas y se les brinde el apoyo necesario.

Además, el reporte de accidentes e incidentes se realiza mediante el código QR mostrado en los afiches “Reporte de incidentes y accidentes” colocados en las diferentes áreas de la Compañía, este método permite que se envíe un reporte de lo sucedido al departamento de Salud Ocupacional y se actúe lo antes posible, manteniendo un control.

IV. Identificación de peligros y evaluación de los riesgos

LOGO	Procedimiento identificación de peligros y evaluación de riesgos mediante matriz HAZOP	PEO-SHE-SV-0015
	Elaborado por: Stephanie Meneses	
	Revisado por: René Araya	

Objetivo: identificar peligros y evaluar los riesgos relacionados al proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodega

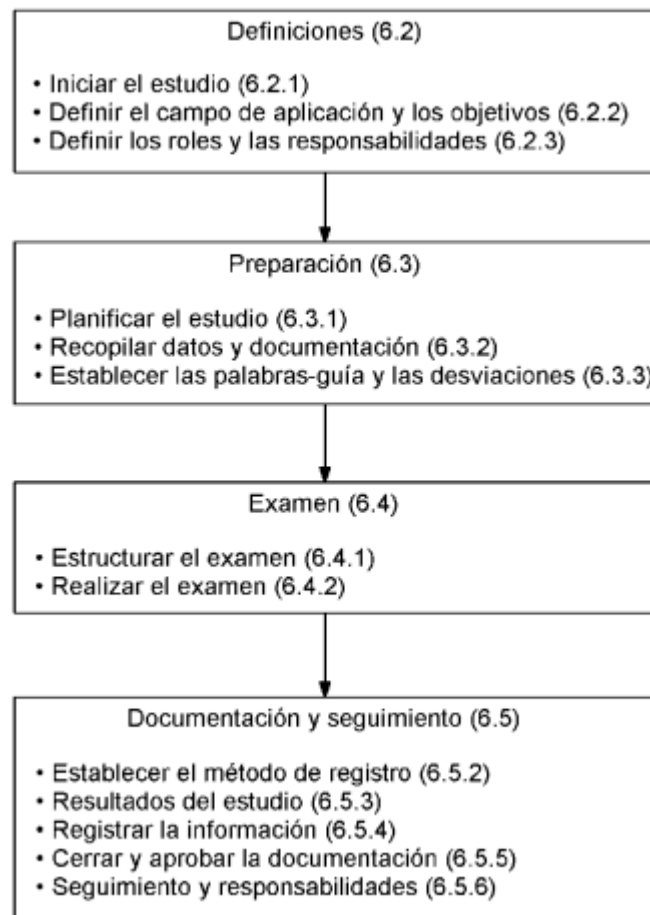
Alcance:

Frecuencia:

Procedimiento:

Con el objetivo de se debe realizar una matriz HAZOP basado en la guía de aplicación UNE-EN-61882:2017. Las cuatro etapas básicas para hacer un estudio HAZOP se muestran en la figura 1.

Figura 1. Procedimiento para realizar un estudio HAZOP



Fuente: UNE-EN-61882:2017

Este estudio se iniciará como parte de la identificación de peligros y evaluación de riesgos del proceso de carga de baterías, es un análisis que se debe realizar en forma grupal con los involucrados en el proyecto, posteriormente se deben establecer los límites, campo de aplicación, requisitos, objetivos, personas o bienes que puedan estar en riesgo, condiciones de operatividad y forma de documentación. Una vez declarados los puntos anteriores se deben definir los roles y responsabilidades del equipo, se recomienda que el equipo sea lo más pequeño posible.

Para la preparación del estudio se debe investigar y recopilar la mayor cantidad de información posible, si se cuenta con flujos de proceso también se debe considerar ya que más

adelante marcará las pautas para el análisis. Es importante que se establezcan palabras guía para las desviaciones y se pueden realizar combinaciones de palabras-guía/ propiedad. Este proceso es llevado a cabo por el líder del estudio quien propondrá una lista inicial con palabras guía.

El examen se realiza mediante la discusión, iniciando con un plan de estudio para asegurarse de que los presentes comprendan el sistema, los objetivos y el campo de aplicación del estudio. Además, explicar las palabras guía, las propiedades y revisar los riesgos, problemas ya identificados previamente y establecer la secuencia a seguir para examinar a detalle cada parte del proceso.

Los resultados del estudio HAZOP deben incluir los detalles de los riesgos y problemas de operatividad identificador con su respectivo medida de tratamiento, las recomendaciones para futuros estudios, recomendaciones de alternativas de tratamiento, lista de miembros del equipo que participó, lista de partes consideradas en el análisis, lista de palabras guía y propiedades utilizadas y lista de toda la información utilizada. Por último, deberá haber un cierre acordado por el equipo con un informe.

El RC asociado a la hoja de trabajo HAZOP se muestra a continuación y puede ser utilizado para la aplicación del método.

Registro de evaluación según matriz HAZOP (RC-SHE-SV-0012)

Nodo	Palabra guía	Propiedad/ parámetro	Posibles causas	Consecuencias	Controles existentes	Acciones requeridas	Encargado

Por otro lado, se deben aplicar las listas de verificación de la NFPA 855, UNE-EN-62485:2015, NFPA 101 y UNE-EN- 1127: 2020. Para la aplicación de estas herramientas el

encargado de Salud Ocupacional debe realizar visita a sitio y seleccionar sí cumple o no según la observación. Si es necesario, el evaluador debe consultar a otras fuentes que le proporcionen la información para completar la lista de verificación. Los instrumentos se pueden encontrar en los apéndices 3,4,5 y 6.

Para finalizar, después de analizar los datos recopilados, se debe dar prioridad de tratamiento a los riesgos tomando en cuenta la jerarquía de controles de seguridad que indica el siguiente orden: eliminación del riesgo, sustitución del peligro, control ingenieril, control administrativo y uso de EPP. El jefe de Salud Ocupacional es el encargado de establecer las acciones prioritarias según lo anteriormente mencionado.

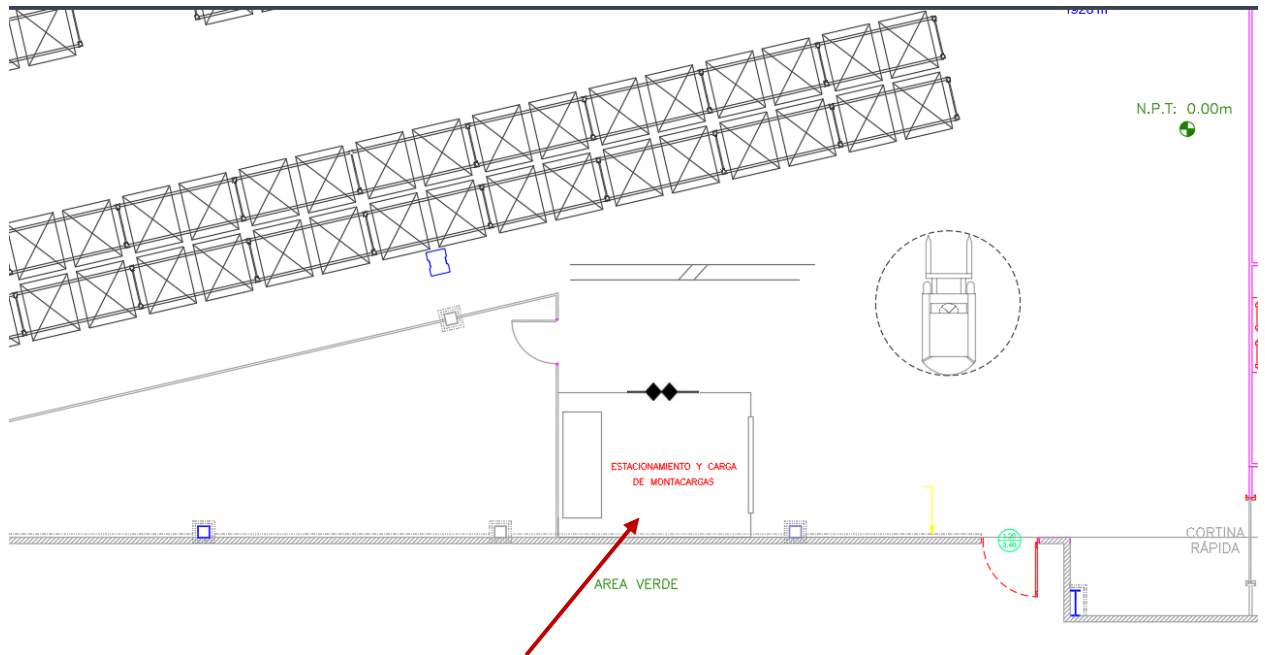
V. Implementación del programa

VI. Propuesta de control ingenieril

1. Bodega Materia Prima

En la bodega de Materia Prima, el almacenamiento de baterías de ácido sulfúrico- plomo se mantendrá en la misma ubicación en la que está actualmente, en la entrada de la bodega al costado izquierdo, sin embargo, se le realizará un encerramiento que cumpla los requisitos de compartimentación y se instalará un sistema de ventilación para mantener el espacio seguro de atmosferas explosivas. Lo anteriormente mencionado se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. Ubicación local de carga en bodega de Materia Prima



Las características de este local se muestran a continuación.

Cuadro 5. Características local de carga en bodega de Materia Prima

Aspecto	Especificación
Medidas del local	Largo: 4.2m Ancho: 3m Alto: 3 m
Paredes	Concreto
Puerta	Cortina eléctrica corta fuego de 2m de ancho y 2.5 m de alto
Intercambiadores	3 carretillas eléctricas
Señalización	INTE/ISO 8995-1:2016
Alimentación eléctrica	220v
Iluminación	Artificial con lámparas a prueba de explosión
Sistema de ventilación	Extractor a prueba de explosión Rejilla de entrada de aire

Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, detector de hidrógeno, cámara de vigilancia. (Detalle en la sección 3).
------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Se decide que el local de carga debe estar construido en concreto ya que como lo indica la norma NFPA 855 en el capítulo 4, los espacios que sean utilizados para la carga de baterías deberán estar separados de otras áreas del edificio por barreras cortafuegos con una clasificación mínima de resistencia al fuego de 2 horas. Según (International Code Council, 2021) se indica que el espesor mínimo de muros de concreto liviano con resistencia al fuego de dos horas debe ser de 3,6 pulgadas.

Por otra parte, la cortina eléctrica cortafuego será de acero para evitar la propagación a otras áreas de la bodega en caso de incendio, cuenta con certificación de 3 horas UL/ULC y una estación de control. La figura 3 y 4 muestran el diseño de esta.

