

ANÁLISIS TÉCNICO-NORMATIVO DE LOS RECURSOS ENÉRGICOS UTILIZADOS EN VEHÍCULOS DESTINADOS AL MOVIMIENTO DE MERCADERÍA PALETIZADA EN PLANTAS INDUSTRIALES

Ing. Sergio Martín Arocas¹, Ing. Oscar Labatti², Abog. Matías Toso³

1-UIDET-IAME Facultad de Ingeniería, Calle 1 y 47, La Plata, Argentina.
martin.arocas@ing.unlp.edu.ar

2-Pampa Fox, Calle Maipú 429, CABA, Argentina.
oscar@pamapafox.com.ar

3-Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería, Av. Luro 378, Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
matiaostoso@gmail.com

Palabras clave: Autoelevadores, Baterías, Pilas de combustible, Almacenes, Tiempo de recarga, Tiempo de reposición, Residuo peligroso.

Resumen

Los autoelevadores propulsados por motores de combustión interna al emitir gases de escape no pueden ser utilizados en lugares cerrados, así nace la posibilidad de sustituirlos por equipos propulsados por baterías plomo-ácido o pilas de combustible.

Una característica importante que tienen las pilas de hidrogeno es que son capaces de mantener constante la tensión y potencia que entregan, por lo que es posible aumentar la productividad de la planta, además gracias al menor tiempo de recarga de la pila de combustible y que el tiempo de cambio o reposición es nulo, se pueden recuperar horas de trabajo en comparación con el uso de baterías plomo-ácido. Los productos resultantes de las baterías de hidrogeno son amigables con el medio ambiente y su tratamiento resulta técnicamente más simple y económicamente más bajo.

Las baterías de plomo ácido cuando llegan al final de su vida útil se convierten en residuos peligrosos según la ley 24.051 y por tanto surgen las limitaciones debidas al tratamiento de estos residuos. En cambio la falta de legislación para el uso de las pilas de combustible representa una barrera a la penetración de esta tecnología en nuestro país.

Es evidente que si al menos en ambientes cerrados se logra utilizar autoelevadores a batería o pilas de combustible se pueden reducir emisiones provenientes de la combustión en un motor de combustión interna, debido a que se reduce el consumo de combustible.

1. Objetivo

Detectar medidas para el desarrollo, construcción e implementación de proyectos que involucren al Sector Transporte en Argentina, analizando sus probables impactos en el uso de recursos y la contaminación asociados. Análisis de la normativa local vigente en cuanto a las posibilidades de utilización de vehículos a batería para el movimiento de mercadería paletizada.

2. Introducción

El principal requerimiento para un autoelevador, apilador o zorra eléctricos es una fuente portátil de energía eléctrica y que esta pueda ser transformada en energía mecánica para propulsar el vehículo y también accionar los mecanismos de elevación.

Una forma de comparar el rendimiento de las baterías es a través de la energía específica (Wh/kg), la cual indica la energía por unidad de masa de la batería y está íntimamente relacionado con la autonomía del vehículo.

Además de este índice, las baterías se comparan respecto a la potencia específica, ciclo de vida, rendimiento, coste, mantenimiento, aptitud para la recarga rápida, seguridad y reciclaje. La potencia específica (W/kg) es la potencia de la batería por unidad de masa y se relaciona con potencia y las prestaciones del equipo.

El ciclo de vida de una batería se refiere al número de veces de descarga o los años esperados de funcionamiento para una cierta aplicación, siendo este importante para realizar la comparación de costes de las baterías. En relación a la seguridad, las baterías deben tener una protección adecuada tanto para la propia batería como para el operario y el medio ambiente, en el caso ideal, los materiales tóxicos y metales pesados utilizados pueden ser reciclados en nuevas unidades. Las fuentes de energía eléctrica utilizadas para el movimiento de mercadería palletizada son las baterías plomo-ácido y las pilas de combustible o baterías de hidrógeno.

Baterías y pilas de combustible

Las baterías están construidas con celdas conectadas en serie, estas celdas contienen energía química que se convierte en energía eléctrica. Las celdas forman módulos, para luego ser conectados en serie o paralelo y entregar la energía y tensión requerida en el autoelevador, apilador o zorras eléctricas.

En cambio en una pila de combustible, el hidrógeno y el oxígeno pasa a través de las superficies del ánodo y el cátodo para generar energía eléctrica por la oxidación del combustible, por lo que mientras se le suministra combustible (Hidrógeno) y oxidante (aire u oxígeno) esta generará energía eléctrica.

Baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido ofrecen alta potencia y comportamiento fiable, seguro y de bajo costo. Este tipo de baterías es muy utilizado debido a que se fabrican en serie y por lo tanto se abaratan costos y son de fácil adquisición.

Sin embargo tienen un pobre comportamiento en frío, corto ciclo de vida y una baja energía específica (30-35 Wh/kg), lo que implica que para obtener una buena autonomía se requieran de 400 a 500 kg en baterías y además requieren entre 8 y 10 horas para su recarga.

