

## FUENTES DE ALIMENTACION Y ESQUEMAS DE CONEXION DE CORRIENTE DIRECTA EN CENTRALES Y SUBESTACIONES ELECTRICAS

Hugo Ruiz Villalobos\*

*El presente artículo pretende servir de apoyo a ingenieros, técnicos electricistas y personal de mantenimiento de centrales y subestaciones eléctricas para evitar los engorrosos contratiempos que se presentan en los bancos de baterías a causa de defectos de montaje, inusual operación o incorrecto mantenimiento de los mismos. El material se presenta en forma clara y concisa, incluyendo los criterios fundamentales para una correcta y más económica explotación de los acumuladores del tipo plomo-ácido, por ser los más utilizados en nuestro medio.*

### INTRODUCCION

A causa de fallas en la red o equipos eléctricos que implican la pérdida de toda opción de utilizar el servicio propio de corriente alterna, las centrales y subestaciones eléctricas requieren indispensablemente de fuentes de energía capaces de suplir la alimentación básica de algunos circuitos de emergencia.

Con este fin y debido a su simplicidad y bajo costo, se utilizan generalmente los acumuladores eléctricos del tipo plomo-ácido o del tipo alcalino o hierro-níquel. Los del segundo tipo tienen varias ventajas como el ser menos voluminosos, de mayor capacidad y el requerir menores cuidados que los de plomo, sin embargo, presentan el gran inconveniente de proporcionar un máximo de 1,25 voltios por elemento. Esto hace que los más comúnmente utilizados

sean los del tipo plomo-ácido. Por esta razón, en el presente artículo se tratará exclusivamente de este tipo de acumuladores.

### CONSTITUCION DE LOS ACUMULADORES PLOMO-ACIDO

Las partes fundamentales de estas baterías son: los electrodos, el electrolito, los separadores y el recipiente del acumulador. Si cualquiera de estas partes presenta daño o ineficiencia, las baterías no deben ponerse en operación.

En calidad de electrodos positivos se utilizan placas de dióxido de plomo obtenidas por estampado o moldeado. Estas placas se hacen con gran cantidad de perfiles para lograr con ello una superficie que sea mucho mayor que su superficie aparente de acuerdo con sus dimensiones.

Como electrodos negativos se emplean generalmente placas de plomo impregnado sobre una armazón reticular especial al 4-12% de antimonio recubierta por finas placas porosas de plomo para permitir tanto el paso del electrolito hacia adentro de la masa activa de plomo puro, como la rigidez de la placa misma.

El electrolito es una solución de ácido sulfúrico de alta pureza en agua destilada. La densidad del electrolito de una batería en perfectas condiciones, a 20° C debe ser igual a un valor que va de 1,20 a 1,21 g/

\* Ingeniero Electricista. Profesor del Depto. de Mantenimiento Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

*A causa de fallas en la red o equipos eléctricos que implican la pérdida de toda opción de utilizar el servicio propio de corriente alterna, las centrales y subestaciones eléctricas requieren indispensablemente de fuentes de energía capaces de suplir la alimentación básica de algunos circuitos de emergencia.*

cm<sup>3</sup>. Lógicamente la densidad normal variará para diferentes temperaturas del electrolito. Para temperaturas entre los 20 y 30°C, son consideradas como normales densidades que van desde 1,145 (densidad permisible mínima) hasta 1,3 g/cm<sup>3</sup> como densidad máxima.

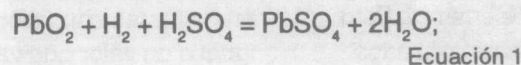
Los separadores son placas de sustancias aisladoras que además de sujetar toda la estructura sirven para evitar la continuidad directa entre los electrodos.

Cuando una batería recién construida se conecta a los polos de una fuente de corriente directa (C. D.) la placa positiva absorbe oxígeno y se forma en ella peróxido de plomo (de un color marrón), mientras que la negativa recibe hidrógeno que elimina el oxígeno por reducción quedando solamente plomo esponjoso (de color gris claro). Después de este estado el acumulador está cargado y listo para entregar energía. Una señal de que un acumulador está ya cargado es el escape de oxígeno e hidrógeno en forma de burbujas hacia la superficie del electrolito. Las baterías del tipo plomo-ácido tienen una restitución de energía de un 70% de la energía requerida para ser cargadas.

#### OPERACION

Durante el proceso de descarga, tanto la placa positiva como la negativa, transforman su peróxido y su plomo esponjoso en sulfato. La corriente dentro del acumulador, durante la descarga, está dirigida del cátodo (electrodo negativo), al ánodo (electrodo positivo); los iones positivos de hidrógeno se mueven hacia el ánodo y los iones negativos SO<sub>4</sub> del ácido sulfúrico, hacia el cátodo. En este proceso, el dióxido de plomo del ánodo y el plomo del cátodo se transforman en sulfato de plomo (PSO<sub>4</sub>).

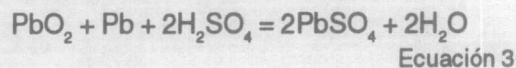
La reacción en el ánodo es:



en el cátodo:



la reacción completa de descarga es:



De este modo, durante la descarga de los acumuladores se descompone el ácido sulfúrico y se libera agua por lo que la densidad del electrolito disminuye. El sulfato de plomo tiene mayor volumen y resistencia eléctrica que el peróxido de plomo y el plomo puro.

Los acumuladores suelen caracterizarse con parámetros tales como: *capacidad, F.E.M., corriente de carga y corriente de descarga.*

#### Capacidad

La capacidad es la cantidad de corriente, en amperios-hora, que puede entregar un acumulador completamente cargado. Esta depende del tamaño y número de placas de las baterías, de la corriente de descarga y la temperatura del electrolito. La capacidad nominal de un acumulador es aquella capacidad en amperios que éste puede entregar en 10 horas de descarga, en condiciones normales de densidad y temperatura del electrolito (1,21 g/cm<sup>3</sup>, 25°C).

#### F.E.M.

En los acumuladores se suelen diferenciar dos fuerzas electromotrices: F.E.M. de vacío del acumulador (E<sub>o</sub>) y F.E.M. dinámica o de plena carga (E<sub>d</sub>).

Estas F.E.M. se relacionan de la siguiente manera:

$$E_d = E_o \pm E_p$$

Ecuación 4

donde E<sub>p</sub> es la F.E.M. de polarización.



Durante la carga

$$E_d = E_o + E_p; \quad \text{Ecuación 5}$$

en la descarga

$$E_d = E_o - E_p \quad \text{Ecuación 6}$$

$E_o$  básicamente depende de la densidad media del electrolito. Para diferentes niveles de descarga del acumulador la densidad media varía en un pequeñísimo ámbito (2,02 a 2,05 voltios) y por eso no debe servir de criterio para juzgar el grado de descarga del acumulador.

La amplitud de  $E_d$  depende de la densidad del electrolito que está en contacto directo con las partes activas de los electrodos, del grado de descomposición de las masas activas (Pb y peróxido de plomo) y no depende de las dimensiones de las placas.