Figura 3. Medidas de cortina eléctrica cortafuegos de bodega de Materia Prima

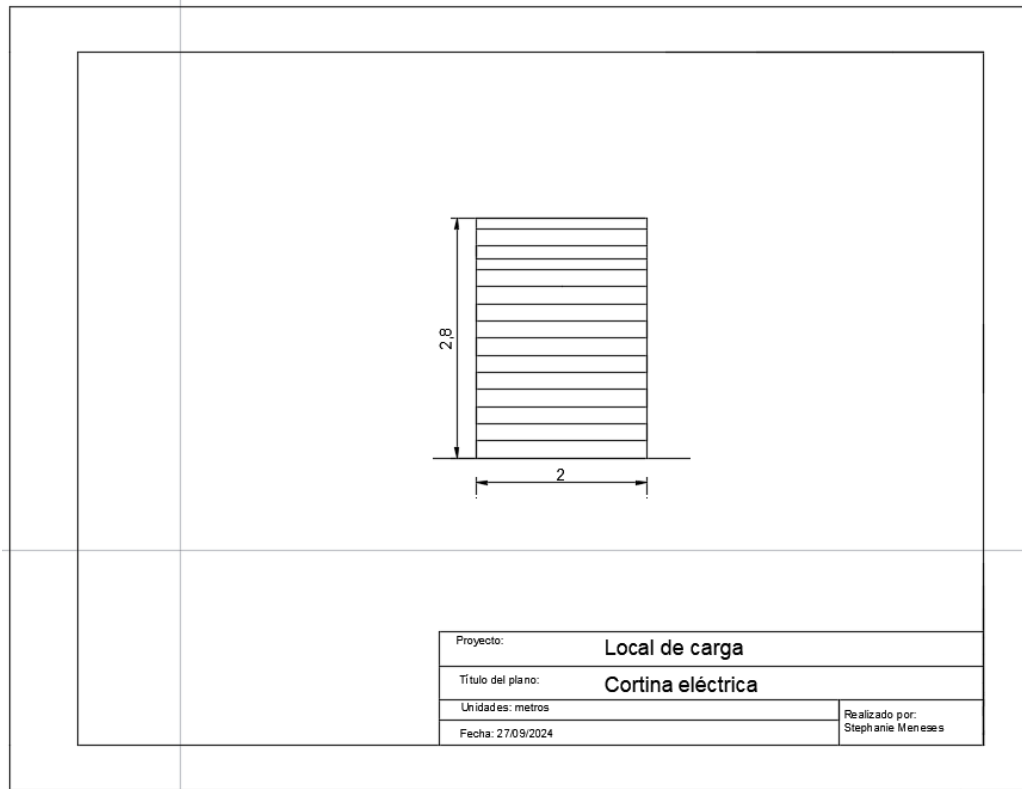
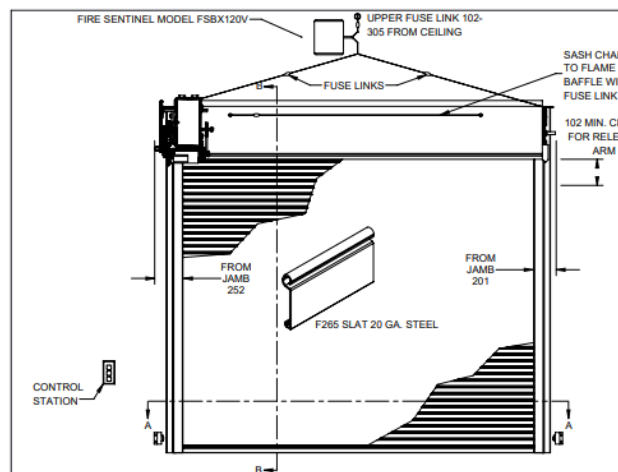


Figura 4. Cortina eléctrica para local de carga en bodega de Materia Prima



Fuente: Overhead door

El sistema de ventilación fue diseñado según los lineamientos de la norma NFPA 855 el cual indica que se debe de contar con ventilación mecánica de escape que proporcione una velocidad mínima de 1 ft³/min/ft². En este caso el área del local de carga es de 12,2 m² o 131,32 ft² por lo que la ventilación debe ser mínimo de 131,32 ft³/min.

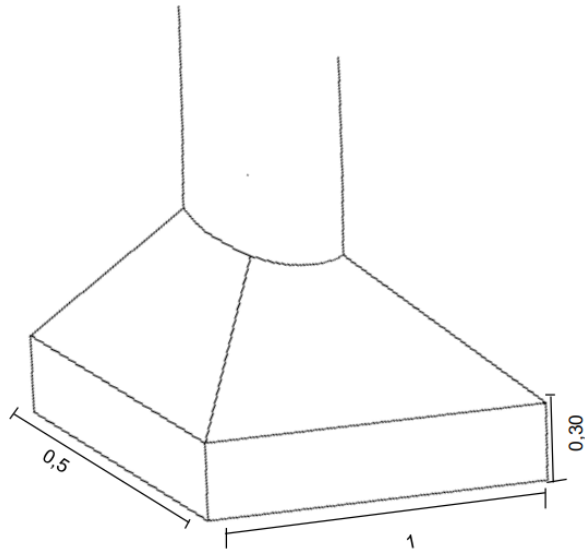
Se selecciona un ventilador centrifugo con motor a prueba de explosiones homologado por la UL para áreas peligrosas, también tiene una carcasa de aluminio resistente a chispas. Cuenta con un caudal de 250 CFM, el volumen es de 75 dBA y un peso de 49 lbs. Los ductos son de forma circular con diámetro de 10,16 cm y al igual que la campana de extracción el material es de acero inoxidable. El resultado final del sistema de extracción se muestra de color azul en la figura 5.

Figura 5. Ventilador centrifugo a prueba de explosión.



Fuente: McMASTER-CARR

Figura 6. Campana de extracción bodega Materia Prima



Proyecto:	Local de carga	
Título del plano:	Campana de extracción	
Unidades: metros		Realizado por: Stephanie Meneses
Fecha: 27/09/2024		

Figura 7. Sistema de extracción local de carga de bodega de Materia Prima

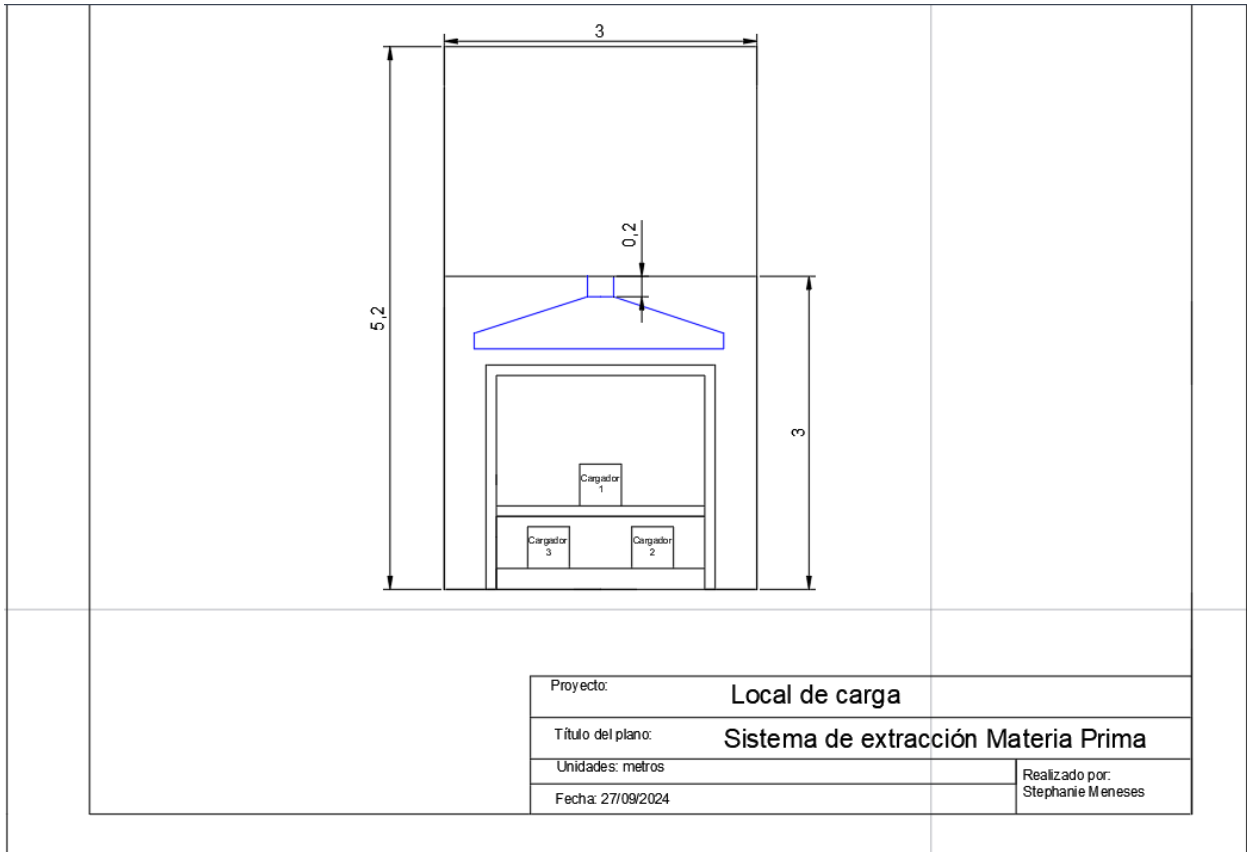
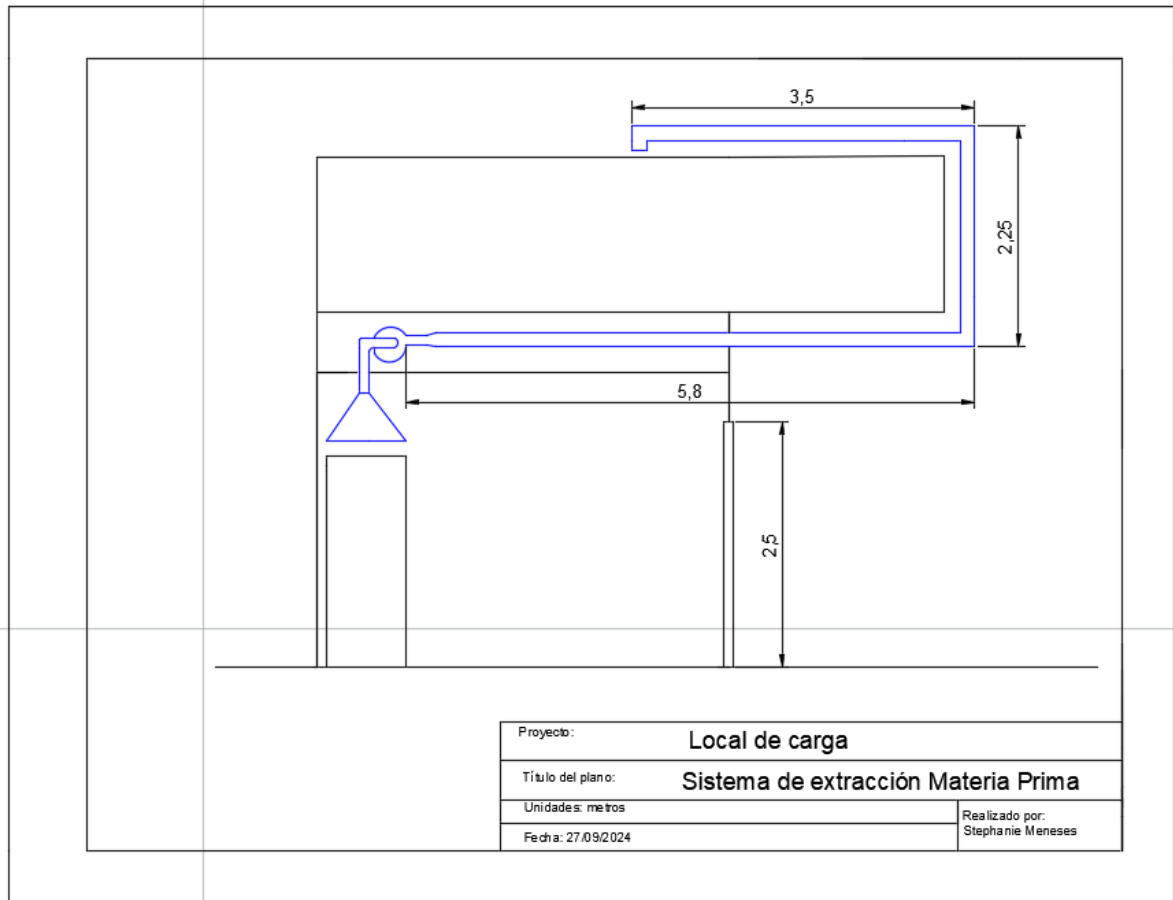