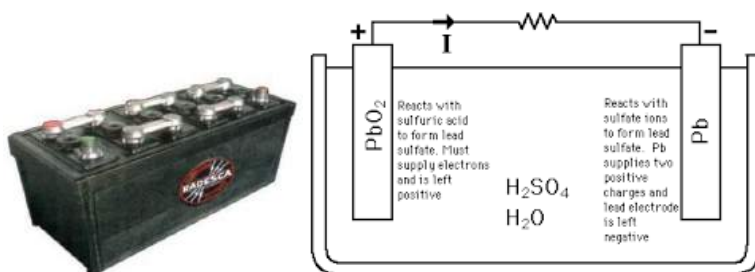


Figura 1. Batería de plomo-ácido. Esquema constitutivo.

Baterías de hidrogeno (Pila de combustible)

La pila de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma la energía química del combustible directamente en energía eléctrica (corriente continua). Una celda elemental está compuesta por dos electrodos, ánodo y cátodo, y un electrolito. Las celdas se conectan en serie a través de placas separadoras y forman así una pila (stack).

Un problema de estas baterías es que requieren de grandes superficies de los electrodos para aumentar la velocidad de la reacción, tanto es así que la corriente generada se expresa en amperios por cm^2 del área del electrodo.

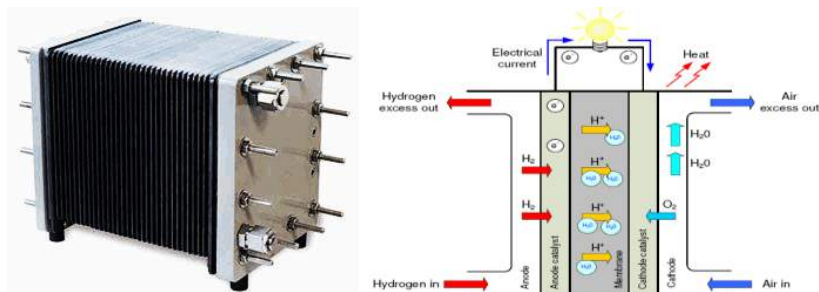


Figura 2. Pila de hidrógeno y esquema de partes constitutivas.

Problemática a resolver con el uso de baterías

El problema a abordar se vincula con la necesidad de reducir las emisiones ocasionadas durante el movimiento de cargas palletizadas en depósitos y generar una alternativa para hacer posible estos trabajos en ambientes cerrados en los cuales los motores de combustión interna son privativos, y el trabajo en condiciones de bajas temperaturas (cámaras de frío, etc.).

Los antecedentes que se analizarán a lo largo del presente no sólo remiten a la cuestión ambiental relacionada con las emisiones, sino que se amplía a otros aspectos tales como el rendimiento y economía de la actividad.

3. Desarrollo

Análisis Tecnológico: Tipos de vehículos, usos, características técnicas de los vehículos y baterías, distribución de la fábrica o estación de almacenaje.

Los vehículos elevadores se utilizan en muchas aplicaciones comerciales e industriales para mover todo tipo de bienes y/o materiales, hacia o desde las áreas de almacenamiento o de un puesto de trabajo a otro. Algunos usos incluyen el transporte a nivel del suelo, mientras que otros requieren de elevación. Las cargas más pesadas se trasladan a nivel del suelo, pero pueden ser elevados una vez que se llega al lugar de almacenamiento



Durante el transporte de las cargas paletizadas, el operador puede caminar detrás, caso del apilador y la zorra, o ir dentro de la cabina del vehículo, autoelevador.




Normalmente, el peso de las cargas a transportar oscila entre 450 y 6000 kg, por lo que conocido el peso y la altura de elevación que se necesita se podrá seleccionar el vehículo a utilizar para las diferentes plantas industriales.

Los autoelevadores pueden usarse desde unas pocas horas por día a 24 horas al día, 7 días a la semana y pueden ser utilizados en actividades en el interior de los almacenes, depósitos o fábricas como así también en otros propósitos al aire libre.

Los diseños actuales de autoelevadores son alimentados por baterías de plomo-ácido o por combustibles fósiles mientras que en los apiladores se están utilizando con baterías de hidrógeno para el transporte de cargas menores, desplazando a los apiladores y zorras que funcionan con baterías plomo-acido. En la Tabla 1 se muestra una clasificación de los vehículos utilizados en el movimiento de cargas según la clase y categoría.

Tabla 1. Clasificación de vehículos elevadores, apiladores y zorras.

Clase	Categoría / Características
<p style="text-align: center;">I</p> 	<p><i>Autoelevadores (Forkliftstrucks) Eléctricos:</i> A- Autoelevadores Eléctricos de 1000 a 1800 kg. B- Autoelevadores Eléctricos de 2000 a 2500 kg. C- Autoelevadores Eléctricos de 3000 a 3500 kg. D- Autoelevadores Eléctricos de más de 3500 kg.</p>
<p style="text-align: center;">II</p> 	<p><i>Autoelevadores (Forkliftstrucks) a Combustión:</i> A- Autoelevadores a combustión de 1000 a 1800 kg. B- Autoelevadores a combustión de 2000 a 2500 kg. C- Autoelevadores a combustión de 2800 a 3500 kg. D- Autoelevadores a combustión de 4000 a 6000 kg. E- Autoelevadores a combustión de más de 6000 kg.</p>

<p style="text-align: center;">III</p> 	<p>Apiladores (Reachtrucks) Eléctricas: A- De torre de 3,5 a 4,5 metros. B- De torre de más de 4,5 metros El operador viaja en la plataforma del apilador, para las operaciones de desplazamiento y elevación de la carga.</p>
<p style="text-align: center;">IV</p> 	<p>Apiladores (Stackers): Desplaza y eleva. El operador viaja detrás del apilador, para las operaciones de desplazamiento y elevación de la carga.</p>
<p style="text-align: center;">V</p> 	<p>Zorras eléctricas (Electric Pallets trucks): Desplaza. El operador puede ir detrás o en la plataforma de desplazamiento.</p>

En una primera aproximación, las clases definidas como I, III, IV y V son propulsadas por motores eléctricos y la clase II es alimentada por motores de combustión interna. La capacidad de carga de los autoelevadores con motor a combustión interna es notablemente superior a la capacidad de los autoelevadores eléctricos, en las categorías más altas.

