

Patricio Olavarrieta S.

UTEM, Ingeniero Civil Electricista U de Ch, Master
Dpl U. Jaime I Castellón España, Departamento Electricidad

polavarr@utem.cl

Manuel Calquín G.

Ingeniero Eléctrico, Universidad
Tecnológica Metropolitana

manuelcalquin@gmail.com

DISEÑO PRELIMINAR DE UNA SALA DE CARGA PARA BATERÍAS DE TRACCIÓN DE PLOMO – ACIDO.

RESUMEN

El presente escrito tiene por objetivo entregar una aproximación al diseño de una sala de carga de baterías traccionarias de plomo-ácido, entregando al proyectista además un acercamiento a las condiciones del emplazamiento, sistemas de ventilación y potencia instalada, a partir de lo que existe en una industria determinada como puede ser el número de maquinarias de propulsión eléctrica y la capacidad de sus baterías. Esta propuesta recoge conocimientos de estudios teóricos y empíricos, basados en proyectos realizados y en tecnologías existentes en el mercado en la última década.

Palabras clave: **Aprendizaje y Servicio, Vinculación con el medio, RSU.**

I. INTRODUCCIÓN

Se entiende por bodegaje la gestión, el traslado y ubicación de mercadería tanto en la superficie base de ella como en altura, incluyendo la operación inversa para sacar de bodega. Los vehículos de tracción eléctrica son utilizados principalmente en la industria del bodegaje debido a que cuentan con versatilidad y bajas emisiones, lo que permite su uso en casi todos los ambientes de trabajo. Este número de bondades se ve opacado por el hecho que este juego de energías (energía cinética y potencial de altura) con que la máquina de tracción eléctrica realiza el bodegaje, tiene un valor finito y por tanto autonomía similar. El depósito de energía es la batería de tracción del móvil, de tiempo largo de recarga, diferente de un estanque de bencina o petróleo, (más de siete horas), por lo que usualmente se utiliza el método de recambio de batería. Subsiste el problema de la carga de

batería y la optimización del tiempo que una batería debe volver a entrar en un proceso de bodegaje. La solución deseada es tener la carga de baterías lo más cerca de la bodega. Esta sala de carga de baterías de tracción, se verá, tiene sus propios problemas que requieren atención. Se da además una proyección del mercado de estas maquinarias, las características de las baterías de tracción en cuanto presencia física e interacción con el medio, ambientes peligrosos y su ventilación adecuada, volúmenes físicos de las diferentes partes de la sala de carga, capacidad de sustentación del piso al trabajo y tránsito de la maquinaria y finalmente el dimensionado eléctrico del recinto.

II. PROYECCIONES

Según la ITA (*Industrial Truck Association*)¹, en 1981 la participación de maquinaria de propulsión eléctrica, en el mercado de Estados Unidos, era de un 50%, mientras que en el 2010, era de 66%. Se espera que para el año 2025 la participación de equipos de manipulación y transporte de carga eléctricos sea de 90%. Esta realidad, es similar en países industrializados y en Chile. La estadística tiene algunos años de retraso, sin embargo, se espera que la tendencia sea similar. Con dicha proyección, se hace necesario que todo proceso industrial que involucre la participación de maquinaria de propulsión eléctrica, deba considerar la carga de baterías de estas maquinarias como uno de los tantos procesos al interior de la industria, con igual relevancia desde el punto de vista de asignación de espacios y evaluación energética, dado que en algunos casos la carga de baterías para uso en maquinarias, puede ser el proceso de mayor demanda de energía eléctrica en la instalación.

III. CARACTERÍSTICAS Y AMBIENTES DE BATERÍAS.

Las baterías de tracción tienen un peso alrededor de 800 kg con un peso específico alrededor de 3 toneladas/m³. A diferencia de las salas de carga de baterías estacionarias, los recintos de carga para baterías de tracción son instalaciones en las que existen maniobras de extracción, cambio y carga de baterías, junto con el acercamiento al recinto de la maquinaria eléctrica que por regla general, pasando por la economía, deja una batería descargada y sale con una cargada. Esto redundará en una instalación con tránsito de personas y maquinarias, produciendo los riesgos asociados, lo cual agrega una dimensión más al diseño proyectado, debiendo esta ser considerada al momento de establecer criterios respecto de aspectos vinculados con obras civiles, eléctricas y de operación.