Figura 8. Vista lateral sistema de extracción bodega Materia Prima



Para el ingreso de aire se debe colocar una rejilla en la parte inferior de la bodega siguiendo con los criterios de ASHRAE, para un caudal de 61,98 l/s, se debe instalar una rejilla de 300 cm², por tanto se propone una rejilla de 20cm x 20 cm.

Detector de hidrógeno

El detector de gas hidrógeno y humo con alarma está diseñado para instalaciones de baterías de plomo-ácido gasificadas y sistemas de carga. El modelo HGD-3000 encenderá un ventilador de extracción cuando los niveles de gas hidrógeno alcancen el 1 % y emitirá una alarma al 2 %. Sus dimensiones son de 178 x 120 x 55 mm. Tomando en cuenta la densidad del hidrógeno, este sensor debe colocarse en el techo, encima de las baterías.

El sistema de sensor de humo detecta diminutos productos de combustión provenientes de aislamientos de cables, cajas de baterías y otros materiales que arden sin llama. Cuando se detecta humo, se emite una alarma distintiva desde la bocina de 80 dB y un LED rojo intermitente. Funciona automáticamente y monitorea continuamente las 24 horas, los 7 días de la semana y puede trabajar en temperaturas desde -10 a 40 °C (14 – 104 °F).

Figura 9. Detector de hidrógeno



Fuente: Eagle eye

2. Bodega droguería

El local de carga de la bodega se debe trasladar del costado izquierdo de la bodega de Droguería a la parte exterior de la bodega, en el andén, un espacio libre que cuenta con ventilación natural y al mismo tiempo está bajo techo, por lo que no será afectado por las condiciones climáticas. A continuación, se muestran las características del local de carga.

Cuadro 6. Características local de carga bodega Droguería

Aspecto	Especificación
Medidas	Largo: 5 m

	Ancho: 2,15 m Alto: 4,20 m
Intercambiadores	1 carretillas eléctricas
Señalización	INTECO, 2016
Alimentación eléctrica	220v
Iluminación	Artificial: de 300 a 500 luxes, anti-explosión
Sistema de ventilación	Natural
Accesorios	Detector de humo, kit de contención de derrames, extintores, cámara de vigilancia. (Detalle en la sección 3).
Otros	Emparejar el piso. Instalar tapicheles. Reubicar la corriente eléctrica. Poner botaguas. Tapar caja de registro. En el piso chorrear un muro de 30cm para contención de derrames Forrar pared por la parte interna Cámara de vigilancia Poner 1 luminaria. Pintar toda la reparación.

Este espacio es adecuado para el local de carga ya que la bodega de Droguería tiene una cortina eléctrica la cual puede ser abierta para movilizar las baterías de los apiladores, además, cuenta con el espacio suficiente para que no sea golpeada por otros equipos. Este

diseño también permite el aumento de baterías en caso de que se requiera a futuro. Con el fin de evitar contaminación en caso de un derrame de la batería se construirá un muro de 30 cm en la parte inferior del local. El resultado final se muestra en la figura 10.

LOGO	Compañía Farmacéutica	
	Cartago, Costa Rica	Fecha: 27/9/2025
	Diseño: Local de carga bodega Droguería.	Material: Múltiples
	Dibujó: Stephanie Meneses	Unidades: m

Figura 10. Vista frontal local de carga bodega de Droguería

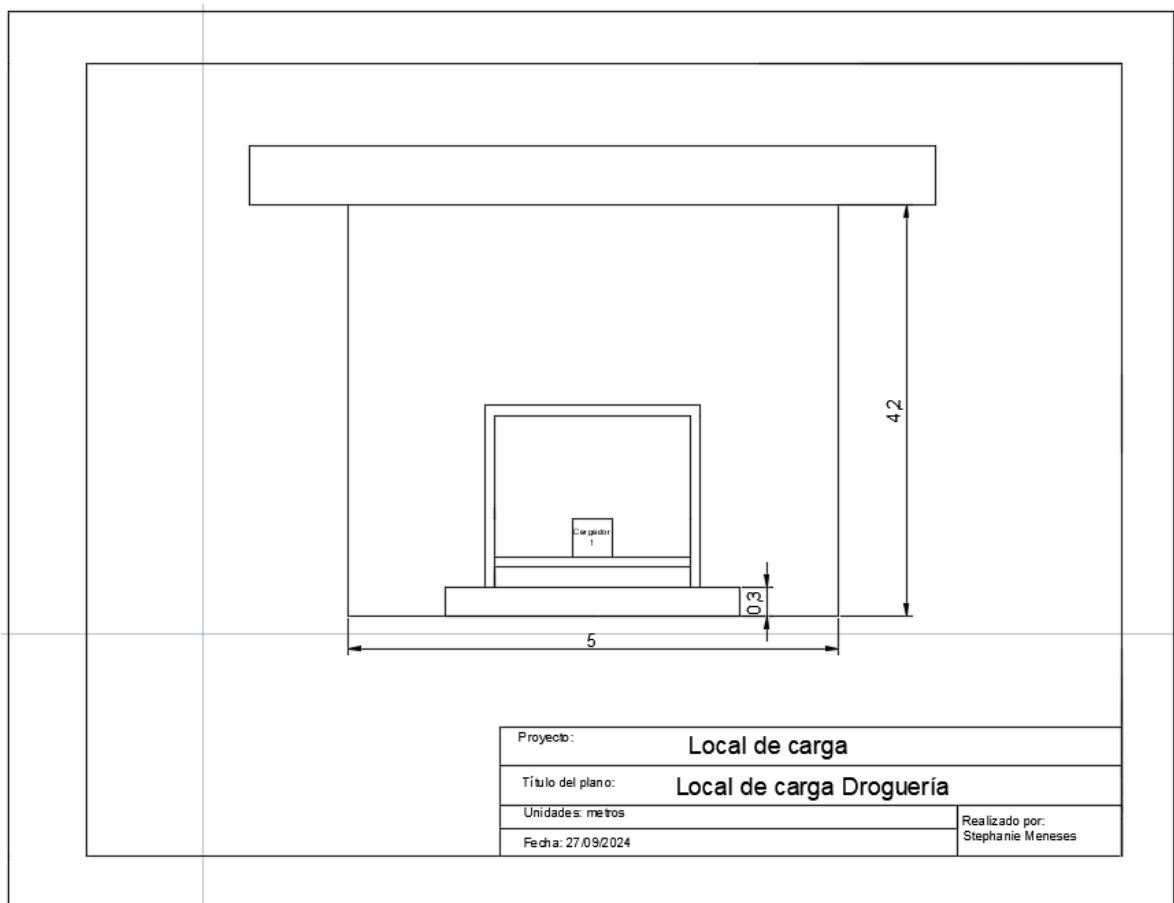
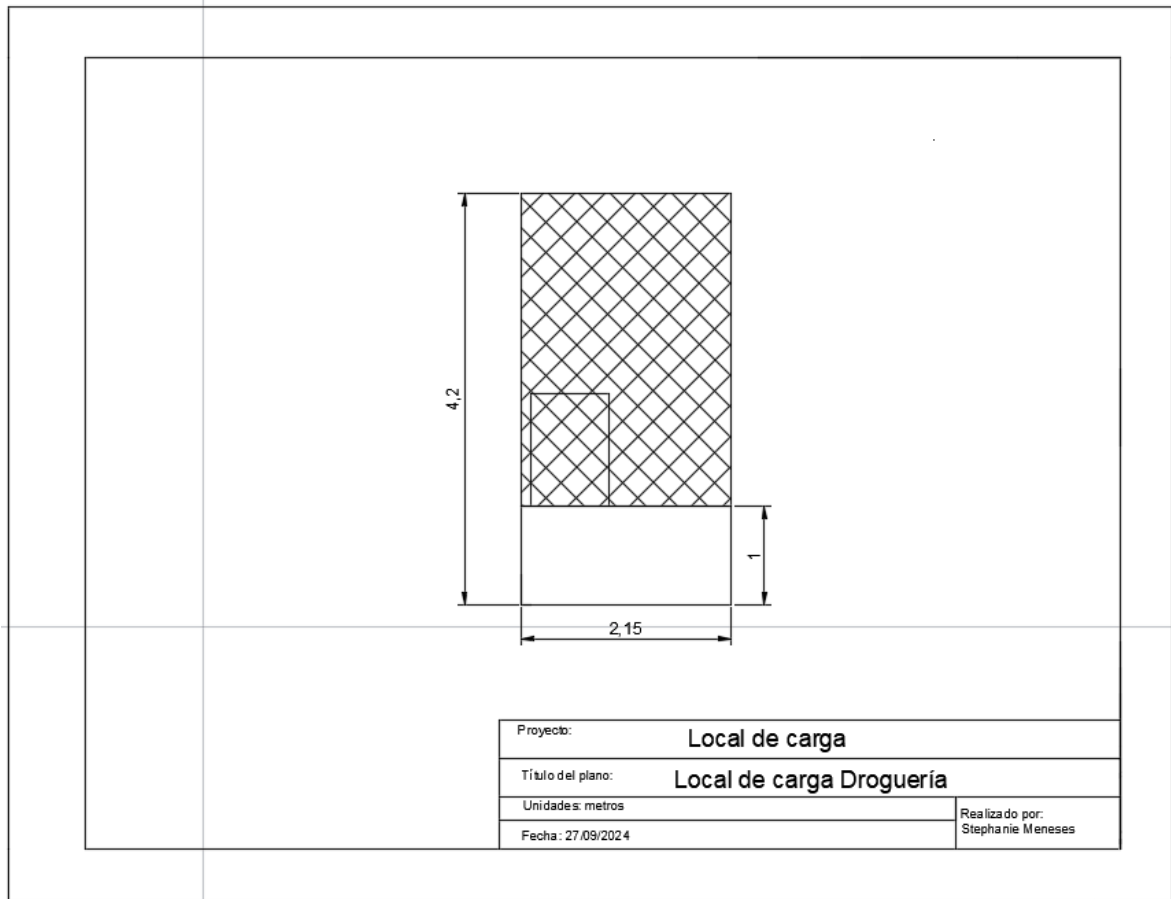


Figura 11. Vista lateral local de carga bodega de Droguería



3. Accesorios

El detector de humo será únicamente instalado en la bodega de Droguería ya que la bodega de Materia Prima cuenta con el detector de hidrógeno que también detecta humo.