A continuación se describen las principales características de los vehículos clases I a V:

- Clase I. Esta clase consiste en una unidad de tres ruedas impulsada por un motor eléctrico. El operador se viaja sentado en la cabina del vehículo. Se caracterizan por el peso que pueden desplazar y elevar en las categorías A, B, C y D. El autoelevador puede ser utilizado en espacios estrechos, normalmente se da en el movimiento de stocks de almacenes.
- Clase II. En esta clase el contrapeso del autoelevador lo realiza la cabina y el motor de combustión interna. Generalmente utiliza neumáticos sólidos que son más amortiguados. Se caracterizan según el peso que pueden elevar en las categorías A, B, C, D y E.
- Clase III. Esta clase de apiladores es accionada por un motor eléctrico y el operador viaja parado sobre la plataforma del mismo. Además la plataforma se utiliza para equilibrar las cargas palletizadas a elevar. Se categorizan en A y B según la altura de la torre de elevación.

- **Clase IV.** Esta clase de apiladores es accionada por un motor eléctrico y el operador viaja detrás del mismo (el operador empuja el apilador). La capacidad de elevación es menor que el de la categoría III debido a que no posee la plataforma para equilibrar las cargas.
- **Clase V.** Esta clase utiliza un motor eléctrico para lograr el desplazamiento de las cargas. En esta clase el operador puede ir detrás de la zorra (el operador empuja el apilador) o viaja en la plataforma.

Vehículos elevadores a batería

La batería se utiliza para varias funciones en un vehículo elevador, en primer lugar, suministra la energía para trasladar las cargas y en segundo lugar para elevarlas.

Los autoelevadores eléctricos (Clases I, categorías A, B, C, y D) tienen una variada capacidad de elevación, van de 1000 a más de 3500 kg, aunque la mayoría de los vehículos elevadores eléctricos están en el rango de 1000 a 3000 kg.

Los autoelevadores y apiladores de clases I, II, y III se utilizan para la recepción de cargas en centros de distribución, centros logísticos en el transporte marino o en la logística de fabricación.

Generalmente las zorras eléctricas, clase V, se utilizan en aplicaciones de manipulación de materiales en el interior de los depósitos, almacenes o fábricas que no requieren grandes alturas de elevación; suele encontrarse en las operaciones de almacenes de venta al por menor.

Los autoelevadores, clase I, y apiladores, clase III, son utilizables en lugares donde los autoelevadores accionados por motores de combustión interna no son prácticos, como ser ambientes interiores y pasillos estrechos. Esto se debe principalmente a que los motores envían gases de combustión al ambiente y las dimensiones del mismo son mayores respecto a las de un autoelevador eléctrico.

Cuando estos vehículos son utilizados en ambientes refrigerados, como por ejemplo, frigoríficos, almacenes o depósitos de alimentos (los que requieren refrigeración), la batería plomo-ácido se ve comprometida. Esto le da a los vehículos eléctricos con batería de hidrógeno una ventaja para ser usados en estos espacios.

Las zorras y apiladores eléctricos están diseñadas principalmente para uso en interiores. En cambio los autoelevadores pueden ser adaptados para ser utilizados al aire libre, estas adaptaciones consideran los neumáticos (inflables) para permitir el uso en superficies desniveladas, impermeabilización de la carretilla elevadora y el sellado correspondiente para que no ingrese agua al compartimento donde se encuentre la electrónica. Además, con el uso de motores de corriente alterna se logra una mayor velocidad de elevación y de viaje.

Los problemas que se presentan en los autoelevadores impulsados por batería de plomo-ácido es que no alcanzan a cubrir una jornada de 8 horas, estas resisten un uso constante de 5 a 6 horas y otro problema de operación es el tiempo de carga de las baterías. La principal ventaja que presentan es que al no emitir gases de escape, se pueden utilizar en ambientes cerrados.

Los principales usos de los autoelevadores con motor de combustión interna, clase II, se dan en la construcción, agricultura, industria manufacturera, grandes almacenamientos,

reciclaje, bebidas y embotellado, fábricas de papel, productos de madera, material de construcción, movimiento de productos de vidrio y metálica. Estas aplicaciones se pueden hacer también mediante el uso de zorras, apiladores y vehículos eléctricos, lo esto muestra la versatilidad de estos vehículos eléctricos.

El peso y cantidad de carga a transportar, la altura de elevación y los tiempos de espera para la recarga de las baterías dependen de la ubicación en la planta de las bodegas de recarga o dispenser de hidrógeno, por lo que la distribución (lay out) del depósito, almacén o fabrica, son variables a considerar en el momento de la selección del autoelevador, apilador o zorra eléctrica que mejor se adapte a cada aplicación.