Durante los procesos de carga y descarga del acumulador, esta F.E.M. cambia su magnitud constantemente (Figura 1).

Como se mencionó anteriormente, durante la descarga de un acumulador, la resistencia interna de éste aumenta debido a la acumulación interna de  $PbSO_4$ . Por ende el voltaje neto de salida  $V_s$  es variable en el tiempo y está dado por la siguiente relación:

$$V_s = E_d - I_d \cdot R_{in}$$

Ecuación 7

donde  $I_d$  es la corriente de descarga en amperios y  $R_{in}$  es la resistencia eléctrica interna del acumulador en ohms.

Por tensión nominal de un acumulador se entiende aquella magnitud de tensión entre bornes del acumulador durante el transcurso de la primera hora de una descarga normal de 10 horas. El voltaje nominal de un acumulador de plomo-ácido es de 2,0 voltios.

Durante el proceso de descarga, la tensión del acumulador disminuye. Un acumulador puede descargarse en condiciones normales hasta una tensión de salida mínima de 1,8 a 1,75 voltios, lo cual equivale a un 10 o 12,5 % menos de su tensión nominal. A esta magnitud de voltaje de salida del acumulador descargado debe corresponder una densidad de electrolito mínima de 1,1 g/cm<sup>3</sup>. La Figura 1b muestra las curvas de cambio de la tensión de salida durante la descarga de una batería con corrientes  $I_1 > I_2 > I_{10}$  en tiempos de 1, 3, 5, 7 y 10 horas. El comportamiento de estas curvas se explica de la siguiente forma: en la primera fase de la descarga, la concentración de electrolito en la superficie de las placas disminuye respecto a su concentración media en el recipiente. Por esto la tensión tiende a disminuir drásticamente en esta fase.

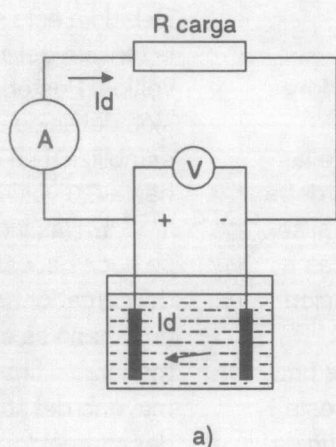
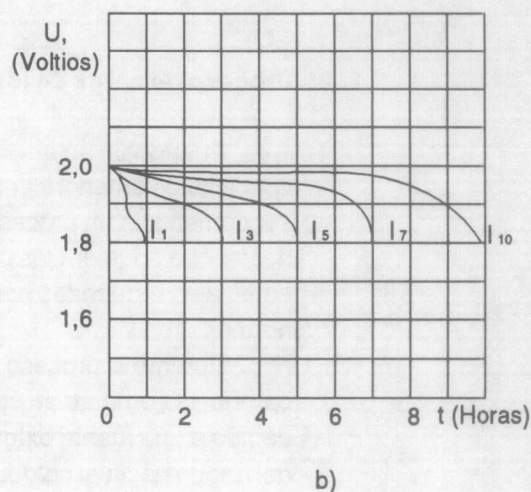
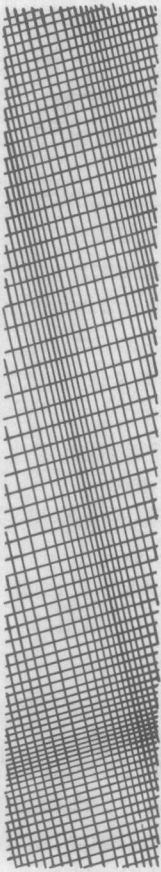


FIGURA 1. Descarga de un acumulador tipo plomo-ácido; a) esquema de descarga; b) variación del voltaje del acumulador en diferentes procesos de descarga con corriente constante durante, 1, 3, 5, 7 y 10 horas.





Luego a causa de la difusión del  $H_2SO_4$  hacia la superficie de las placas y hacia el interior de las masas activas, se establece un equilibrio de manera que la densidad del electrolito junto a las placas se mantiene prácticamente constante. De ahí que el cambio de voltaje se hace menos leve en la parte media de la descarga. Finalmente la tensión comienza a disminuir de nuevo en forma drástica, debido a que la acumulación de  $PbSO_4$  obstruye los poros de las placas de plomo del electrodo negativo, evita la entrada del  $H_2SO_4$  hacia las masas activas, y aumenta fuertemente la Rin de la batería.

Con el incremento de la corriente de descarga (disminución del tiempo de descarga), la intensidad de la reacción crece y la difusión del  $H_2SO_4$  a través de los poros se hace más lenta. La intensa sulfatación de las superficies de las placas hace que los poros tiendan a cerrarse ocasionando, a la vez, una disminución de la cantidad de masa activa. Todo esto hace que durante una descarga drástica la capacidad del acumulador disminuya en una forma no lineal respecto a su capacidad de 10 horas de descarga. En otras palabras, si representáramos la capacidad del mismo acumulador mediante  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_{10}$  de manera que respectivamente correspondan a las capacidades del acumulador para descargas en 1, 2 y 10 horas, entonces tenemos que:  $Q_1 < Q_2 < Q_{10}$ .

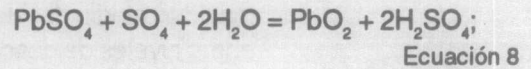
### Proceso de carga de los acumuladores

Cuando un acumulador alcanza las condiciones anteriormente descritas debe ser sometido a un proceso de carga si se desea que adquiera las características nominales requeridas para su operación normal.

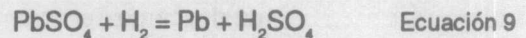
Durante el proceso de carga de una batería, la corriente en el interior de ésta, debido a una fuente externa, está dirigida del ánodo hacia el cátodo. Los iones

positivos de H se desplazan hacia el cátodo y los negativos de  $SO_4$  hacia el ánodo. Ante esto, el sulfato de plomo se recombina con el  $SO_4$  y el agua para convertirse en peróxido de plomo y ácido sulfúrico.

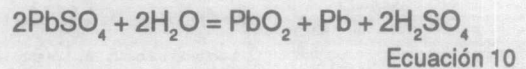
La reacción en el ánodo es:



reacción en el cátodo:



La reacción completa de carga es:



En el proceso de carga de un acumulador, con corriente constante, se debe aumentar poco a poco la tensión de la fuente conectada a la batería. En la Figura 2 b se muestra la curva de cambio de la tensión de alimentación del cargador conectado al acumulador sometido a carga, con una corriente igual en magnitud a la corriente de descarga en 8 horas.

Al principio del proceso de carga, la concentración de ácido sulfúrico en las placas se incrementa rápidamente, debido a lo cual, crece la  $E_d$  del acumulador. Debido a esto se hace necesario aumentar la tensión del cargador hasta 2,1 - 2,15 voltios. Posteriormente, debido a la difusión del ácido sulfúrico, el proceso se estabiliza y su tensión crece lentamente hasta 2,3 voltios.