Se selecciona el Det-Tronics SmokeWatch TM U5015 a prueba de explosiones, el cual es recomendado para áreas industriales. Está diseñado para funcionar de manera eficaz con de rápido crecimiento y tiene la capacidad de anunciar fallas. Incluye un LED localizado y relés. Trabaja en un rango de -20°C a $+65^{\circ}\text{C}$

Figura 12. Detector de humo



Fuente: Det- Tronics

Kit de detención de derrames

Este kit especial para derrames está diseñado para recoger ácido de batería tanto en superficies lisas como rugosas mientras permanece químicamente inerte, tiene un tamaño fácil de transportar en caso de emergencia. Se debe colocar cerca de una estación de intercambio de baterías. Incluye polímeros de neutralización química que es indicado mediante un cambio de color. Este Kit cuenta con:

- 2 bolsas de eliminación de residuos
- 1 par de guantes
- 2 calcetines químicos
- 10 almohadillas químicas
- 1 par de gafas de seguridad
- 1 kimono
- 1 neutralizador de ácido
- 1 pala, raspador y un frasco de derrames.
- Instrucciones
- Absorbente SpillFix hecho de fibra de coco

- EPI y una bolsa de eliminación de residuos para contener todo el equipo usado

Figura 13. Kit de contención de derrames



Fuente: avantor

Extintores

La compañía cuenta con un extintor de CO₂ que será instalado el costado del local de carga de baterías. El extintor se encuentra a una altura de 1.25 metros, tomado del piso al cuello del extintor y el espacio libre entre la parte inferior del extintor y el piso debe ser menor de 10 cm (Bomberos de Costa Rica, s.f).

Figura 14. Extintor de CO₂ para ambas bodegas



Luminarias

Se instalarán luminarias en ambas bodegas, estas son de tipo LED, ideales para trabajar en atmosferas explosivas y tiene un flujo luminoso de 5600 lúmenes.

Figura 15. Luminarias a prueba de explosión



Fuente: ENELTEC

Intercambiador

El intercambiador es modelo EZ Puller, con un ancho de 24 pulgadas, utiliza método de extracción con gancho y cadena, por lo que no requiere energía eléctrica. Mediante piñones, cadenas y una rueda de mano se traslada la batería dentro y fuera del compartimento. Además, cuenta con un seguro mecánico para asegurar la batería que puede ser activado durante el traslado y funcionar como protección para el operador. Tiene una capacidad de carga máxima de 1365 kg. Este intercambiador se ajustará a la caretila hidráulica, así será más fácil de transportar para los colaboradores.

Figura 16. Intercambiador de baterías



Fuente: MTC

Señalización

El local de carga debe de contar con la siguiente señalización.

Figura 17. Señalización uso de zapatos de seguridad



Fuente: INTE, 2016

Este es el único equipo de protección personal que se requiere ya que los colaboradores de esta área no deben realizar el mantenimiento de las baterías. La figura 18, 19 y 21 deben ubicarse fuera del local de carga. Las siguientes señaléticas deben estar ubicadas en el interior de la bodega, en un lugar visible.

Figura 18. Señalización prohibido encender fuentes de ignición



Fuente: INTE, 2016

Figura 19. Señalización zona de carga de baterías



Figura 20. Señalización riesgo eléctrico

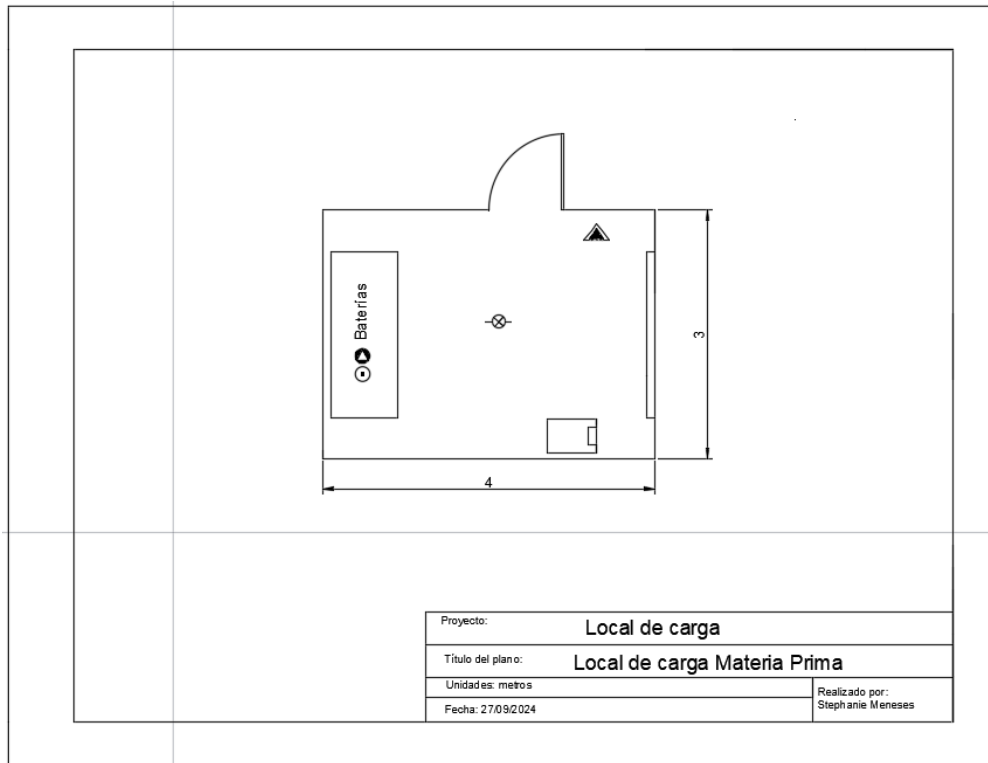


Figura 21. Señalización prohibido fumar



El diseño final de los locales de carga con accesorios se muestran en las siguientes figuras.

Figura 22. Vista superior de diseño final de la bodega de Materia Prima con accesorios







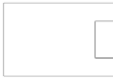
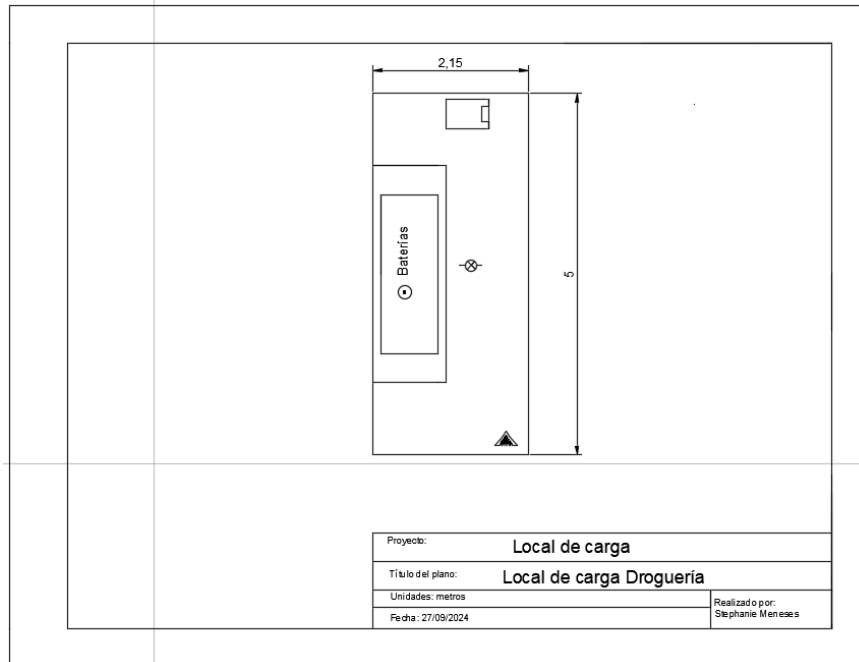
Simbología	
Bloque	Especificaciones
	Extintor de CO ₂
	Detector de hidrógeno
	Detector de humo
	Luminaria a prueba de explosión
	Intercambiador de baterías

Figura 23. Vista superior de diseño final de la bodega de Droguería con accesorios






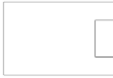
Simbología	
Bloque	Especificaciones
	Extintor de CO ₂
	Detector de humo
	Luminaria a prueba de explosión
	Intercambiador de baterías