Comparación técnica de las baterías

Los vehículos elevadores con pilas de hidrogeno tienen algunas ventajas importantes sobre las baterías de plomo-ácido, la primera es que permite aumentar la productividad utilizando baterías de hidrógeno dado que se eliminan los cambios de baterías plomo-ácido. En segundo lugar, las recargas de combustible se realizan en 5 minutos aproximadamente, y dado que generalmente no existen múltiples estaciones de carga de hidrógeno en una planta, depósito o almacén, el espacio necesario para el abastecimiento de combustible es menor que el requerido para recargar las baterías.

Además, las baterías de hidrógeno mantienen la tensión constante durante un turno de operación, a diferencia de las baterías de plomo-acido que denotan caída de tensión hacia el final del turno y cuando operan en lugares refrigerados.

Con el uso de baterías de hidrógeno no hay preocupaciones ambientales por perdidas de ácido o plomo, o escape de emisiones (En comparación con un vehículo de combustión interna), aunque la manipulación y almacenamiento de hidrógeno pueden tener dificultades en lo que respecta a seguridad. El uso del hidrógeno se ve reflejado en menores costos de logística aunque tiene mayores costos iniciales debido a las instalaciones necesarias.

4. Análisis Económico: costo de adquisición del equipo. Costos de operación y mantenimiento, costo asociado a la energía para la carga de las baterías

Debido a que es posible pasar de una flota de autoelevadores con motores de combustión interna a una flota propulsada por energía eléctrica, se comparan las diferencias que existen entre las baterías de Plomo-Ácido y las de Celdas de combustible.

Se considera el análisis económico de caso para una flota de 230 unidades que se describe en el informe Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems.

Los autoelevadores que utilizan pilas de combustible ofrecen una oportunidad económicamente conveniente debido a que es posible mejorar la productividad de la empresa a través de:

a) Funcionamiento de varios turnos de trabajo con reabastecimiento rápido, sin necesidad de recarga de la batería (figura 3)

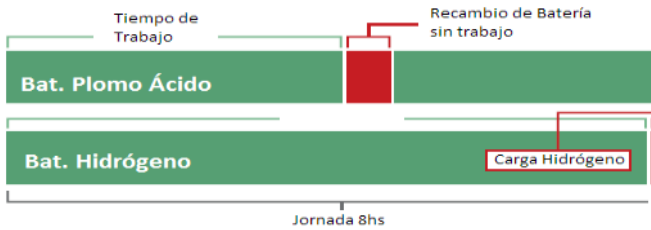


Figura 3. Ciclo de carga de baterías.

b) Potencia constante en todo el ciclo de trabajo, esto permite a los conductores de los vehículos trasladar más bienes y/o materiales en un período determinado de tiempo, es decir, se obtienen jornadas más productivas (figura 4).

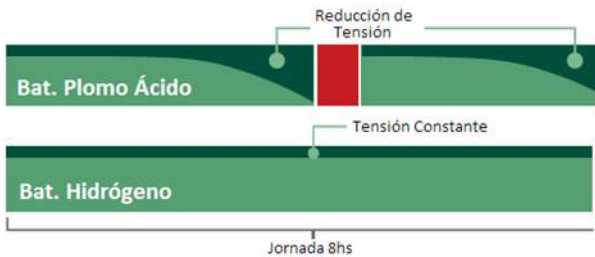


Figura 4. Tensión en bornes durante la jornada.

En las jornadas de 8 horas, por lo general, hay que hacer al menos un cambio de baterías. Esto implica que el operador debe abandonar su área de trabajo conduciendo a la estación de recambio de baterías y reemplazar por una batería cargada, este proceso se requiere de 30 minutos aproximadamente.

Por el contrario, un vehículo a batería de hidrógeno elimina el tiempo de reemplazo de batería y así se presume un aumento en la productividad. Durante la jornada de trabajo la pila de combustible produce una tensión constante y mantiene la capacidad de salida de potencia constante durante las 8 horas. Los incrementos en la productividad se traducen en periodos más cortos para recuperar la inversión.

Retorno de inversión en celdas de combustible

En el análisis se realiza una comparación entre baterías de plomo-ácido y de hidrógeno para la flota determinada de autoelevadores, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

Tamaño de flota: el caso de estudio es una instalación para un gran centro de distribución de artículos comestibles, formada por 180 unidades Clase III, 40 Clase II y 10 de la Clase I, que operan 2.5 turnos por día, durante todo el año.

Mejoras en la productividad: el recambio de baterías implica un tiempo de no operatividad. Se asume que cada cambio de la batería dura unos 20 minutos, y que se producen de 2 a 3 veces por día. Cada carga de hidrógeno supone una duración de 3 minutos y se produce entre 1,3 y 1,5 veces por día.

Costo instalación Hidrógeno: el precio de la energía para una pila de hidrógeno depende del fabricante, tamaño de la unidad y el volumen de unidades producidas. Para este escenario, se asume un precio comercial de U\$s 14.000 a U\$s 30.000 por unidad, dependiendo de la clase de vehículo.

Tiempo de vida de las baterías: las baterías de plomo son reemplazadas cada tres años, a un costo de U\$s 2.600 a U\$s 5.500 por batería, dependiendo del tamaño y de la clase del autoelevador. Mientras que el tiempo de vida promedio del sistema de una pila de combustible es de 10 años.