Otro aspecto relevante es que las baterías de tracción están constantemente inmersas en ciclos de carga y descarga, lo que se traduce en períodos de demanda cíclica sostenida de energía eléctrica por cada batería; comparados con las salas de baterías estacionarias ellas están la mayor parte del tiempo en etapa de carga de mantenimiento debido a su función de entregar energía de respaldo, luego su ciclo de carga va seguido de un largo periodo de baja demanda (carga de mantenimiento). Estas dinámicas mostradas nos permiten deducir que el recinto de carga de las baterías de tracción necesita una mayor demanda de energía eléctrica de la red para un mismo número de baterías atendidas.

Selección de cargadores

Para los efectos de este escrito, se considerarán dos tipos de tecnologías de cargadores: cargadores con transformador de núcleo de hierro con curva decreciente (tipo wa) y cargadores con regímenes de corriente constante (tipo lola),

1. <http://www.indtrk.org/>

ambos tienen tiempos de carga no superiores a 8 horas. Además para este análisis, se consideran baterías de plomo-ácido, abiertas, de placa tubular, en óptimo estado de funcionamiento.

Cualquiera que sea el cargador que se use, se debe tener en cuenta el hecho que la carga de la batería se produce entre un mínimo y un máximo de energía entre sus bornes, esto es que el correcto valor de las variables V e I de la rotulación del cargador permitirán que la batería no presente alguna de las fallas del siguiente listado:

- Sobrecarga.
- Mayor consumo de agua.
- Gasificación excesiva.
- Aumento en la temperatura del electrolito.
- Incremento en la corrosión.
- Desprendimiento de materia activa en la placa positiva.
- Carga no adecuada.

Una vez conocido el voltaje de las baterías, la corriente de los dos cargadores mencionados (transformador de núcleo de hierro o cargadores con regímenes de corriente constante, tipo lola, ambos con tiempos de carga máximo de 8 horas), se define como:

$$I_{cargador} = \frac{14 * C_n}{100} \quad \text{Ec. N}^\circ 1$$

donde C_n es la capacidad nominal de la batería en Ah.

Generación de gases

Las baterías de plomo-ácido emiten oxígeno e hidrógeno, este último es un gas altamente explosivo sobre cierto valor de concentración en la atmósfera. Cuando la batería alcanza el estado de carga completa se produce electrólisis y la consiguiente generación de gases. Este proceso puede darse por finalizado en el lapso

de una hora desde el término del proceso de carga. Según la Ley de Faraday, bajo condiciones normales de presión y temperatura, se requiere para el proceso de electrólisis el equivalente de 26,8 Ah para descomponer agua en 1 gr de H_2 + 8 gr de O_2 .

La norma UNE 50272, considera un ambiente con riesgo de explosión a la concentración de hidrógeno que supera el 4% del volumen del recinto.

IV. REQUISITOS DE VENTILACIÓN

Una habitación correctamente ventilada se considera libre de riesgo de explosión, por lo que se requiere ventilar adecuadamente todo el recinto de carga de forma tal de mantener la concentración de hidrógeno por debajo del 4%. La norma UNE 50272 recomienda como valor seguro el 2% de concentración máxima. Esta consideración se aplica para carga de baterías montadas en el vehículo y fuera de este.

Flujo de aire de ventilación

Por otro lado la norma UNE 50272 permite calcular el valor de la corriente de aire necesaria para ventilación a partir de la ecuación Ec. N° 2, incorporándole un coeficiente s de seguridad a fin de no dar lugar a riesgo:

$$Q = v * q * s * n * I_{gas} * C_n * 10^{-2} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad \text{Ec. N}^\circ 2$$

donde:

Q = corriente de aire de ventilación [m^3/h].

v = disolución de hidrógeno necesaria, factor = 24;

s = factor de seguridad, normalmente s = 5.

q = $0,42 * 10^{-3}$ [m^3/Ah] hidrógeno generado por un elemento.

n = número de elementos. Para las baterías en estudio se tiene que:

$n = 24$ para baterías de 48V.

I_{gas} = corriente que durante la fase de carga produce gas.

C_n = capacidad nominal de la batería [Ah].

Para cargadores normalizados, sin información relativa a la carga, considerar:

$I_{gas} * C_n * 10^{-2}$ como el 25% mínimo de la corriente asignada a cada cargador.