Figura 24. Señalización en el local de carga bodega de Materia Prima

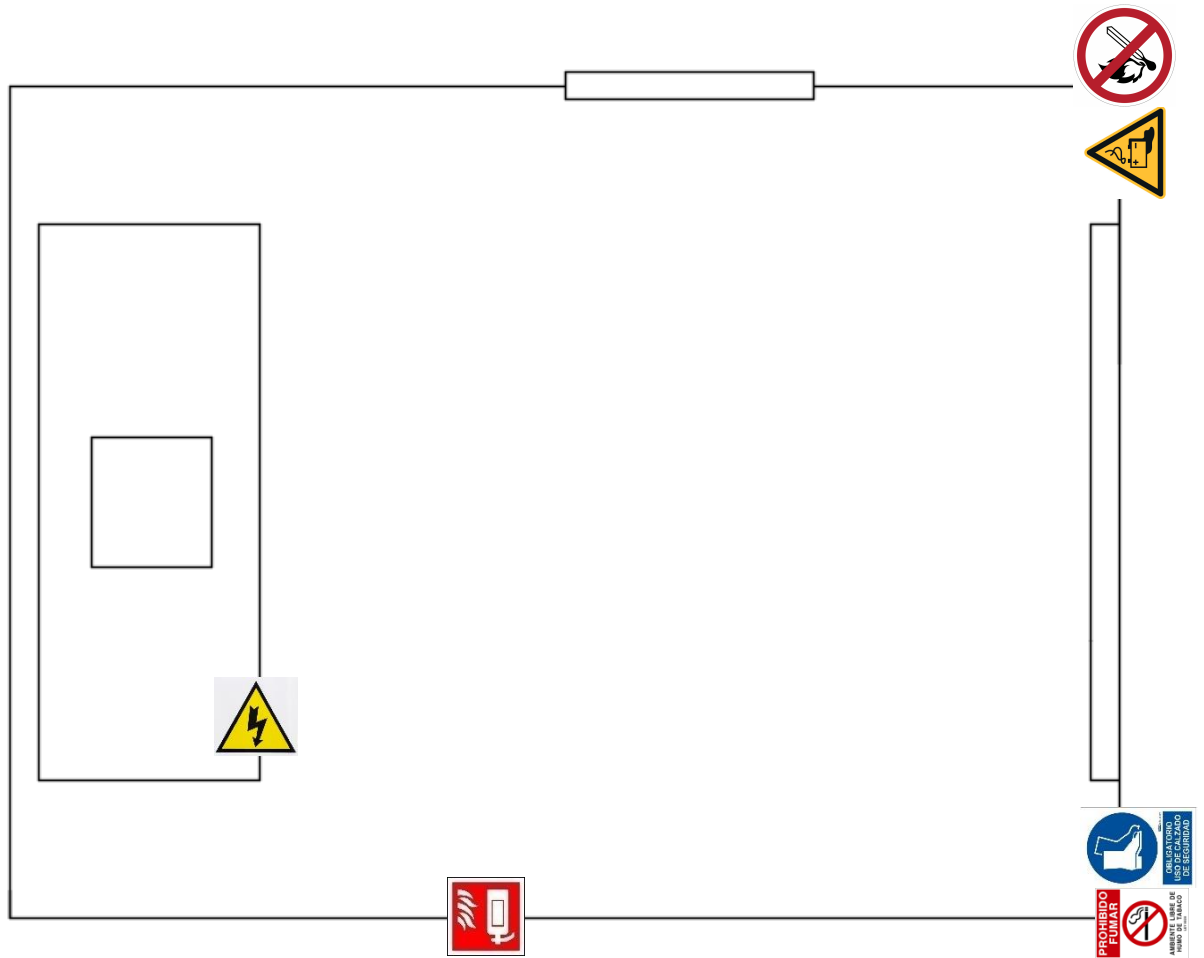
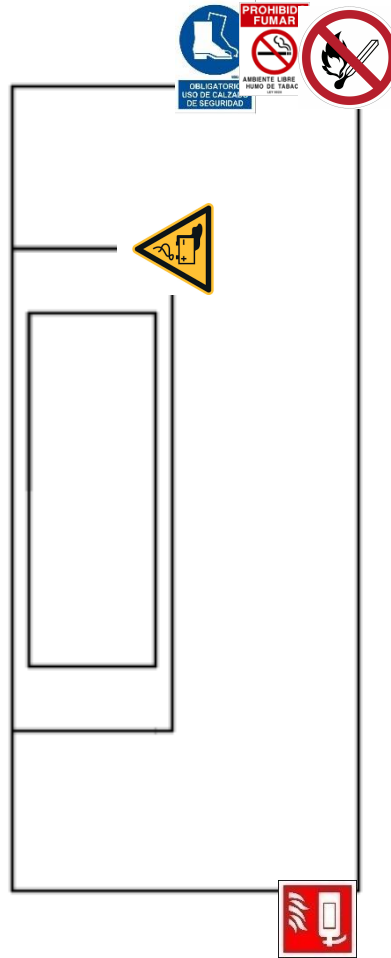


Figura 25. Vista superior de diseño final de bodega de Droguería con accesorios



Con el fin de mostrar las alternativas finales, se muestran los diseños en 3D para las bodegas de Materia Prima y Droguería.

Figura 26. Vista en 3D de local de carga para bodega de Materia Prima

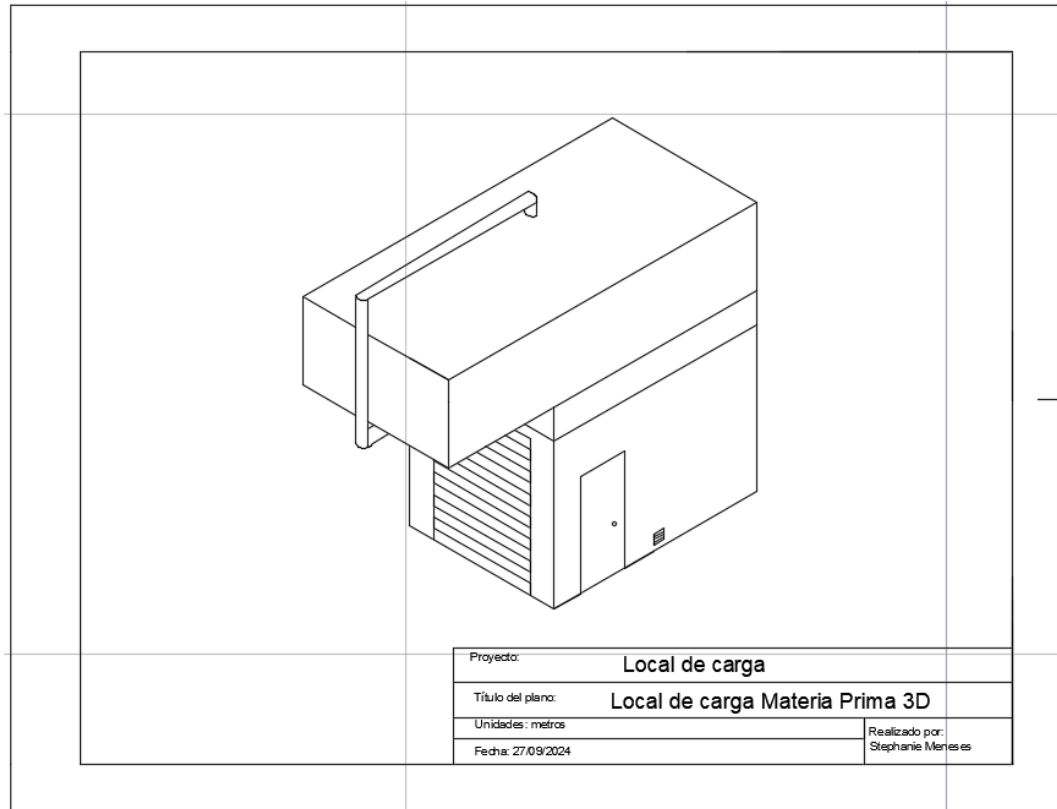
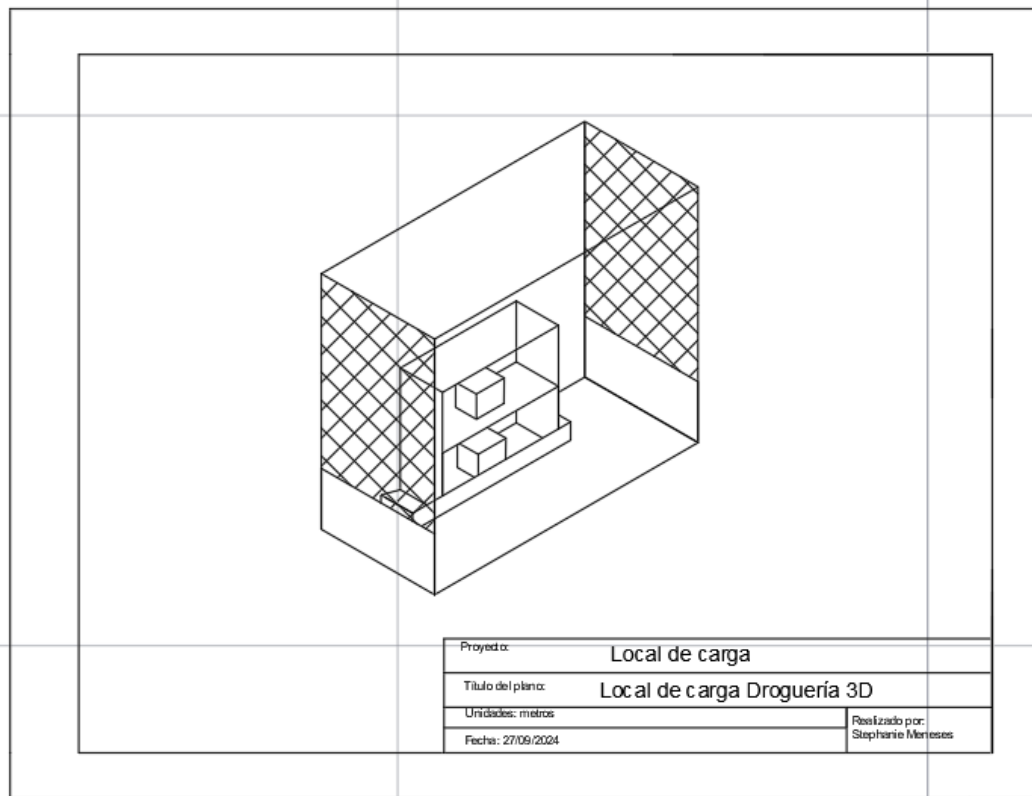


Figura 27. Vista en 3D de local de batería de carga para bodega Droguería



VII. Propuestas de controles administrativos

Este programa propone controles administrativos con el fin de mejorar las condiciones de trabajo. A continuación, se enumeran los procedimientos propuestos:

10. Procedimiento del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo (PEO-SHE-SV-008)
11. Procedimiento de capacitación del personal (PEO-SHE-SV-009)
12. Procedimiento de evaluación y seguimiento (PEO-SHE-SV-0010)
13. RC-RH-SV-003 Registro de asistencia de capacitación
14. RC-SHE-SV-0011- Registro de carga de apiladores y montacargas

LOGO	Procedimiento del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo	PEO-SHE-SV-008
	Elaborado por: Stephanie Meneses	
	Revisado por: René Araya	

1.Procedimiento del proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo

1. Objetivo

Establecer el proceso correcto y seguro para la carga de baterías de ácido sulfúrico-plomo.

2. Alcance

Aplica para el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo de la Compañía Farmacéutica ubicada en Costa Rica.

3. Frecuencia

Diaria

4. Procedimiento

1.1 Retiro de batería del montacargas o apilador

- 1.1.1** Retire los objetos metálicos como anillos, collares, joyas, relojes o cualquier otro objeto metálico que pueda generar chispa. Nunca coloque ningún objeto metálico sobre la batería, ya que puede causar un cortocircuito por accidente.
- 1.1.2** Verifique que el montacargas está apagado y con el freno puesto.
- 1.1.3** Desconecte la batería del montacargas y acomode los cables
- 1.1.4** Retire la tapa de seguridad de la batería
- 1.1.5** Dirija el intercambiador de baterías hasta el montacargas o apilador
- 1.1.6** Alinee el equipo con la batería y active el seguro del intercambiador.
- 1.1.7** Ancle las argollas del intercambiador con las argollas de las baterías.