En la última fase de carga, de nuevo se hace necesario incrementar la tensión del cargador hasta 2,5 - 2,7 voltios. Este fenómeno se explica de la siguiente manera: al final de la carga, cuando la mayoría del sulfato de plomo ha desaparecido, comienza a darse electrólisis del agua en el electrolito bajo la



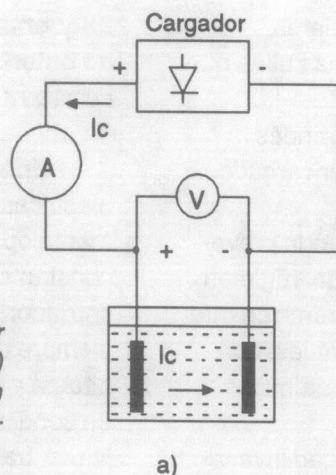
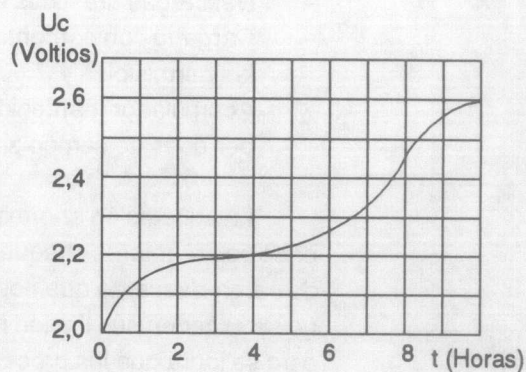


FIGURA 2. Carga de un acumulador ácido-plomo; a) esquema de carga, b) cambio de la tensión del acumulador en el tiempo durante una carga con corriente de magnitud constante.



acción de la corriente de carga. En el cátodo se libera el  $H_2$  que no entró en reacción, y en el ánodo se libera oxígeno monoatómico obtenido de la reacción:



de manera que al final de la carga, en los cuartos que albergan las baterías se forma una atmósfera explosiva, la cual debe considerarse tanto en el diseño como en el mantenimiento de los bancos de baterías. Para la disminución de la liberación de gases (llamada también ebullición del electrolito) y para lograr un régimen de carga más económico, se recomienda que durante el proceso de carga se disminuya paulatinamente la corriente de carga, de manera que al final de la carga ésta sea de un 40% de la corriente de carga máxima permisible. La carga se puede considerar completa si después de su término se obtiene, durante una hora, una tensión constante del acumulador de 2,5 a 2,75 voltios y una densidad de electrolito de 1,2 a 1,21  $g/cm^3$  y si además se observa una fuerte liberación de gas.

Durante un proceso de carga normal, el acumulador debe recibir entre un 15 y un 20% más amperios-hora que los que entregó en su última descarga.

La operación prolongada de un acumulador se garantiza por el fabricante

solo si las condiciones del régimen de explotación son las correctas de acuerdo con sus especificaciones sobre la operación y el mantenimiento del acumulador. Un régimen anormal de explotación puede provocar la pérdida de capacidad de las baterías o causar su inutilidad. La causa de daño de las baterías generalmente la constituye una sulfatación anormal que provoca una total cobertura de las superficies de las masas activas de los electrodos (en condiciones normales de descarga solo un 40 a 70% de las masas activas se convierten en sulfatos). Durante una descarga más allá del mínimo voltaje, el polvo de  $PbSO_4$  pasa a un estado de granulación más estable que no se convierte totalmente en plomo y peróxido de plomo al volver a cargar el acumulador. El sulfato de plomo, como se mencionó anteriormente obstruye los poros de las placas y detiene el acceso de ácido hacia las masas activas. El gran volumen específico del sulfato de plomo provoca grandes esfuerzos mecánicos entre placas haciendo que éstas se flexionen. Esto provoca que el plomo se despegue de ellas y que finalmente el acumulador se vuelva inservible.

La sulfatación anormal aparece a causa de:

- Deficiente proceso de carga de las baterías,

- Descargas drásticas regulares,
- Cargado con corrientes más altas que las permisibles y
- Acumulador mantenido grandes períodos de tiempo sin ser cargado.

La sulfatación anormal puede prevenirse con regulares chequeos del régimen de carga-descarga que nos garanticen que no se exceden sus límites normales; con esto se logra que los procesos químicos reversibles sean los correctos.

Para garantizar la capacidad invariable de los acumuladores utilizados en las centrales eléctricas, es recomendable realizar descargas de control 1 ó 2 veces al año. Si el banco es utilizado en subestaciones, las descargas de control deben realizarse de acuerdo con las necesidades de éstas.

Los bancos de baterías deben instalarse en recintos especiales equipados con ventilación. Debe considerarse la existencia del ácido sulfúrico y sus vapores, así como la liberación de gases inflamables y explosivos.

### Esquemàs de conexión de los bancos de baterías que operan en forma constante a un cargador

En las centrales y subestaciones eléctricas, los bancos de baterías generalmente operan en regímenes de conexión constante a los bornes de un elemento cargador. Estos cargadores son casi siempre fuentes alimentadas con corriente alterna y equipadas con rectificador que, en condiciones normales de operación de la red, trabajan cargando los acumuladores, así como alimentando todos los demás circuitos de corriente directa de la central o subestación (circuitos de control, circuitos de señalización, circuitos de protección, etc). Gracias a estos cargadores, las baterías se mantienen constantemente con un grado de carga normal y listas para funcionar como alimentadores emergentes en caso necesario.

Un esquema simple de un circuito de corriente directa como el descrito anteriormente se ilustra en la Figura 3. El banco de acumuladores así como los demás circui-