Entonces, el flujo de aire necesario para ventilación, por cada batería conectada en función de la tensión nominal de cada batería y la corriente nominal del cargador, es:

$$Q = 6,3 * 10^{-3} * V_{batería} * I_{cargador} \text{ [m}^3/\text{h]}$$

Ec. N° 3

Además la norma UNE 50272 considera un recinto bien ventilado cuando el volumen libre [V_l] es mayor o igual a:

$$V_l = 2,5 * Q \text{ [m}^3] \quad \text{Ec. N°4}$$

Q es el total de flujo de aire necesario para ventilar el recinto, por cada batería conectada. Si esto se cumple, la ventilación forzada no es requerida. Sin embargo, las dimensiones del recinto pueden verse limitadas por el espacio disponible para el emplazamiento y en ese caso deberá considerarse algún método de ventilación adicional.

Ventilación natural

En caso de requerir ventilación, ésta debe ser, preferentemente, de forma natural, considerando una entrada y salida de aire, con un área mínima despejada cuya abertura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$A = 28 * Q \text{ [cm}^2] \quad \text{Ec. N°5}$$

Para este cálculo, se estima una velocidad de la masa del aire mayor o igual a 0,1 m/s en lugares abiertos, recintos bien ventilados o con entradas grandes.

Consideraciones para el diseño de la ventilación natural

La entrada y salida de aire debe estar situada en el lugar más apropiado para facilitar el intercambio de aire. Algunas recomendaciones:

- Crear aberturas en paredes opuestas.
- La separación mínima de las aberturas, en caso de estar en el mismo muro debe ser de a lo menos 2 metros.
- La masa de aire extraída de la sala, debe ser evacuada a la atmósfera lo más rápido posible.

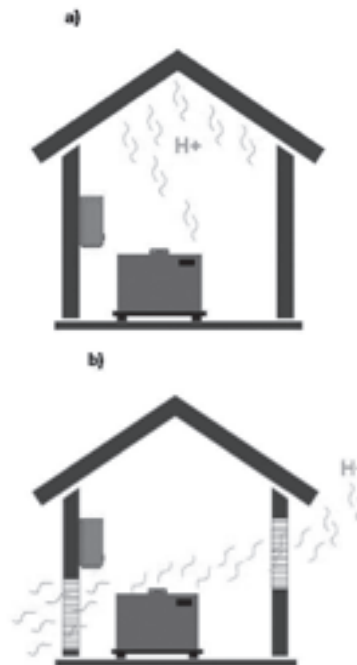


FIGURA N° 1. CONSIDERACIONES PARA FAVORECER LA EVACUACIÓN DE GASES: A) ACUMULACIÓN DE GASES EN LA PARTE SUPERIOR DEL RECINTO, B) EVACUACIÓN DE GASES POR VENTILACIÓN NATURAL.

Ventilación forzada

Cuando no se puede lograr el correcto intercambio de aire a través de ventilación natural, se debe considerar incorporación de mecanismos de ventilación forzada para asegurar la corriente de aire necesaria según el modo de ventilación seleccionado. Se debe considerar que la emisión de gas, continúa hasta una hora después de terminado el proceso de carga de la última batería.

baterías deberá quedar al interior del recinto cerrado, dejando las maniobras de intercambio de baterías y mantención afuera del cierre perimetral, tal como indica la figura nº 2. El cierre perimetral, tiene por objeto restringir el acceso al proceso de carga solo al personal con la adecuada capacitación en la manipulación de baterías de tracción, con ello se evitan accidentes y se mitigan riesgos de emisión de chispas por mala manipulación. Para tener una aproximación del espacio requerido, se debe tener en cuenta lo siguiente:

V. DIMENSIONAMIENTO DEL ESPACIO.

Se debe asegurar la correcta distribución de equipos, mobiliario y accesorios, de forma tal, que asegure el normal desplazamiento y maniobras al interior de la sala de carga. Cuando el espacio es limitado, la maniobra de carga de

- Factor de crecimiento en el mediano y largo plazo.
- Considerar el espacio ocupado por cada batería alrededor de 1 m³.
- Considerar espacio para elementos de seguridad tales como duchas, lava ojos, carros, etc.
- Considerar distancias de seguridad entre baterías y fuentes de chispa o fuentes de calor sobre 300°C, de al menos 0,5 m.