Costo de combustible: el costo de la electricidad, para la recarga de las baterías, y el hidrógeno deben ser tenidos en cuenta. El Hidrógeno, incluyendo distribución y almacenamiento, tiene un precio aproximado de U\$s 8.00 por kilogramo. Normalmente, para las instalaciones con más de 40 vehículos resulta práctica la instalación de estaciones de carga distribuidas en la planta.

Inversión: el resultado de la inversión es, el recupero de la inversión se estima en un periodo menor a un año, considerando la inversión en baterías para 230 autoelevadores. En 10 años (vida útil de las pilas de hidrógeno) de operación se obtendrá un ahorro del 24% del costo total del equipo durante su vida útil. Esto representa la recuperación de 52.440 horas al año de productividad.

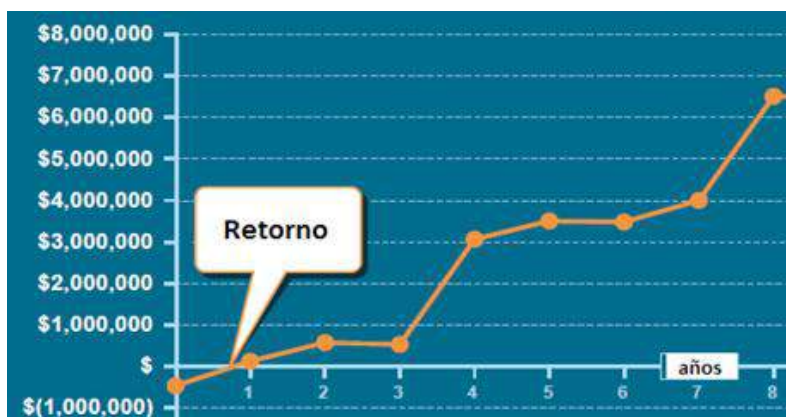


Figura 5. Diferencia de inversión entre Bat. Hidrogeno y Bat. Plomo Ácido.

Tabla 2. Comparación de costos Plomo Ac. Vs. Bat. Hidrógeno.

Aspectos claves para utilización de baterías.		Aspectos claves para utilización de baterías de Hidrógeno.	
Costo de baterías	U\$s 2600 Clase3 U\$s 4900 Clase2 U\$s 5500 Clase1	Costo de Hidrógeno	Clase 1 U\$s 30000 Clase 2 U\$s 28000 Clase 3 U\$s 14000
Cantidad de baterías	3 por unidad	Cantidad de Celdas	1 por unidad
Costo de cargador	U\$s 2300	Precio de Hidrógeno	U\$s 8 por kg
Vida útil	3 años	Vida útil	10 años
Tiempo perdido por carga	20 minutos	Tiempo perdido por carga	3 minutos
Costo del operario por hora	U\$s 25	Costo del operario por hora	U\$s 25

Suministro de Hidrógeno

El Mercado del hidrógeno se encuentra en expansión. Los proveedores de aire comprimido industrial están ofreciendo soluciones para la demanda de hidrógeno. Se implementan soluciones temporarias que permiten hacer una evaluación rápida y económica de una instalación de varias máquinas. Una vez que la flota pasó a utilizar hidrógeno, se realiza una instalación permanente.

Comentarios acerca de la valuación

Hoy en día, la propuesta de la utilización de pilas de hidrógeno es conceptualmente viable. Si bien para cada instalación debe realizarse una evaluación particular, el análisis de este caso demuestra que con la utilización de baterías de hidrógeno es posible aumentar el rendimiento de las operaciones por cada jornada y permite minimizar el costo de operación de la flota.

5. Tiempo de espera y recarga: tipo de batería, tiempos de carga y descarga de las baterías, modo de uso de los vehículos.

Se requiere de 5 a 15 minutos el tiempo de espera para el cambio automático de las baterías y hasta 45 minutos o más si se hace manualmente.

En la utilización de baterías de plomo-acido se requieren 8 horas para el cargado, durante este tiempo aumenta la temperatura de las baterías y en consecuencia se deben dejar enfriar durante 8 horas, así es necesario contar con tres baterías para cada vehículo que opere durante las 24 horas.

Los cargadores de baterías se ubican en lugares secos, ventilados y de temperatura controlada ya que las baterías liberan oxígeno e hidrógeno durante el tiempo de carga.

Por otra parte, las pruebas y la sobrecarga de la batería pueden dar lugar a derrames de ácido, por lo que los procesos de carga se separan de otras operaciones, aumentando el costo debido al mayor espacio que se necesita.

La carga de las baterías debe ser programada para los periodos de valle y resto para evitar recargos en la facturación.

Otra desventaja de los vehículos elevadores que funcionan con baterías es la disminución de potencia debido a la descarga de la batería, provocando una disminución aproximada del 7,5% de la productividad. Este problema puede ser minimizado con el uso de motores de corriente alterna en lugar de motores de corriente continua.

6. Efectos ambientales

El primer efecto que se advierte es la disminución del uso de combustibles fósiles lo que conlleva a conocidos beneficios para el ambiente (Baja de las emisiones de gases de efecto invernadero) y para la sustentabilidad de la actividad, sin perjuicio que influya directamente en la salud de los operarios que se ven expuestos permanente a los gases de combustión.