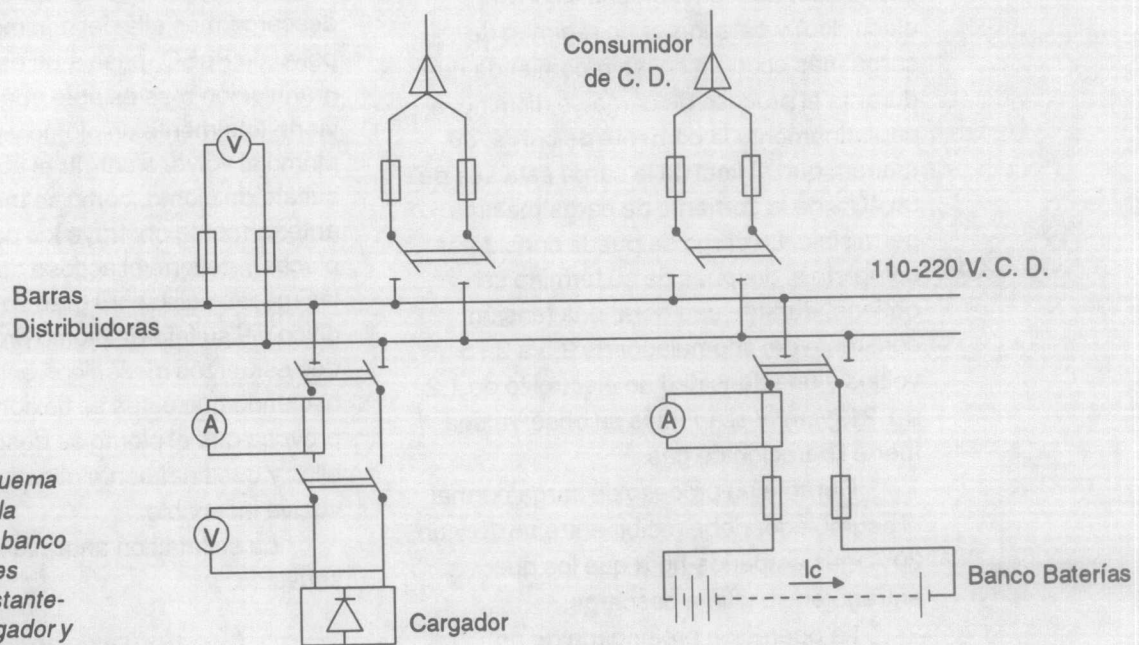
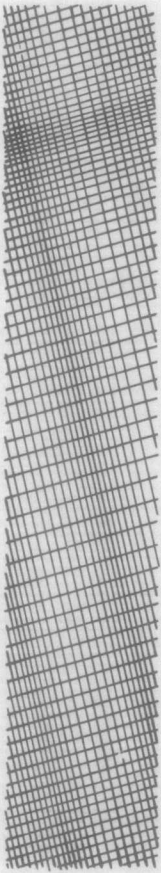


FIGURA 3. Esquema simplificado de la conexión de un banco de acumuladores conectado constantemente a un cargador y que funciona como fuente de emergencia.





tos son conectados directamente a las barras de distribución de C. D. En condiciones normales, el voltaje en las barras se mantiene en un 5% mayor al voltaje nominal del circuito de corriente directa. En los circuitos de las líneas y baterías se instalan fusibles y protecciones térmicas automáticas para la desconexión inmediata en casos de sobrecargas o cortocircuitos.

Ante los daños de equipos eléctricos acompañados de la pérdida de voltaje en la red de C. A., el cargador se desconecta y la batería suplente toda la demanda de C. D. de la central o subestación. Después de la liquidación de la falla, se restablece la alimentación de C. A. y el cargador entra de nuevo en servicio alimentando tanto al banco de baterías como a los demás circuitos. Las baterías recuperan su estado original de carga hasta que igualen el voltaje.

La potencia del cargador debe ser la suficiente para proporcionar un cargado rápido del banco totalmente descargado, en un período no mayor de 8 horas mientras que abastece toda la demanda de los circuitos de C. D.

En la mayoría de los casos de bancos de gran capacidad, se justifica económicamente la utilización de 2 cargadores (uno para cargado rápido de gran potencia y otro, de menor potencia, para cargado constante y alimentación del consumo de C. D.).

Para una óptima explotación de este tipo de esquemas que garantice un estado normal de carga de los acumuladores, debe mantenerse un voltaje en las barras, por parte del cargador, de  $2,2 \pm 0,05$  voltios por acumulador de banco. De acuerdo con este criterio, el número de acumuladores de un banco que es cargado en forma constante, debe ser de:

$$N = Vb/2,2, \quad \text{Ecuación 12}$$

donde  $Vb$  = voltaje de barras de distribución de C. D

$N$  = número de acumuladores.

Un gran inconveniente que involucra el esquema presentado en la Figura 3 consiste en que, durante la explotación normal de la red de C. D., el voltaje de barras sufre severas variaciones debidas a los posibles estados de carga que podrían presentarse en el banco. Si suponemos que el voltaje mínimo en las barras puede alcanzar 1,75 voltios (descarga mínima) o 2,7 voltios cuando el banco es recargado totalmente, entonces el voltaje mínimo de barras alcanza:

$$Vb(\min) = 1,75 * N = 1,75 * Vb/2,2 = 0,8 Vb; \quad \text{Ecuación 13}$$

y el máximo

$$Vb(\max) = 2,7 * N = 2,7 * Vb/2,2 = 1,23 Vb. \quad \text{Ecuación 14}$$

Nótese que la variación de voltaje neta sufrida puede ser mayor del 20%, lo cual podría provocar fallas frecuentes en los dispositivos de los circuitos de C. D. tales como bobinas de disparo, motores de cuchillas e interruptores, etc. Fue debido a esto que, a pesar de su simplicidad, este esquema presentado en la Figura 3 no encontró gran aceptación y poco a poco ha desaparecido.

En centrales y subestaciones se ha optado por la utilización de un esquema más complejo y caro pero de mayor confiabilidad (Figura 4). La característica fundamental de este esquema es la posibilidad de variar el número de acumuladores conectados a las barras de C. D. sin necesidad de abrir el circuito, con lo cual se mantiene constante el voltaje de barras para diferentes estados de descarga del banco.

Los bancos de acumuladores conectados según este esquema (Figura 4), se constituyen por un grupo de celdas principales y un grupo de celdas adicionales. En condiciones normales de operación de la red, el cargador 1 (estando conectado el