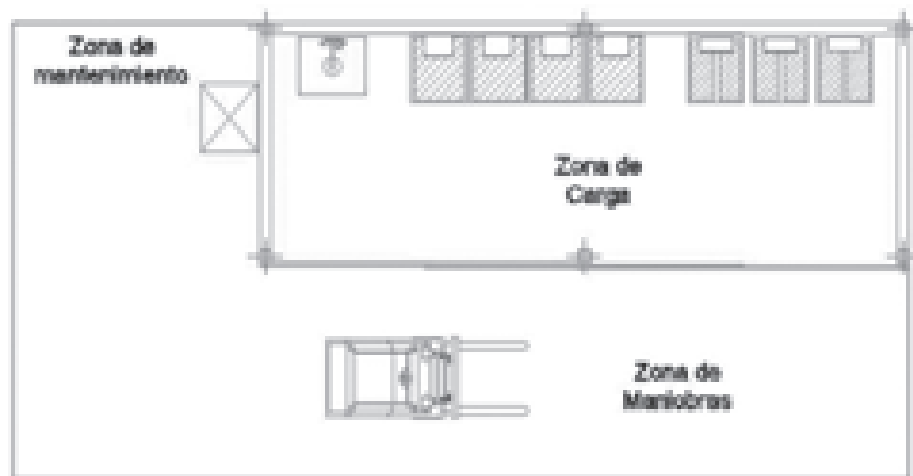


FIGURA Nº 2. DISTRIBUCIÓN DE ESPACIOS Y CIERRE PERIMETRAL

Características del piso

El piso debe ser capaz de soportar la carga normal, provocada por el paso de los equipos, mobiliario y baterías en el interior de la sala de carga de baterías. Adicionalmente se debe considerar la resistencia necesaria para soportar las maniobras de operación de intercambio de baterías varias veces por día.

La maniobra de intercambio de baterías es equivalente a la manipulación de carga al interior del recinto con entrada y salida de equipos manipuladores de carga, portando baterías de peso aproximado a los 800 kg.

El piso debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Estar fabricado con hormigón hidrófugo.
- Estar diseñado para soportar el peso de los elementos más la maquinaria de manipulación de carga.
- Soportar abrasiones del rodado de la maquinaria.
- Debe incorporar una fosa o trinchera de contención de derrames.

VI. CARGA INSTALADA:

En general, la potencia de los cargadores representa casi la totalidad del consumo al interior de un recinto de carga de baterías. El resto de las cargas, corresponden a iluminación y sistemas de ventilación forzada, si lo hubiere. De esta forma, la potencia instalada corresponde, principalmente, a la suma de la potencia nominal de cada cargador de baterías al interior del recinto. La potencia nominal de cada cargador se puede obtener directamente de la placa de características del equipo.

Factor de carga:

Para facilitar las estimaciones de la instalación, se trabajará con valores medios, quedando a criterio del proyectista la última aproximación, de acuerdo a las necesidades de cada caso. Aclarado lo anterior, y para efectos de diseño de la instalación eléctrica del recinto y sus protecciones asociadas, es que se proponen los siguientes factores de carga, en función del número de cargadores conectados y de su potencia nominal.

Factor de carga (f_c)	Nº de equipos
1	$1 < n \leq 5$
0,8	$6 < n \leq 10$
0,65	más de 10

FIGURA Nº 3. FACTOR DE CARGA DE EQUIPOS SIMULTÁNEOS

Potencia Media:

El concepto de demanda media, surge basado en dos fundamentos empíricos: los cargadores no operan a potencia nominal durante todo el período de carga sino que la potencia de carga tiene directa relación con la curva de la corriente de carga, pues no todos los equipos (cargadores) son conectados simultáneamente lo que se traduce en que la potencia conectada es inferior a la potencia total instalada. De esta forma, se puede calcular la potencia media P_m , como la potencia total, corregida por el factor de carga, entendiéndose por potencia total la suma de las potencias de cada cargador conectado al interior del recinto. Entonces:

$$P_m = f_c * \sum P_n \quad \text{Ec. N}^\circ 6$$

VII. EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se desea construir una sala de carga de baterías apiladas en racks modulares, tal como indica la figura nº 4. Los datos que se tienen son los siguientes: tensión de las baterías 48 Vdc, capacidad de las baterías: 560 Ah, número de maquinaria: 18 equipos, todos iguales. Se pide determinar: número de cargadores, cálculo de ventilación (natural), potencia instalada y potencia media del recinto. No se considera, para este caso, dimensionar el espacio, dado que esta información varía de caso en caso y requiere de información particular



FIGURA Nº 4. EJEMPLO DE DISTRIBUCIÓN DE UNA SALA DE CARGA CON 18 CARGADORES.