- 1.1.8 Gire la manija hasta que la batería se encuentre colocada en el intercambiador
 - 1.1.9 Cuando la batería se encuentre dentro de la base del intercambiador, coloque el seguro de la batería, retire el seguro del intercambiador y llévela al local de carga.
 - 1.1.10 Cierre la cortina eléctrica, la misma debe permanecer cerrada durante el proceso de carga
 - 1.1.11 Alinee el intercambiador al estante, coloque el seguro del intercambiador y retire el seguro de la batería. Gire la manija para que la batería ruede hacia el estante y verifique que esté bien colocada.
 - 1.1.12 Conecte la batería al cargador, verifique que el sistema de ventilación esté funcionando de forma correcta y llene el registro que se encuentra en el anexo 1.
 - 1.1.13 Retire el intercambiador y colóquelo en un lugar seguro.
- 1.2 Desconexión de batería**
- 1.2.1 Apague el cargador y desconecte la batería de ácido sulfúrico- plomo.
 - 1.2.2 Coloque el intercambiador al frente de la batería y coloque el seguro.
 - 1.2.3 Ancle las argollas del intercambiador con las argollas de las baterías y gire la manija hasta que la batería se encuentre dentro del intercambiador.
 - 1.2.4 Dirija la batería con el intercambiador al montacargas o apilador
 - 1.2.5 Comience a colocar la batería. Si al insertar la batería la misma se atora, no fuerce e inspeccione cuál puede ser el fallo. Si es necesario, retroceda el movimiento o ajuste la altura.
 - 1.2.6 Lleve la batería hasta que tope con el fondo
 - 1.2.7 Coloque de inmediato la tapa de seguridad y conecte la batería al apilador o montacargas.
 - 1.2.8 Coloque el intercambiador en un costado del local de carga y rellene el registro del anexo
 - 1.2.9 Recuerde mantener cerrada la cortina eléctrica
- 1.3 En caso de emergencia**
- 1.3.1 **Contacto con la piel**

- Lave con agua abundante y retire la ropa. Si la molestia persiste debe consultar con un médico.

1.3.2 Inhalación de vapores ácidos

- Respire aire fresco

1.3.3 Contacto con los ojos

- Enjuague con agua durante varios minutos. Si la molestia persiste debe consultar con un médico.

1.3.4 Incendio

Revise el DOC-REG-SV-000001- PLAN DE RESPUESTA EMERGENCIAS 2023

1.3.5 Derrame

Revise el PEO-SHE-SV-005 - Protocolo de actuación ante un derrame de productos químicos peligrosos

Es importante que:

- Ninguna persona no capacitada puede realizar este procedimiento. Está prohibido el ingreso al área de baterías de personal no autorizado.
- Se debe revisar constantemente el estado de las materias y su mantenimiento.
- No se debe superar la capacidad máxima del intercambiador.
- Las baterías de plomo-ácido deben cargarse completamente. Evite utilizar continuamente las baterías parcialmente cargadas ya que acortará su vida útil y reducirá su capacidad.
- Está estrictamente prohibido fumar, soldar, pulir o realizar cualquier otra actividad que pueda causar chispas cuando esté cerca de una batería ya que la concentración de gas hidrógeno es alta.
- Utilice los zapatos de seguridad durante el proceso de carga
- Debe dejar radios y celulares en la caja ubicada fuera del local de carga

2. Responsabilidades

2.1 Salud ocupacional

- Implementar, mejorar y actualizar este procedimiento.
- Apoyar a los demás departamentos involucrados.
- Velar por el cumplimiento de este procedimiento.

2.2 Facilidades

- Realizar mantenimiento del sistema de ventilación.
- Notificar sobre los cambios que se realicen en el local de carga.

2.3 Personal de bodega

- Implementar este procedimiento.
- Reportar cualquier incidente o accidente durante el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo.
- Reportar cualquier cambio que se realice a las instalaciones, equipo o procedimientos.

3. ANEXO

RC-SHE-SV-0011- Registro de carga de apiladores y monta-cargas

Cargador	Batería	Hora de inicio	Hora de finalización	Responsable

Referencia: EnergicPlus. (s.f). GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO PROFESIONAL DE BATERÍAS. <http://energy4all.com.de/files/documents/cc7a38df-027e-4801-8ae7-9a73b393ea7b.pdf>

Norauto. (n.d.). *Hoja de datos de seguridad: Baterías*. https://medias-norauto.fr/fds/batteries_standards_SDS_ES.pdf

LOGO	Procedimiento de capacitación del personal	PEO-SHE-SV-009
	Elaborado por: Stephanie Meneses	
	Revisado por: René Araya	

2. Procedimiento de capacitación del personal (PEO-SHE-SV-009)

1. Propósito

Establecer lineamiento mínimos para la capacitación del personal sobre el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo

2. Alcance

Aplica para los operarios de bodega que realizan el proceso de carga de baterías.

3. Frecuencia

Cuando ingrese nuevo personal al área que requiera realizar el proceso de carga de baterías

4. Procedimiento

El siguiente cuadro muestra los temas por tratar en cada sesión y su contenido respectivo para la capacitación del personal de bodegas.

Cuadro 5. Temas de capacitación del proceso de carga de baterías

Sesión	Tema	Contenido	Recursos	Duración
1	Peligros en el proceso de carga de baterías	Reconocimiento de peligros de las baterías de ácido sulfúrico- plomo.	Computadora Proyector Refrigerio	1 hora

		Introducción a los nuevos locales de carga.		
2	Atmósfera explosiva durante el proceso de carga de baterías	Concepto de atmósfera explosiva Funcionamiento del sistema de extracción Explicación ventilación natural	Computadora Proyector Refrigerio	1 hora
3	Proceso para realizar la carga de baterías	Señalización, EPP, procedimiento de proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico- plomo, uso de bitácora.	Computadora Proyector Refrigerio	1 hora
4	Proceso para realizar la carga de baterías	Uso y práctica de caretilas para la extracción de baterías	Refrigerio Equipo de trabajo	

Esta capacitación deberá ser evaluada mediante un examen teórico sobre los temas vistos con una nota de aprobación de 75 y un examen práctico realizando el proceso de carga de baterías.

4.1 Costos

A continuación, en el cuadro se resumen los costos de la formación y capacitación de colaboradores.

Recurso	Cantidad	Costo total (€)
Capacitador 1: Personal de Salud Ocupacional	1	N/A
Capacitador 2: Proveedor externo	1	25 000
Sala de capacitación	1	N/A
Kit de contención de derrame para práctica	1	35 000
Extintor para práctica	1	60 000
Refrigerio	9	16 000
Costo total (€)		136 000

4.2 Anexos

RC-RH-SV-003 Registro de asistencia de capacitación

Capacitación:		
Objetivo:		
Fecha:		
Capacitador:		
Nombre	Código	Firma

--	--	--

Evaluación y seguimiento de programa.

Con el fin de conocer el avance del programa y contar con un control de los cambios realizados se plantea un seguimiento del mismo. Debido a que la mayoría de los cambios deberán ser aplicados en los próximos meses, esta evaluación se debe realizar para el mes de junio del año 2024. De esta forma se garantiza que los controles administrativos e ingenieriles se cumplan y se aplique la mejora continua para los casos que sean necesario.

Las listas de verificación que se encuentran en los apéndices 3, 4, 5 y 6 deben ser realizadas y se calcula el porcentaje de cumplimiento de cada lista según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de cumplimiento} = \text{Número de ítems cumplidos} / \text{número de preguntas totales}$$

Además, el siguiente cuadro muestra como calcular según los indicadores establecidos para evaluar el programa.

Cuadro 8. Criterios de evaluación y seguimiento del programa

Indicador	Fórmula	Frecuencia
% de comunicación de roles y responsabilidades a las personas involucradas.	$\frac{\text{Cant. de personas comunicadas de sus tareas}}{\text{Cant. de personas totales}}$	Anual
# de actividades de evaluación de riesgos realizadas con la participación de los trabajadores	$\frac{\text{Cant. de actividades realizadas}}{\text{Cant. de actividades totales}}$	Anual
% de trabajadores que participan en cursos de actualización (en relación con el plan establecido)	$\frac{\text{Cant. de personas participantes}}{\text{Cant. de personas totales}}$	Anual

% de procedimientos operativos revisados y mejorados en el curso de acciones correctivas	$\frac{\text{Cant. procedimientos mejorados}}{\text{Cant. de procedimientos totales}}$	Anual
% de trabajadores informados sobre los niveles de riesgo y las respectivas medidas de control de riesgos a aplicar en sus puestos de trabajo	$\frac{\text{Cant. de personas informados}}{\text{Cant. de personas totales}}$	Anual

Al final del proceso se debe generar un reporte final con los resultados y deberá ser compartido con las partes interesadas. Es importante realizar esta evaluación para establecer y realizar los ajustes o mejoras detectadas y dar seguimiento a los controles establecidos.

VIII. Cronograma del programa

Tarea	Inicio	Fin	Duración en días
Presentación del programa	01/13/25	01/13/25	1
Aprobación del programa	01/14/25	01/17/25	4
Proceso de costos y liberación de presupuesto	01/20/25	02/03/25	15
Construcción local de carga en bodega Droguería	02/17/25	03/03/25	15
Construcción local de carga en bodega Materia Prima	03/10/25	04/25/25	47

Validación de las construcciones por parte de la compañía	04/28/25	05/02/25	5
Capacitaciones	02/17/25	03/17/25	29
Revisión del funcionamiento	08/14/25	08/30/25	17

IX. Validación de la propuesta

La validación de la propuesta permite conocer si las alternativas anteriormente expuestas brindan seguridad a los colaboradores y a la compañía. Se aplican nuevamente las listas de verificación, las cuales se muestran en el apéndice 12, 13,14 y 15, según NFPA 855, UNE-EN 62485, NFPA 101 Y UNE-EN- 1127 con el fin de conocer el porcentaje de cumplimiento. La lista de verificación de la UNE- EN- 62485 cumple con un 86%, la lista de la NFPA 855 alcanza un 88%, en el caso de la NFPA 101 se cumple al 100% y un 61% de la lista de verificación de la UNE-1127 cumple.

El cumplimiento con la NFPA 855 es de suma importancia ya que no únicamente se evitan sanciones a nivel legal y por parte de los propietarios, sino que al mismo tiempo se minimizan los riesgos asociados a incendios y explosiones, garantizando la protección de las personas y la propiedad. Por el lado de la Compañía Farmacéutica, el desarrollo de la NFPA 855 contribuye al fortalecimiento de la gestión de la seguridad y salud ocupacional.

En cuanto a la ventilación natural de la bodega de droguería, se tomaron datos con un anemómetro a 65 puntos, de los cuales se promedia una velocidad de 0,71 m/s. El área del local es de 9,03 m² por lo que se obtiene un caudal de 12710 CFM. La norma solicita un caudal de 50,8 CFM, está alternativa proporciona las condiciones de seguridad en ventilación según la NFPA 855.