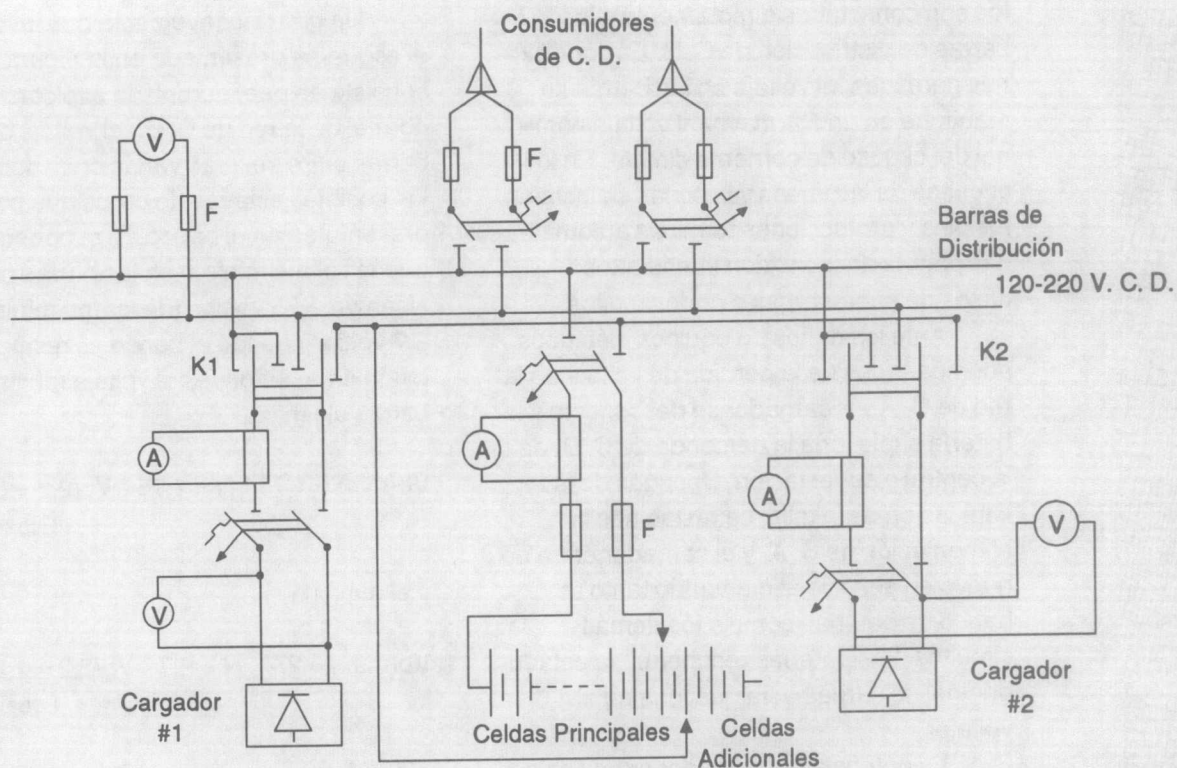


FIGURA 4. Esquema de conexión de acumuladores con doble conmutador y que operan conectados a cargado constante.

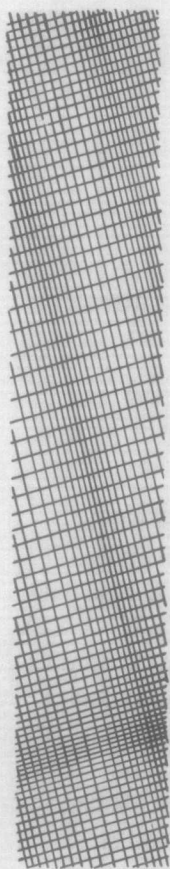
conmutador K1), alimenta los circuitos consumidores así como el banco de acumuladores, mientras que el cargador 2 permanece desconectado. Este tipo de esquema tiene la desventaja de que en condiciones normales, las celdas adicionales no son sometidas a cargado constante. En los casos en que el voltaje de la batería disminuya hasta valores bajos determinados, durante su operación, entra en servicio automáticamente el cargador 2 produciendo cargado rápido de todas las celdas. Nótese que en estos casos la corriente total del cargador 2 (tanto la de cargado como la de los consumidores) fluye completa por las celdas adicionales. En aquellos casos en que se pierda la alimentación del servicio propio y se requiera que el banco alimente los circuitos de emergencia, se controla el voltaje de barras de manera que si éste decae en un porcentaje no permitido, se produce conmutación automática de las celdas adicionales para mantenerlo a un nivel permisible.

Como puede verse este esquema es más complejo y por tanto más costoso que el primero, pero permite mantener un voltaje constante para aquellos dispositivos que así lo requieran.

Finalmente podemos comentar algunos detalles sobre el mantenimiento de los acumuladores.

Como se ha notado, la simplicidad de este tipo de fuentes hace que su cuidado principal sea tomado en cuenta durante su fabricación. Un acumulador sin defectos de fabricación, que haya sido correctamente instalado y cuyo régimen de operación no sea extralimitado, requiere de relativamente poco cuidado. En estos casos el mantenimiento básicamente consistirá en un chequeo periódico (una vez cada mes) de: nivel, densidad y temperatura del electrolito, así como el chequeo del voltaje de cada elemento. También es importante chequear con esta frecuencia la calidad de las conexiones





entre acumuladores y con las barras de distribución. Una vez al año como mínimo deberá practicarse una prueba de descarga completa del banco para juzgar sobre su capacidad nominal y el estado de cada elemento por separado según sea el voltaje mínimo alcanzado después de la descarga. Un voltaje de un elemento sometido a descarga que sea menor en un 10% al voltaje mínimo permisible nos indicará que dicho elemento debe ser sustituido.

Un punto muy importante del mantenimiento de los bancos de baterías, consiste en la limpieza periódica del  $P_2SO_4$  (sulfato de plomo) que suele acumularse, con mayor intensidad, en la parte externa del electrodo positivo. Este fenómeno es provocado básicamente por la producción de  $P_2SO_4$  y agua en las placas positivas durante la descarga (ver ecuación 1), lo cual ocasiona un proceso más acelerado de "sudoración" en el borne positivo.

Finalmente, es absolutamente indispensable acatar estrictamente, las rutinas que cada fabricante recomienda para el correcto mantenimiento de las baterías.

#### Algunas normas para la instalación de baterías de acumuladores

- Los bancos deberán ser instalados de modo que solo sean accesibles a personal autorizado.
- Se tomarán precauciones para que los cuartos que alberguen baterías sean lo suficientemente ventilados para la evacuación de mezclas de gases explosivos.
- Los bastidores que reportan los recipientes de las baterías deberán ser de madera o metal pero de manera que hayan sido previamente tratados para ser resistentes a la acción del electrolito. Además los bastidores deberán estar provistos de miembros no conductores (aislantes) en su parte directamente en contacto con los recipientes. Toda esta estruc-

tura deberá soportarse sobre pisos resistentes al ácido o recubiertos con pinturas que tengan esa cualidad.

- Las conexiones del banco con la carga o con los cargadores no se efectuarán con conductores desnudos a menos que estén resguardados o aislados por elevación.
- En general se permite utilizar conductores en tubo rígido roscado, en tubo eléctrico metálico o simplemente cable aislado con una cubierta resistente al electrolito. Cuando se usa tubería metálica, ya sea rígida o EMT, esta deberá pintarse adecuadamente para protegerla de la corrosión.
- Los aparatos de iluminación en cuartos de baterías deberán protegerse adecuadamente de manera que no puedan ser foco de chispas o calentamiento. Los interruptores de luces y tomacorrientes se ubicarán fuera del local que alberga al banco.
- En los locales que albergan baterías se evitará: fumar, utilizar llamas al aire y herramientas que puedan producir chispas.
- Los empleados usarán protección para los ojos y piel, así como mascarilla con filtro adecuado, cuando manipulen electrolito. Todo este equipo deberá ser revisado cuidadosamente antes de iniciar los trabajos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Tserazov, A. L.; Vacilieva, A. P. **Electrichecsaya chast tieplovij electrostantsii**. Moscú: Editorial "Energía", 1980.
2. Neklepaiev, B. N. **Electrichecsaya chast electrostantsii y podstantsii**. Moscú: Editorial "Energoatom", 1986.
3. Martín, J. R. **Diseño de subestaciones eléctricas**. México: Mc Graw Hill, 1987.
4. CODELECTRA (Venezuela). **Código nacional de electricidad en instalaciones de suministro de energía eléctrica y de comunicaciones**. Caracas: CODELECTRA, 1976.