Sin embargo, al comparar el impacto ambiental de la utilización de baterías de plomo-ácido, aparece un hecho sujeto a regulación que está dado por los más modernos estándares ambientales que obligan a las personas físicas o jurídicas que a través de cualquier proceso o actividad que produzcan residuos calificados de "peligrosos" - en cualquier punto de nuestro país - a estar inscriptos en un REGISTRO y someter estos materiales a planes de manejo especiales.

Más precisamente, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación cuenta entre los sujetos regulados por la Ley 24.051 (y Decreto N° 831/93) a los "Generadores Eventuales" figura que encuadra para este caso como generadores de residuos de manera no programada o accidental, dado que si bien el objetivo principal es el acopio y movimiento de mercadería con vehículos eléctricos, como resultado de esa actividad se adquieren, depositan, recargan, cambian y desechan baterías con plomo-ácido, sustancia clasificada por la normativa como "residuo peligroso".

Las baterías de plomo-ácido llegan al final de su vida útil cuando su capacidad es un 80 % inferior a la inicial y a partir de allí se convierte en un residuo peligroso por dos de los elementos que contiene: El plomo y una solución diluida de ácido sulfúrico en agua (33,5 % aproximadamente) que puede encontrarse en tres estados: líquido, gelificado o absorbido. Ambas sustancias están catalogadas por la regulación como Y31/Y34 según el Anexo I de la Ley 24.051 y Resolución N° 3/2008 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable sobre Operatoria Especial de Manifiestos.

Este hecho no sólo tiene una implicancia administrativa relacionada con la inscripción en un registro especial sino que además requiere la aplicación de pautas técnicas específicas para la construcción del depósito de almacenamiento y para la disposición final de las baterías desechadas, incluso para su transporte o traslado (los depósitos deben contar con planes de contingencia y adsorbentes universales o minerales ya que no pueden contenerse con agua o aserrín por el riesgo que implican sus reacciones). Para el traslado de baterías en condiciones de seguridad se utilizan cobertores especiales y sistemas de contención para evitar derrames. Un ejemplo de estos puede verse en la figura 6.



Figura 6. Contenedor de Derrame y Cobertores para transporte de baterías.



Figura 7. Acopio de baterías de plomo ácido usadas en pallets.



Figura 8. Almacenamiento en Contenedores Plásticos.

En otro orden de ideas, la utilización de pilas de hidrógeno no estaría sujeta en su plan de manejo e impacto a esta regulación ya que ni el combustible (hidrógeno) ni el residuo (agua) están catalogados como residuos peligrosos.

En Argentina, la escasa regulación y normativa referidas a hidrógeno supone precisamente una de las barreras para su introducción en el mercado, sobre todo para los proveedores. Sin embargo, si se requieren medidas de manejo y seguridad para el almacenamiento y distribución del hidrógeno y las instalaciones de recarga, pero estas últimas resultan más convenientes y prácticas por estar fuera de la regulación mencionada y ser más estandarizadas con el único propósito de alcanzar los objetivos de seguridad y comercio justo.

A modo de conclusión puede decirse que sobre la base de todas las características analizadas en un proyecto de sustitución de vehículos a motor de combustión interna por eléctricos, la opción del hidrógeno permitiría alcanzar condiciones de manejo más provechosas para el ambiente (ante la ausencia de residuos peligrosos) y para la empresa (al evitar el manejo de residuos peligrosos con un notable costo tanto de operación como administrativo).

7. Seguridad

Almacenamiento de hidrógeno para la carga de baterías

El éxito de los proyectos de cambios de baterías de plomo-acido a pilas de hidrógeno, dependen en gran medida de la capacidad para almacenar el hidrógeno en condiciones de seguridad y accesibilidad. Este vector es el que posee mayor energía por unidad de peso, pero en volumen su contenido energético es bajo, en comparación con el resto de los combustibles. Surge así la necesidad de almacenarlo comprimido, licuado y asociado química o físicamente con otros elementos, con el objetivo de obtener una densidad energética dimensionada al fin buscado, es decir cubrir los requerimientos de energía con las baterías de hidrógeno seleccionadas. Para esto deberán montarse instalaciones con las condiciones técnicas requeridas para almacenar el hidrógeno y despacharlo en las baterías agotadas. Esta operación debe ser realizada en las inmediaciones del depósito o lugar de trabajo.

Si bien el hidrógeno debe ser manipulado con cuidado especial, con el fin de reducir eventuales fugas, se distingue que este combustible no es más peligroso que otros utilizados (gasolinas y gas), esto se demuestra con que es el que requiere la menor energía de encendido, como puede verse en la tabla 3 junto a otras propiedades. Por otra parte la temperatura de autoencendido es considerablemente mayor respecto de sus competidores lo que lo coloca también en este aspecto en una situación de ventaja, por último tanto el combustible previo al uso como sus emisiones no poseen toxicidad.

Tabla 3. Propiedades del hidrógeno con relación a la seguridad.