Según la información anteriormente mencionada, se construye la matriz de validación, esta se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Verificación de las alternativas de solución

Aspecto	Validación
Salud y seguridad	El programa de seguridad contra incendios y explosiones en el proceso de carga de baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de bodegas permite mediante controles ingenieriles un ambiente seguro para los colaboradores e instalaciones. De la mano con los controles administrativos que brindan el apoyo necesario para la implementación del mismo.
Económico	Las propuesta de construcción de un local seguro para el proceso de carga de baterías tiene asociado un costo importante, sin embargo, se ajustan al presupuesto establecido.
Sociocultural	Esta propuesta incluye todas las baterías de carga y operadores de bodega.
Ambiental	Se generan residuos durante la aplicación de las soluciones, pero la compañía cuenta con un plan para su gestión.
Estándares aplicables	Las soluciones cumplen con la NPFA 855, NFPA 101, la INTE T29:2016, UNE-EN- 1127

X. Conclusiones

- Los controles ingenieriles y administrativos fueron desarrollados a partir del análisis de la situación actual del proceso de carga de las baterías de ácido

sulfúrico- plomo en las bodegas de Materia Prima y Droguería. Es por esta razón que estos controles se acoplen a las necesidades de la compañía.

- Con la implementación del programa se reducen los riesgos a una atmosfera explosiva, ya que cuenta con la ventilación necesaria según la norma NFPA 855.
- Las medidas planteadas en el programa cumplen con la normativa aplicada a nivel nacional vigente.
- La mejora continua del proceso se lleva a cabo mediante la evaluación planteada.

XI. Recomendaciones

- Es importante el compromiso de los participantes con el programa para que las metas sean cumplidas y exista mejora continua.
- Se recomienda instalar filtros en el sistema de extracción para el tratamiento del hidrógeno.
- Realizar mantenimiento preventivo en conjunto con la compañía al sistema de extracción que garantice el funcionamiento de este
- Se debe realizar un estudio ergonómico al realizar el traslado de las baterías durante el proceso de carga

Bibliografía

Álvarez Granda, H. J., & Zuluaga Gómez, J. A. (2013). Optimización de las baterías que proporcionan el recurso energético para el servicio de los montacargas en la Industria de Alimentos Zenú SAS. Disponible en: https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/83/1/Rep_IUPB_Ing_Mec_Bacter%C3%ADas.pdf

Aguilar Chávez, W. A. (2022). Diseño de investigación para la gestión de un plan de mantenimiento para montacargas eléctricos de batería de placa plana, de batería de litio y montacargas de combustión (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).

Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. (2023). *Reglamento a la Ley del Benemérito Cuerpo de Bomberos de Costa Rica No. 8228*. <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/05/Reglamento-a-la-Ley-del-Benemerito-Cuerpo-de-Bomberos-de-Costa-Rica-No.-8228.pdf>

Bomberos de Costa Rica. (2023). Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios. Disponible en: <https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/03/RNPCI-2023.pdf>

Bomberos de Costa Rica. (s.f). Extintores portátiles. [https://www.bomberos.go.cr/extintores-portatiles/Figura 13. Extintor de CO₂ para el local de carga de baterías](https://www.bomberos.go.cr/extintores-portatiles/Figura%2013.%20Extintor%20de%20CO2%20para%20el%20local%20de%20carga%20de%20baterias)

Carranza García, J. (2022). Espacios confinados en instalaciones de almacenamiento petrolífero en España.

de Alba Padilla, C. A. (2017). Estudio y fabricación de una batería ácido plomo. *REPOSITORIO NACIONAL CONACYT*. Disponible en: <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/353>

Fibla Cebrián, N., & Sánchez Álvarez, E. J. (2020). Documento de protección contra explosiones durante la carga de baterías. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/98493>

Figuerola, N. (2012). Matriz de Asignación de Responsabilidades (RAM). *Buenos Aires-Argentina*.

Fernández Acosta, J. M. (2022). Comparación de costos entre: el Reglamento Nacional de Protección Contra Incendios (2020) y el Manual de Disposiciones Técnicas Generales al Reglamento sobre Seguridad Humana y Protección Contra Incendios (2013) basados en bodegas de almacenamiento.

Folgueiras Bertomeu, P. (2016). La entrevista. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/99003>

(González et al, 2020). Lista de cotejo. *Evaluación del y para el aprendizaje: instrumentos y estrategias*, 18(3), 89-107

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2015). Documentación toxicológica para el establecimiento y el límite de exposición profesional del ácido sulfúrico. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/288875/DLEP+100+Acido+sulfurico.pdf/8add57fe-3680-4aba-9277-4c469cb9b97a>

International Code Council. (2021). *International Building Code 2021*. ICC. <https://codes.iccsafe.org/codes/international-building-code>

Lucas Loyola, D. H. (2023). Diseño de un sistema de ventilación mecánica para salas de carga de batería de ácido-plomo para mantener la concentración de hidrógeno por debajo del 1%.

Macari Lagos, R. I. J. (2015). Criterios que determinan los requerimientos de resistencia al fuego de elementos estructurales.

Manrique, A. (2014). *Explotación del litio, producción y comercialización de baterías de litio en Argentina* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina).

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. (2004). Locales de carga de baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico. NTP 617. Disponible en: https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20617%20-%20Locales%20de%20carga%20de%20baterias%20de%20acumuladores%20electricos%20de%20plomo-acido%20sulfurico.pdf

Montealegre Avendaño, J. S., & Loaiza, J. R. (2019). Propuesta de modelo de dinámica de sistemas en una red de logística inversa de baterías de plomo-ácido que permita evaluar los riesgos físicos y el impacto al medioambiente y la salud. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/8f5b3285-0bfd-4223-bb83-5d3d7bd6585d/content>

NTP 617 (2004): Locales de carga de baterías de acumuladores eléctricos de plomo-ácido sulfúrico. Disponible en: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.cso.go.cr/legislacion/notas_tecnicas_preventivas_insht/NTP%20617%20-%20Locales%20de%20carga%20de%20baterias%20de%20acumuladores%20electricos%20de%20plomo-acido%20sulfurico.pdf

NTP 630. (2003). Riesgo de incendio y explosión en atmósferas sobre oxigenadas. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_630.pdf/5117fc1a-63b6-4ba9-9fa2-60b1d0da0a97?version=1.2&t=1692868329882

Bomberos de Costa Rica. (2021). Estadísticas-de-Incendios_diciembre_2021_Absoluto. Disponible en: https://www.bomberos.go.cr/wp-content/uploads/2023/07/Estadísticas-de-Incendios_diciembre_2021_Absoluto.pdf

Raeburn, A. (2023). EDT: cómo hacer una para tu proyecto con un ejemplo. Asana. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/work-breakdown-structure>

Talbert, M. (2024). Cronograma de actividades: qué es y cómo crearlo en 7 pasos. Asana. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/create-project-management-timeline-template>

Apéndices

Apéndice 1. Entrevista semiestructurada a los colaboradores que realizan la carga de las baterías en las bodegas.

La siguiente entrevista tiene como objetivo recolectar información sobre el proceso de carga de las baterías de ácido sulfúrico y plomo utilizadas para la carga de montacargas y apiladores. Los datos recolectados serán utilizados para un Trabajo Final de Graduación de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica y serán utilizado de manera confidencial.

Nombre: Colaboradores bodega

Puesto: Asistentes de bodega

Fecha: 20 de agosto

Conteste las siguientes preguntas:

1. ¿Cuántas veces al día se realiza la carga de los montacargas y apiladores?
2 veces al día.
2. ¿Cuánto tiempo tarda la carga de montacargas y apiladores?
Durante los recesos y tiempos sin uso.
3. ¿Cuál Equipo de Protección Personal utiliza para realizar este procedimiento?
Ninguno
4. ¿Ha recibido capacitación sobre el manejo y carga de las baterías de ácido sulfúrico y plomo?
No
5. ¿Conoce a que peligros se expone al realizar la carga de las baterías?
A descargas eléctricas

6. ¿Existen procedimientos para la realización de la carga de montacargas y apiladores?
No, solo se apaga antes de conectar y desconectar la batería.
7. ¿Conoce el tipo de batería, tipo de cargador y la tensión de carga?
La batería es de ácido sulfúrico, pero se desconoce la demás información
8. ¿En alguna ocasión la batería ha sufrido caídas o golpes?
No
9. ¿Las baterías reciben mantenimiento?
Sí, por parte de un externo cada tres meses
10. ¿Cuántas baterías se cargan simultáneamente?
Se pueden cargar las 3 al mismo tiempo.

Apéndice 2. Entrevista para el encargado de bodegas y el departamento de Salud Ocupacional

La siguiente entrevista tiene como objetivo recolectar información sobre el proceso de carga de las baterías de ácido sulfúrico y plomo utilizadas para la carga de montacargas y apiladores. Los datos recolectados serán utilizados para un Trabajo Final de Graduación de la Escuela de Ingeniería en Seguridad Laboral e Higiene Ambiental del Instituto Tecnológico de Costa Rica y serán utilizado de manera confidencial.

Nombre: Brandon Picado y René Araya

Puesto: Encargado de bodega y jefe de Salud Ocupacional

Fecha: 20 de agosto

Conteste las siguientes preguntas:

1. ¿Se han realizado estudios sobre los riesgos a los que se expone el personal al realizar la carga de baterías?

No, solo la evaluación por los compradores de la empresa.

2. ¿Cuáles cambios se han realizado para realizar este procedimiento de forma segura?

Ninguno, solo apagar el equipo antes de conectar y desconectar la batería.

3. ¿Existe algún presupuesto destinado para la gestión de los riesgos asociados al almacenamiento e intercambio de las baterías de ácido sulfúrico y plomo en el área de Recibo?

Sí, está siendo gestionado por el jefe de proyectos

4. ¿Cuáles departamentos considera que deben involucrarse para gestionar los riesgos asociados al almacenamiento e intercambio de las baterías de ácido sulfúrico y plomo?

Mantenimiento, salud ocupacional, limpieza.

5. ¿Cómo y con qué frecuencia se realiza la limpieza de las zonas de carga?

Una vez al día.

6. ¿Con que frecuencia se realiza mantenimiento del equipo?

Cada tres meses

7. ¿Se visualiza un cambio de equipos a futuro?

No se ha conversado al respecto, pero se espera que en algún momento se realice

8. ¿Existen planes de compra de nuevas baterías?