## CRITERIOS PARA UNA TECNOLOGIA APROPIADA

Edgar Roy Ramírez B.\*

*Los apaciguadores que todavía nos dicen que la atmósfera puede soportar un par de grados más de calentamiento, el aire un poco más de contaminación, la tierra un poco más de radioactividad y de materias dañinas, el hombre un poco más de carga a través de una tecnología que perturba su equilibrio armónico, se consideran erróneamente como conservadores. No se dan cuenta que son los herederos carentes de imaginación de utopías en bancarrota*

I. Fetscher

*Pero el caudal sabe más: sabe que nunca se llega cuando no hay dónde llegar*

P. Salinas

Quando se reflexiona en torno a este tema, son varias las preguntas que hacen inmediatamente su aparición: ¿cabe hablar de una tecnología apropiada? ¿es toda tecnología apropiada? ¿es la tecnología apropiada tecnología para países atrasados? ¿hay alguna relación entre la tecnología apropiada y el desarrollo? ¿qué es preciso repensar? ¿es la expresión "tecnología apropiada" descriptiva o es meramente evaluativa? ¿cuáles criterios sirven para evaluar si una tecnología es apropiada o no? ¿son estos criterios arbitrarios? ¿cuá-

les vínculos se intentan romper con la tecnología apropiada? En este trabajo se buscará dar respuestas a algunas de estas preguntas.

¿Cabe hablar de "tecnología apropiada"? Una posición que responde positivamente —pero al precio de convertir tal denominación en trivial o superflua— es la de Amílcar Herrera<sup>1</sup>. Este autor plantea que toda tecnología es apropiada si cumple con la finalidad para la cual fue producida. Si hay consecuencias indeseables, éstas no son más que el resultado de querer lograr un "nivel de desarrollo" como el de los países industrializados. Herrera nos dice: "todas las tecnologías son apropiadas; la interrogante es: ¿para qué?" Volvamos a insistir, si todas las tecnologías son apropiadas entonces la caracterización pierde alcance o poder adquisitivo conceptual, ya que no especifica ninguna propiedad distintiva. En este caso decir de una tecnología que es apropiada sería emitir una especie de juicio analítico, nuestro conocimiento no gana ni en amplitud ni en profundidad.

"Si el objetivo de las sociedades del Tercer Mundo —continúa Herrera— es imitar el estilo de desarrollo de los países adelantados, las tecnologías occidentales son apropiadas para ello". No se reconoce que la discusión en torno a si una tecnología es apropiada o no, no se restringe a los países no industrializados. Precisamente, un replanteamiento importante con respec-

\* Director del Instituto de Investigación Filosóficas de la Universidad de Costa Rica. Miembro del Círculo de Cartago.



*¿Cabe hablar de una tecnología apropiada? ¿es toda tecnología apropiada? ¿es la tecnología apropiada para países atrasados? ¿hay alguna relación entre la tecnología apropiada y el desarrollo? ¿Cuáles criterios sirven para evaluar si una tecnología es apropiada o no?*

to a la adecuación de una tecnología también se ha dado en el mundo industrializado a tal punto que, por ejemplo, J. T. Mathews plantea en su excelente artículo "Para redefinir la seguridad", lo siguiente: "para lograr un crecimiento económico sostenido será necesario remodelar la agricultura, el uso de la energía y la producción industrial de acuerdo con el ejemplo de la naturaleza, esto es, prácticamente reinventarlos"<sup>2</sup>. Se ha llegado a límites que es mejor no sobrepasar y es preciso no solo una reorientación de la tecnología sino, simultáneamente, de todo un proyecto de civilización<sup>3</sup>. Es necesario insistir, entonces, en que la preocupación por la tecnología apropiada no parece ser ociosa ni se restringe a los países del denominado Tercer Mundo.

"El hecho de que la introducción masiva de esas tecnologías cause efectos sociales y culturales indeseables no viene al caso: es el precio aceptado por las clases gobernantes por mantener un determinado orden socioeconómico". Aquí, contrario a lo que piensa Herrera, está el quid del asunto: los efectos indeseables, o juzgados tales, son precisamente algunos de los detonantes que hacen surgir la pregunta sobre la adecuación de una tecnología; es lo que viene al caso y lo que cuestiona la sensatez de algunos estilos de desarrollo. El "progreso" tiene su precio, alto a veces, con relación a lo cultural, lo político, lo económico y lo biológico. ¿Qué sentido tendría seguir hablando de progreso si éste exige altos pagos en términos humanos y en términos ambientales? Habría que hablar, quizá mejor, de un progreso absurdo, antidesarrollo, o de una forma de retroceso<sup>4</sup>. Los efectos indeseables señalan a la necesidad de una reorientación de la tecnología, al control democrático de sus emplazamientos, de su producción, al inescapable replanteamiento de algunas tecnologías y, obviamente, al surgimiento de una pregunta claramente genuina a la vez que justificada, a saber,

¿qué es una tecnología apropiada? Pregunta ésta que se hace a partir del reconocimiento de que no toda tecnología es apropiada, la pregunta sobre el grado de adecuación de una tecnología no puede ser soslayada bajo la aparentemente inofensiva afirmación de que "todas las tecnologías son apropiadas".

Una posición del otro extremo del espectro la encontraríamos en quienes sostienen, si es que alguien lo hace, que toda tecnología es mala, que de ella provienen nuestros males. En esta perspectiva apocalíptica o catastrofista, pierde sentido hablar de una tecnología apropiada, ya que tal denominación es vaciada de alcance conceptual: el adjetivo "apropiada" aplicado a la tecnología carece de referente porque ninguna tecnología puede serlo.

La posición aquí defendida plantea que no toda tecnología es apropiada y que sí tiene sentido calificar a una tecnología de "apropiada". Por supuesto que el término "apropiado" es incompleto. No solo es menester especificar para quién es apropiada una tecnología, sino que también para qué, en qué momento, en qué contexto. Propondremos, además, que el término "apropiada" es conjuntamente descriptivo y valorativo.

¿A qué se opone una tecnología apropiada? Obviamente se opone a la tecnología perniciosa, a la tecnología riesgosa, o a cualquier forma de tecnología desbocada. En otras palabras, el concepto de tecnología apropiada es un concepto polémico que surge por oposición a los peligros generados por las otras formas de tecnología.

Es importante no caer en la trampa de creer que la tecnología apropiada es la tecnología para los países no "desarrollados". En determinadas formas de planearla, la tecnología apropiada es una forma de concepción y de trato de los países industrializados hacia los países pobres y empobrecidos. En nuestro planteamiento,

*¿A qué se opone una tecnología apropiada? Obviamente se opone a la tecnología perniciososa, a la tecnología riesgosa, o a cualquier forma de tecnología desbocada. En otras palabras, el concepto de tecnología apropiada es un concepto polémico que surge por oposición a los peligros generados por las otras formas de tecnología.*

si una tecnología es apropiada, esto no prejuzga el tipo de país o región. Es decir, perfectamente tiene sentido plantear la necesidad de tecnologías apropiadas para los países industrializados. La tecnología apropiada no es, por tanto, tecnología para los países atrasados (tecnológicamente).