Propiedades	Hidrógeno	Metano	Propano	Gas-Oil
Densidad Energética [kJ/g]	120	50	46	45
Limites inflamabilidad [%vol]	4,0-75	3,5-15	2,1-9,5	1,0-7,6
Temperatura de autoencendido [°C]	585	540	487	228-471
Mínima energía de encendido [mJ]	0,02	0,3	0,26	0,24
Velocidad de combustión laminar estequiométrica [m/s]	2,37	0,42	0,46	0,42
Limites de detonación [%vol]	18-59	6,3-13,5	3,1-7	1,1-3,3
Visibilidad llama	No	Si	Si	Si
Toxicidad (combustible y emisiones)	No/No	Si/Si	Si/Si	Si/Si

Almacenamiento de baterías con plomo

Es recomendable tener planes de contingencia para atender las roturas o fugas en baterías plomo-ácido, las mismas deben ser almacenadas en forma vertical, en un lugar ventilado, seco y libre de polvo, lejos de fuentes de calor. Deben ser cargadas completamente antes de su almacenamiento para prevenir la sulfatación por autodescarga y así extender su vida útil.

La bodega de almacenamiento deberá ser de estructura sólida, resistente a la acción del agua, incombustible, techo liviano, piso sólido, liso, lavable e impermeable, no poroso y contar con sistemas de detección y extinción de incendios. Poseer un sistema de control de derrames que evite comprometer áreas adyacentes y establecer la prohibición de fumar en la misma.

Roturas y recarga de Baterías con plomo

No sólo los vehículos deben estar protegidos en sus depósitos para que las fugas no alcancen al personal, sino también se requieren condiciones especiales de seguridad para quienes deben recargar, almacenar y desechar las baterías en la dinámica diaria de la industria (recuérdese que la rotación de baterías es permanente).

Los riesgos y efectos tanto del electrolito ácido como del plomo requieren un plan de contingencias y condiciones de seguridad. La salud de las personas puede verse comprometida respecto de ambos en los casos de: Inhalación, Ingesta, Contacto con la piel, Sobre Exposición Aguda o Crónica (sea por una vez o a largo plazo).

Por otra parte, la emanación de hidrógeno y la proximidad de un foco de ignición (cigarro encendido, flama o chispa) pueden causar la explosión de una batería con la proyección violenta tanto de fragmentos de la caja como del electrolito líquido corrosivo. Las chispas se pueden producir internamente en el seno de la batería por cortocircuitos causados por un deficiente estado de la misma, ya sea por desprendimiento de materia activa, por acumulación de algunas impurezas, por comunicación entre los apoyos o por deformaciones de éstas, así como por avería en algún separador; defectos de fabricación, mantenimiento incompleto o al trato dispensado a la batería. Las chispas externas tienen lugar por la manipulación de herramientas durante el montaje o desmontaje, la conexión de pinzas de cables de emergencia, la electricidad estática, las abrazaderas flojas, la carga insuficiente, la sobrecarga y por dejar objetos metálicos encima de la batería.

Las medidas de seguridad a incorporar para atenuar los riesgos consisten en primer lugar en equipos de protección personal, incluyendo equipo de protección a la vista como antiparras, ropa de trabajo resistente al ácido y guantes de goma o plástico resistentes al ácido.

Respecto del manejo, si bien el agua de reposición de las baterías debe ser destilada al rellenarlas se debe evitar un llenado excesivo que provoque el desbordamiento del electrolito. Si se necesita preparar electrolito (al activar baterías cargadas en seco) se debe verter el ácido sobre el agua; nunca debe verterse agua sobre ácido sulfúrico concentrado.

Las áreas de manejo o almacenamiento de baterías deben estar equipadas con lavaojos y disponer de medidas para contener líquidos en caso de un derrame del electrolito. Para neutralizar estos eventos, se debe disponer de bicarbonato de sodio cal y como medio de extinción de incendios se recomienda disponer de extintores tipo C (dióxido de carbono, polvo químico seco).

Para evitar riesgos de electrocución y cortocircuitos, se recomienda:

- Remover relojes, anillos u otros objetos metálicos de las manos que pudieran ponerse en contacto accidentalmente con los bornes de la batería;
- No dejar herramientas u objetos de metal sobre las baterías;
- Usar guantes, botas de goma y herramientas con mangos aislantes;
- Desconectar la fuente de carga antes de conectar o desconectar terminales de batería;
- Determinar si la batería está haciendo contacto a tierra inadvertidamente; de ser así, remover la fuente de tierra, pues el contacto con cualquier parte de la batería conectada a tierra puede resultar en choque eléctrico.

La carga de baterías debe realizarse en salas con ventilación adecuada para evitar que la concentración de hidrógeno supere el límite inferior de detonación. La ventilación debe ser suficiente además para que la concentración ambiental de vapores de ácido sulfúrico no superen los límites permisibles ponderados y temporales establecidos, 0,8 y 3 mg/m³ respectivamente.

Con relación al manejo de hidrógeno la normativa existente está en pleno desarrollo y no es aun uniforme en todos los países, sin embargo por no ser una actividad regulada, pueden alcanzarse niveles óptimos de seguridad con la utilización de los estándares de las normas internacionales que se vienen gestando desde los años 80.

También existe un régimen promocional dado por la Ley 26.123 que a través de un Fondo Nacional de Fomento del Hidrógeno otorga beneficios a emprendimientos con estas características, que impactan en forma positiva sobre los beneficios netos del proyecto en su análisis económico (Recorte de alícuota de IVA), los activos no integran la base del impuesto a la Ganancia Mínima Presunta y el hidrógeno producido no está alcanzado por el impuesto a los combustibles líquidos, gas natural, gas oil o tasa de infraestructura hídrica.