Sí, sin embargo, aún no está proyectado la cantidad

Apéndice 3. Lista de verificación según UNE-EN-62485-2015

Aspecto	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
¿Las baterías están protegidas contra el contacto directo de las partes en tensión?	X		
¿Se interrumpe la carga para conectar o desconectar las baterías?	X		
Se proporcionan bornes y conectores de la batería		X	
Antes de comenzar el trabajo se retiran los objetos personales metálicos de manos, muñecas y cuello del operador		X	
Si la tensión es mayor a 120 V, se utiliza ropa de protección aislante y/o recubrimientos de aislamientos locales			No aplica

¿El caudal de ventilación es igual al caudal teórico?		X	
Se retiran cubiertas antes de cargar las baterías	X		
¿Se utilizan zapatos de seguridad?		X	

Apéndice 4. Lista de verificación según NFPA 855

Aspecto	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
Los materiales combustibles son almacenados aparte de las estaciones de carga	X		
La temperatura, humedad y condiciones ambientales deben ser acorde a las especificadas por el fabricante.	X		
Las estaciones de carga cuentan con un sistema de monitoreo		X	
La instalación eléctrica cumple con la NFPA 70	X		
La señalización cumple con ANSI Z535 y contiene las especificaciones de la NFPA 855 en el apartado 4.7.4.2	X		
La zona de carga se encuentra colocada en un lugar seguro de golpes		X	
El ingreso es restringido		X	
Cuenta con detector de humo		X	
Cuenta con rociadores		X	
El área de carga está delimitada		X	
Los medios de egreso cuentan con luces de emergencia		X	

Las puertas abren hacia la dirección de egreso	X		
Las puertas cuentan con barra antipánico	X		
La ventilación mecánica de escape proporciona una velocidad mínima de 1 ft ³ /min/ft ²		X	
Cada batería esta espaciada un mínimo de 0.9 m de otras baterías y paredes		X	
Se proporciona un método para neutralizar los derrames de las estaciones de carga con electrolito de flujo libre		X	
El método es capaz de neutralizar un derrame de la batería más grande a un pH entre 5,0 - 9,0		X	
Las baterías están provistas de tapas de seguridad anti-flama		x	

Apéndice 5. Lista de verificación según NFPA 101

Aspecto	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
Las superficies del piso deben estar niveladas	X		
Las superficies del piso no deben ser resbalosas	X		
Los medios de egreso deben estar libres de cualquier obstrucción	X		
No se deben colocar espejos en las puertas de salida.	X		
El camino de salida debe ser obvio y directo Las puertas deberán estar dispuestas para poder abrirse fácilmente desde el lado de salida	X		
Las cerraduras no requerirán el uso de una llave	X		
El acceso a las salidas deberá estar marcado con	X		

señales fácilmente visibles			
El número de medios de salida es igual o mayor a 2	X		
Los medios de egreso terminan directamente en vía pública	X		
Las puertas abren hacia la dirección de egreso	X		
Las puertas cuentan con barra antipánico	X		

Apéndice 6. Lista de verificación según UNE-EN 1127-1: 2020

Fuente de ignición	Sí	No	Observación
¿Existen superficies calientes?		X	
¿Hay llamas y gases calientes?		X	
¿Pueden ocurrir impactos, fricción y abrasión generados mecánicamente?	X		Uso de joyería Caídas y golpes
¿Hay presencia de equipos eléctricos y componentes?	X		Baterías y cargadores de baterías

¿Existen corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica?	X		Baterías y cargadores de baterías
¿Podría existir electricidad estática?	X		
¿Podría haber reacciones exotérmicas?	X		Cortocircuito
¿Hay ondas electromagnéticas de radiofrecuencia?	X		Uso de radios
¿Podría ser impactado por rayos?		X	
¿Existen ondas electromagnéticas de 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz?		X	
Radiación ionizante		X	
Ondas ultrasónicas		X	
Compresión adiabática y ondas de choque		X	

Apéndice 7. 5 porqué de los resultados encontrados de lista de verificación UNE- EN- 1127

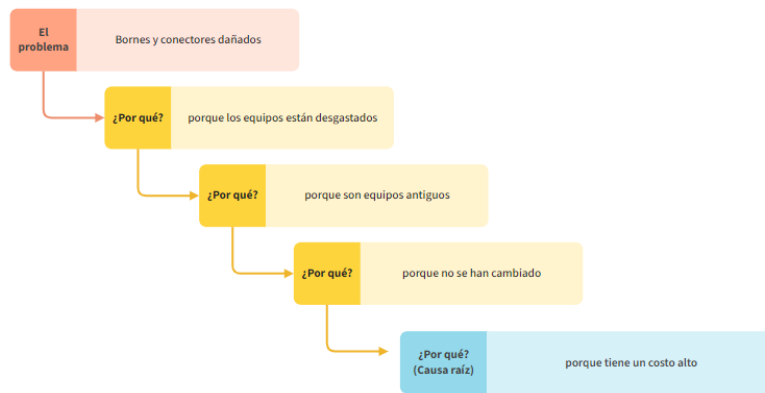
5 porqués Análisis



5 porqués Análisis



5 porqués análisis



Apéndice 8. Cálculo del caudal según UNE-EN-62485 para local de carga bodega de Materia Prima

Cálculo del caudal según UNE	
Datos batería 1	
I _n	192

Elementos		18
Fórmula	$Q=v*q*s*n*I_{gas}$	
Simplificada	$Q=0,055* n* I_{gas}$	
I_{gas}	$0,4* I_n$	
I_{gas}		76,8
Caudal =		76,032
	76,03 m3/h	
Cfm		44,72
Datos batería 2		
I_n		95
Elementos		12
I_{gas}		38
Caudal =		25,08
	25,08 m3/h	
Cfm		14,75
Datos batería 3		
I_n		134
Elementos		18
I_{gas}		53,6
Caudal =		53,06
	53,06 m3/h	
Cfm		31,21
SUMA		90,69

Apéndice 9. Cálculo del caudal según NFPA 855 para local de carga bodega de Materia Prima

Cálculo
del
caudal
según
NFPA
855

1			
Velocidad	ft3/min/ft2	Área	12,2 m2
El cuarto	131,32 ft3/min	área	131,32 ft2

Apéndice 10. Cálculo de caudal local de carga para bodega Materia Prima alternativa 1

		Local 2	
LEL del hidrógeno	4%		Concentración de hidrógeno
Limite según NFPA 855	25%		CH= (Nx lx K)+ (Nx lx K)+ ...
Concentración máxima permitido	1%		CH= 12*160*0,00045
Volumen del local (m3)	32,25		CH 3,3156
Volumen. máximo permitido (m3)	0,3225		
		Caudal minimo requerido	
		CH	3,3156
		Q= CH / %CH2	
		%CH2	1% Q= 331,56 m3/h
		195,29 cfm	

Apéndice 11. Cálculo de ventilación natural de bodega de droguería alternativa 2

Local 2					
LEL del hidrógeno	4%	N=	12	Concentración de hidrógeno	
Limite según NFPA 855	25%	I (A)=	160	CH= Nx Ix K	
Concentración máxima permitido	1%	K (m ³ /h) =	0,00045	CH= 12*160*0,00045	
Volumen del local (m ³)	45,15			CH	0,864
Volumen. máximo permitido (m ³)	0,4515	Caudal minimo requerido			
		CH	0,864	Q= CH / %CH2	
		%CH2	1%	Q=	86,4 m ³ /h
					50,8 cfm

Apéndice 12. Validación de la propuesta según lista de verificación UNE-EN-62485-2015

Aspecto	Cumplimiento		
	Sí	No	Observaciones
¿Las baterías están protegidas contra el contacto directo de las partes en tensión?	X		
¿Se interrumpe la carga para conectar o desconectar las baterías?	X		
Se proporcionan bornes y conectores de la batería		X	
Antes de comenzar el trabajo se retiran los objetos personales metálicos de manos, muñecas y cuello del operador	X		
Si la tensión es mayor a 120 V, se utiliza ropa de protección aislante y/o recubrimientos de aislamientos locales			No aplica

¿El caudal es igual al caudal teórico?	X		
Se retiran cubiertas antes de cargar las baterías	X		
¿Se utilizan zapatos de seguridad?	X		

Apéndice 13. Validación de las propuestas con lista de verificación según NFPA 855

Aspecto	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
Los materiales combustibles son almacenados aparte de las estaciones de carga	X		
La temperatura, humedad y condiciones ambientales deben ser acorde a las especificadas por el fabricante.	X		
Las estaciones de carga cuentan con un sistema de monitoreo	X		
La instalación eléctrica cumple con la NFPA 70	X		
La señalización cumple con ANSI Z535 y contiene las especificaciones de la NFPA 855 en el apartado 4.7.4.2		X	En Costa Rica debe cumplir con Inteco
La zona de carga se encuentra colocada en un lugar seguro de golpes	X		
El ingreso es restringido	X		
Cuenta con detector de humo	X		
Cuenta con rociadores	X		
El área de carga está delimitada	X		
Los medios de egreso cuentan con luces de emergencia	X		

Las puertas abren hacia la dirección de egreso	X		
Las puertas cuentan con barra antipánico	X		
La ventilación mecánica de escape proporciona una velocidad mínima de 1 ft ³ /min/ft ²	X		
Cada batería esta espaciada un mínimo de 0.9 m de otras baterías y paredes	X		
Se proporciona un método para neutralizar los derrames de las estaciones de carga con electrolito de flujo libre	X		
El método es capaz de neutralizar un derrame de la batería más grande a un pH entre 5,0 - 9,0	X		
Las baterías están provistas de tapas de seguridad anti-flama		X	

Apéndice 14. Validación de propuesta según lista de verificación de NFPA 101

Aspecto	Cumplimiento		Observaciones
	Sí	No	
Las superficies del piso deben estar niveladas	X		
Las superficies del piso no deben ser resbalosas	X		
Los medios de egreso deben estar libres de cualquier obstrucción	X		
No se deben colocar espejos en las puertas de salida.	X		
El camino de salida debe ser obvio y directo Las puertas deberán estar dispuestas para poder abrirse fácilmente desde el lado de salida	X		
Las cerraduras no requerirán el uso de una llave	X		
El acceso a las salidas deberá estar marcado con	X		

señales fácilmente visibles			
El número de medios de salida es igual o mayor a 2	X		
Los medios de egreso terminan directamente en vía pública	X		
Las puertas abren hacia la dirección de egreso	X		
Las puertas cuentan con barra antipánico	X		

Apéndice 15. Lista de verificación según UNE-EN- 1127

Fuente de ignición	Sí	No	Observación
¿Existen superficies calientes?		X	
¿Hay llamas y gases calientes?		X	
¿Pueden ocurrir impactos, fricción y abrasión generados mecánicamente?	X		Caídas y golpes
¿Hay presencia de equipos eléctricos y componentes?	X		Baterías y cargadores de baterías

¿Existen corrientes eléctricas parásitas, protección contra la corrosión catódica?	X		Baterías y cargadores de baterías
¿Podría existir electricidad estática?	X		
¿Podría haber reacciones exotérmicas?	X		Cortocircuito
¿Hay ondas electromagnéticas de radiofrecuencia?		X	
¿Podría ser impactado por rayos?		X	
¿Existen ondas electromagnéticas de 3×10^{11} Hz a 3×10^{15} Hz?		X	
Radiación ionizante		X	
Ondas ultrasónicas		X	
Compresión adiabática y ondas de choque		X	