Alcances del cálculo

Para esta aplicación se utilizarán datos obtenidos de fabricantes de cargadores y baterías con presencia mundial, dado que se persigue demostrar el método y no imponer criterios en la selección de equipos. Se trabajará con un cargador de curva de carga de tipo Iola, por ser una tecnología más reciente, con mejor eficiencia energética.

Del cargador:

Al tratarse de un cálculo preliminar, se recomienda aplicar las ecuaciones planteadas y adaptar los resultados a la disponibilidad de equipos en el mercado local.

La corriente del cargador, de acuerdo con EC. Nº1, es:

$$I_{cargador} = \frac{14 \cdot 560}{100} = 78,4 \text{ Amperes (DC)}$$

Valor cercano más próximo que se comercializa: 80 Amperes.

Valores para conexión a la red:

Según placa de características del cargador:

Tensión de entrada $U = 400$ volt. 3 fases.

Corriente de entrada $I_n = 7,6$ amperes

Factor de potencia = 0,95

Potencia por cargador:

De acuerdo a los datos de placa:

$$P_c = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 7,6 \cdot 0,95 = 5 \text{ [kw]}.$$

Potencia conectada:

$$P_{total} = 18 \cdot 5 = 90 \text{ [kw]}$$

Potencia Media:

De acuerdo a la Ec, Nº6

$$P_{media} = 0,65 \cdot 90 = 58,5 \text{ [kw]}$$

Cálculo de ventilación

De acuerdo a Ec. N° 3 y para 18 baterías conectadas simultáneamente:

$$Q_{total} = 18 * 6,3 * 10^{-3} * 48 * 80 = 435,5 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

Resumen de resultados	
Capacidad de baterías	540 A/h
Tensión DC	48 V _{DC}
Corriente de carga	80 A _{CC}
Tensión de entrada	480 V _{AC}
Corriente de entrada	7,6 A _{AC}
Potencia nominal unitaria	5 kW
Carga conectada	90 kW
Potencia media	58,5 kW
Flujo de ventilación necesaria	435,5 m ³ /h

FIGURA N° 5.
RESUMEN DE VARIABLES CALCULADAS

VIII. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos están basados en datos disponibles a nivel comercial global, corresponden a equipos en uso en la actualidad. El método es útil para la etapa de anteproyecto. Para diseños más exactos, se debe considerar las características específicas de los equipos utilizados en cada caso.

Totalizar las cargas correspondientes a la carga de baterías en un solo recinto permite determinar la energía necesaria para efectos de cálculos de instalación eléctrica, distribución de las cargas y eficiencia energética. No considerar esta carga puede generar inconvenientes pos-

teriores, tales como: Cambios de transformador y líneas antes de lo estimado, mal dimensionamiento del generador de respaldo, compra o arriendo de mayor número de montacargas, modificaciones en las condiciones originales de operación, imposibilidad de cargar baterías en horario de mayor producción.

El cálculo de ventilación ofrece dos mecanismos fundamentales: ventilación natural y ventilación forzada. Es recomendable favorecer siempre la ventilación natural por sobre la ventilación forzada, debido a que esta última depende del estado de los extractores de aire. Un fallo en éstos podría generar una emergencia innecesaria.

BIBLIOGRAFÍA

AENOR, marzo 2001. “Norma Europea UNE EN 50272-2 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias”.

AENOR, marzo 2003. “Norma Europea UNE EN 50272-3 Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción”.

German Electrical and Electronic Manufacturers, edition April 2004. “Charger assignments for traction batteries in vented (PzS) and in valve regulated (PzV) Desing”.

Manuel Calquín Gutiérrez, Memoria de Título: “Diseño e Implementación de una Sala de Carga para Baterías de Tracción”. Profesor guía, Juan Patricio Olavarrieta Suarez.

Micropower Inc. “MTM-HF MULTICARGADOR AVANZADO” Catálogo General.