En definitiva, y evaluados los aspectos de seguridad y beneficios relacionados con los emprendimientos que involucran el uso de hidrógeno, resulta también más conveniente esta última opción en el entendimiento que los requisitos de seguridad para operarlo son de infraestructura y no operativos vinculado a un plan de manejo con costos mensuales no amortizables. Dicho de otro modo, una vez realizada la inversión para el depósito y estaciones de carga de hidrógeno, sólo se requiere capacitar a parte del personal para su operación. Por otra parte el cumplimiento de todas las condiciones de seguridad exigidas para las baterías de plomo-ácido, obligan a ampliar la estructura incorporando recursos con el único y exclusivo fin de atender a estos requerimientos que resulta ser más gravosa.

8. Conclusiones

El impacto ambiental que tiene el uso de autoelevadores, apiladoras y zorras eléctricas son menores que los producidos por los vehículos a motor de combustión interna debido a que se reducen las emisiones de gases de combustión. Además, si las cargas palletizadas se transportan utilizando equipos eléctricos y se producen mejoras técnicas de estos, se puede pensar en minimizar el uso de fuentes fósiles, reducir los gases de efecto invernadero y reducir las importaciones de energía del país, lo cual justifica la sustitución de los autoelevadores propulsados con motores de combustión interna a vehículos eléctricos.

Es evidente que a corto plazo el cambio de fuente de energía genera costos nuevos, la industria debe prepararse para incorporarlos y amortizarlos ya que la necesidad de recarga de baterías requiere de manejo administrativo y técnico que supone a priori una barrera, pero el periodo de recuperación de la inversión de 1 año resulta muy atractivo y se pueden recuperar hasta 52440 horas de productividad en un periodo de 10 años.

La ventaja que resulta del uso de pilas de hidrogeno es que se aumenta la productividad de la planta, debido principalmente a que se minimizan los tiempos de recarga de las baterías y además que estas mantienen constante la tensión y potencia requerida por los autoelevadores, apiladores y zorras eléctricas.

El uso del hidrógeno reduce el tiempo de recarga a 3 minutos y no requiere cambio de batería, mientras que una batería de plomo-ácido necesita de 8 horas de cargado y 8 horas de enfriamiento para luego poder ser utilizada y hasta 45 minutos de cambio de batería, representa esto una gran ventaja para las pilas de hidrógeno. Además, el uso de baterías para alimentar grandes autoelevadores para uso en exteriores requiere de la impermeabilización del compartimento de la batería, lo que hace más difícil el recambio de las baterías.

Las condiciones de seguridad y sus planes de manejo, en ninguna de las alternativas eléctrica exponen al personal a riesgos mayores que los autoelevadores a combustión interna. La utilización de estas fuentes no incrementa los riesgos mecánicos existentes ni generan otros que puedan ser privativos u obstaculicen el cambio de tecnología, aunque se requiere de lugares específicos sometidos a regimenes aceptados por los estándares de seguridad y elementos que no difieren en su costo y características a las que se utilizan para operar en cualquier cámara o depósito cerrado.

Surge la posibilidad del desarrollo de autoelevadores, zorras y apiladores que utilicen pilas de hidrógeno para las características de las industrias locales y la posibilidad de generar empresas dedicadas a reciclar las baterías de plomo-ácido.

9. Referencias

- [1] José María López Martínez, El medio ambiente y el automóvil, editoriales Dossat-2000, España, 2007. ISBN9788496437708.
- [2] L.L. Gaines, A. Elgowainy, and M.Q. Wang, Full Fuel-Cycle Comparison of Forklift Propulsion Systems, U.S. Department of Energy, 2008.

Páginas web consultadas:

- [3] www.sinia.cl/1292/articles-47018_recurso_1.pdf "Guía Técnica sobre manejo de baterías de plomo ácido usadas" Proyecto CONAMA / GTZ Gestión de Residuos Peligrosos en Chile "Proyecto ResPel", Santiago, Chile.
- [4] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3823/fichero/4.2+Normativa.pdf> Energética del Hidrógeno. Contexto, Estado Actual y Perspectivas a Futuro", Clara Fernandez-Bolaños Badía.
- [5] www.autoelevadoresas.com.ar/ventas.html
- [6] www.ballard.com
- [7] www.clark.com.ar/pdfs/2015/apiladores_CRX10_13_14_15_18_20_25.pdf

- [8] www.clark.com.ar/pdfs/2015/electricos_TMX13_15s_15_18_20x.pdf
- [9] www.clark.com.ar/index.asp
- [10] www.toyota-industries.com.ar/pdf/CatalogoTecnicoSerie8FB.pdf
- [11] www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/fuel_cell_mhe_cost.pdf
- [12] www.aah2.org.ar "Asociación Argentina del Hidrógeno 2005"
- [13] www.infoleg.gov.ar
- [14] www.praixair.com.ar "Hoja de Datos de Seguridad de Hidrogeno Comprimido para transporte"
- [15] www.energia.gov.ar "Estudio de Oportunidades de Utilización de Celdas de Combustibles"
- [16] www.codeinep.org "Residuos Peligrosos - Responsabilidad Ecológica. Definiciones y Tratamiento"
- [17] www.ilmc.org "Manejo Ambientalmente Adecuado para Baterías Acido Plomo Usadas en Centroamerica y el Caribe"