Pensar en la tecnología apropiada es el resultado de plantear "la pregunta de si nuestro planeta puede continuar siendo fuente de recursos y basurero para un alto y, tal como se espera, creciente nivel de vida"<sup>5</sup>. En un sentido se plantea porque hay un proyecto que ha mostrado sus límites y sus insuficiencias, su inviabilidad, por el agobio a que somete al entorno y a los seres vivos, y por la pérdida de calidad de vida. Es todo un proyecto que está en cuestión por los efectos globales. Por otro lado, están los efectos locales de deterioro del medio y de la falta de solución a problemas apremiantes que afectan idiosincráticamente a países específicos. Se trata, por tanto, del reconocimiento de una vía intransitable por lo despilfarradora y por el asedio a que somete a la realidad (la biosfera y a la sociosfera). La necesidad de respuestas alternativas no puede hacerse esperar.

¿Cuál es el contexto para plantear la necesidad de la tecnología apropiada? Hablamos desde una región que ha visto pasar el último decenio con el recrudecimiento de las situaciones difíciles (aumento de la pobreza y de la pobreza extrema, aumento de la deuda e(x)terna con todas sus ominosas ramificaciones, aumento en el deterioro del ambiente y reducción de los servicios sociales), se hace necesario repensar cursos de acción alternativos para no repetir lo que algunos han dado en llamar el "decenio perdido"<sup>6</sup>.

La pobreza afecta a tres de cada cinco centroamericanos, dos de cada cinco no llegan a satisfacer las necesidades de alimentación, tres de cada diez son analfabetos; gran parte de la "ayuda" externa tiene que ver con asuntos bélicos o milita-

res; las tecnologías sustitutivas de mano de obra aumentan el desempleo; el pago de intereses de una deuda impagable se lleva buena parte del presupuesto que puede ser dedicada a la solución de problemas urgentes de la población y el entorno; estas condiciones han golpeado a los grupos vulnerables aumentando, por ello, su vulnerabilidad —empeoramiento de las condiciones de vida—, el acceso a buenos servicios médicos se ha reducido; dado el deterioro de la justicia, la protección del entorno también ha sufrido; se ha elevado a Centroamérica a la condición de basurero tecnológico<sup>7</sup>. Recordemos que las grandes potencias no hacen planes de paz, solo hacen planes de guerra, tampoco entienden que el desarrollo cuando es genuino beneficia a todos.

Tales situaciones nos obligan a repensar el desarrollo. El desarrollo tiene que ser repensado en términos más amplios que los del mero crecimiento industrial o crecimiento económico, de tal manera que si se excluye a grupos importantes de la participación, creación y disfrute de las posibilidades generadas, entonces no está ante un desarrollo genuino. Aumentar el producto nacional bruto a costo de un gran desempleo o excluir a los pobres del progreso no es una opción éticamente valiosa, no importa que sea la preferida de los economistas que convierten al mercado en un ídolo, al cual se le rinde culto y se le ofrecen sacrificios no solo humanos<sup>8</sup>.

Desarrollo sin desarrollo humano —despliegue de potencialidades positivas— sin cuidado de la calidad del entorno —despilfarro de recursos y del paisaje—, sin preocupación por las generaciones futuras de animales y humanos, sin seguridad, sin satisfacción de las necesidades básicas, un desarrollo así entendido no sería más que un caso de antidesarrollo.

En su relación con el desarrollo no hay por qué desorbitar la importancia de la tecnología y creer que para cualquier



*El desarrollo tiene que ser repensado en términos más amplios que los del mero crecimiento industrial o crecimiento económico, de tal manera que si se excluye a grupos importantes de la participación, creación y disfrute de las posibilidades generadas, entonces no está ante un desarrollo genuino.*

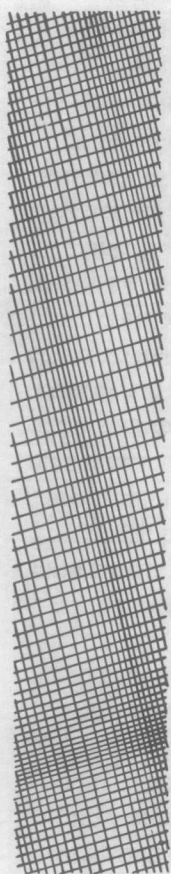
problema social importante siempre hay una solución tecnológica. Podemos pensar sin ánimos de exageración que, en el mejor de los casos, la tecnología es una condición necesaria, pero no suficiente. Es obvio que para lograr determinadas metas sociales no se precisa tan solo de medios tecnológicos, son necesarias decisiones políticas, medidas económicas y orientaciones culturales. En este sentido no cabe olvidar lo siguiente: la dirección a que apuntamos es que la tecnología apropiada no ha de verse como la solución a los problemas sociales. Sí, por el contrario, como un medio básico para lograr que algunos problemas no se profundicen o se queden sin una respuesta adecuada, que actúa en colaboración con otros factores. En otras palabras, sin respuestas multidisciplinarias, por un lado, y sin medidas multifacéticas, los problemas no solo quedarían sin solución, sino que además empeorarían. Posiblemente no hay cambios necesarios sin tecnologías apropiadas, pero tampoco habrá tecnologías apropiadas sin cambios de orientación política, económica y cultural.

En este cambio de concepción se hace imprescindible establecer una distinción importante para repensar el desarrollo y la función de la tecnología apropiada en él: la distinción entre nivel de vida y calidad de vida. El nivel de vida y la calidad de vida pueden estar relacionadas, pero no son lo mismo. El nivel de vida tiene una orientación más individualista; la calidad de vida, por su lado, tiene una orientación más comunitaria. El nivel de vida, apunta Albert Borgmann, "se mide por el número de productos disponibles, es decir, por la cantidad de mercancías y servicios que pueden producirse, comercializarse y consumirse privadamente." Se puede aceptar que la calidad de vida supone un nivel de vida satisfactorio<sup>9</sup>; no obstante, se reconoce que la mera búsqueda del nivel de vida puede ser atentatorio contra la calidad de vida por ser distintas las orientaciones y no necesariamente coincidir los

intereses individuales con los intereses comunitarios. "La calidad de vida —continúa Borgmann— se compone de los bienes sociales y las características de fondo de nuestras vidas, que, en general, poseemos en común o no poseemos en absoluto". Una procura de una mejor calidad de vida supone, entre otras cosas, una reorientación de la tecnología para que produzca bienes mejores en calidad y durabilidad —es el rechazo del planeamiento de la caducidad—, una reorientación de la tecnología para generar condiciones de trabajo más humanamente significativas, así como para encontrar un equilibrio dinámicamente armónico con el ambiente, que permita su conservación y enriquecimiento.

Viendo que extrañamos unas cosas cuando las perdemos, podríamos guiar nuestra acción a la conservación y a la ampliación de aquellas que suponemos, por el desarrollo del conocimiento y de algunas aspiraciones, que pueden llegar a hacernos falta. Recuperar, conservar, ampliar. Ahora bien, el asunto es aún más importante: no se trata tan solo de notar una ausencia (de tranquilidad y silencio, de aire puro y agua limpia, de soledad y naturaleza intacta, de alimentos no contaminados y un paisaje acogedor, de ciudades seguras e interacciones significativas), sino que además nos hemos percatado que necesitamos las cosas o situaciones que han desaparecido o están por desaparecer.

La calidad de vida se compone de bienes y rasgos que o se poseen comunitariamente o no se poseen del todo. ¿Cuáles son algunos de ellos? "Estos bienes y características incluyen aire y agua limpia, espacios abiertos, seguridad pública, museos, orquestas. Elevar la calidad de vida es tanto restringir el crecimiento canceroso del consumo tecnológico como promover la calma y la sinceridad en las cuales puedan florecer la participación y la celebración. Significa también



llevar adelante una política pública que tenga una relación más consciente y afirmativa con la calidad de vida<sup>10</sup>. Lo interesante del concepto de calidad de vida es que no supone un consumo máximo o un consumo ilimitado, objetivo de por sí irrealizable socialmente, sino el liberar energías para la participación, para la creación, para el juego, el amor, la camaradería, la comunicación, el trabajo, el ocio. Se orienta a descubrir el poeta que llevamos dentro. Cabe agregar con Olof Palme que "esto planteará grandes desafíos a la moral de las personas y su solidaridad. Necesitaremos más que nunca formas de sociedad que tomen en cuenta las necesidades comunitarias de las personas: una sociedad basada no solo en el estándar material sino, en mayor medida, en una superior calidad de vida"<sup>11</sup>.

El enfoque de la tecnología apropiada evita la actitud "tecnológica" (optimista, triunfalista) y la actitud "tecnofóbica" (pesimista, derrotista). Es una aproximación más lúcida que evalúa los usos de la tecnología, se plantea el problema de qué tecnología llevar hacia adelante y cuál evitar, qué usar y qué no usar, no independiza a la tecnología de su contexto político económico, rechaza cualquier pretendida neutralidad.

"Es posible lograr niveles bastante respetables de desarrollo humano aún en niveles modestos de ingresos"<sup>12</sup>. La tecnología apropiada es uno de los medios básicos para lograr el desarrollo con escasos recursos. ¿Cuáles criterios nos permiten juzgar si una tecnología es apropiada? A la luz de lo ya expuesto, plantearemos los siguientes: una tecnología es apropiada si:

- Es amistosa con el usuario y con el ambiente, es decir, apropiada para no dañar, y ojalá para enriquecer, el entorno humano y el entorno no humano;
- Ayuda a generar nuevas fuentes de empleo;

- Su consumo de energía o combustible es bajo;
- No hay que pagar por ella grandes sumas de dinero en patentes y regalías, y no aumenta la deuda externa;
- Utiliza con sensatez los recursos renovables;
- Estimula la confianza en las capacidades creativas de nuestros pueblos;
- Sirve para resolver problemas propios y contribuye a la independencia;
- Contribuye a la consecución de mayores niveles de calidad de vida y un desarrollo con escasos recursos.

Insistamos una vez más en la importancia de la tecnología apropiada. La tecnología apropiada es importante porque sus productos utilizan con sensatez los recursos escasos, sin producir deterioro del medio, porque se orienta hacia una economía intensiva en mano de obra donde ésta está disponible, porque no busca la eficiencia a costa del desempleo o la incertidumbre, ya que se juzga que el trabajo es un factor importante para dar cabida a la satisfacción de otras necesidades básicas. Además y complementando lo anterior, la categoría de apropiado respecto de la tecnología puede verse de dos maneras:

1. Una tecnología es apropiada en relación con su producción;
2. Una tecnología es apropiada en relación con su utilización.

Desde un punto de vista formal podrían darse las cuatro combinaciones siguientes:

1. Tecnología apropiada tanto en su producción como en su utilización (condición óptima);
2. Tecnología apropiada en su producción, pero no en su utilización;



*La tecnología apropiada es importante porque sus productos utilizan con sensatez los recursos escasos, sin producir deterioro del medio, porque se orienta hacia una economía intensiva en mano de obra donde ésta está disponible, porque no busca la eficiencia a costa del desempleo o la incertidumbre*

3. Tecnología apropiada en su utilización pero no en su producción;
4. Tecnología inapropiada en ambos aspectos (condición pésima).

Tales criterios sirven no solo para evaluar tecnologías ya existentes, sino también para orientar la investigación y la producción de otras tecnologías. Tales criterios son claramente discutibles, y algunos pueden variar con el tiempo o las circunstancias, pero no son arbitrarios. Los grados en que se concreten y sus posibles combinaciones, medirán el nivel de adecuación de una tecnología. En todo caso, se hace imprescindible establecer los criterios pertinentes para evaluar y analizar lo que juzgamos una "tecnología apropiada". Dado que la explotación de seres humanos va claramente ligada a la explotación de la naturaleza; que el empobrecimiento de la existencia y el empobrecimiento del entorno no parecen dos fenómenos alejados; que la despreocupación por la vida humana y lo que la sostiene se vincula a una perspectiva estrecha del bienestar; que los intereses de cortas miras van contra la mayoría de los seres vivos; entonces, será preciso redefinir a la luz del cambio de circunstancias el grado de adecuación de una tecnología. Esta flexibilidad es decisiva de parte de los grupos interesados y afectados, así como de la sociedad anfitriona; participación y lucidez en la evaluación responsable del grado de adecuación de las tecnologías. ¡No serán los agentes vendedores de tecnologías quienes nos proveerán de los criterios!

#### NOTAS Y REFERENCIAS

1. Todas las citas de Amílcar Herrera están tomadas de *Desarrollo, medio ambiente y generación de tecnologías apropiadas. Cultura, ciencia y técnica*. San José: Ediciones Guayacán, 1988, p. 245.
2. *Facetas* 87 (1990): 7.
3. "Ceo que la amenaza más peligrosa para las probabilidades de supervivencia de la humanidad no proviene del peligro potencial de conflictos atómicos sino de la amenaza que resulta de la propia dinámica expansiva de la civilización industrial". Iring Fetscher. *Condiciones de supervivencia de la humanidad*. Barcelona-Caracas: Editorial Alfa, 1988, p. 54.
4. Véase Goulet, Denis. *Tareas y métodos en la ética del desarrollo*. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*. XXVII(66), 1989: 302.
5. Borgmann, Albert. *Tecnología y democracia*. *Anthrops* 94-95 (1989): 57.
6. Véase Quesada Camacho, J. Rafael. *La actualidad de América Latina: una perspectiva histórica. Hombre y sociedad en la edad moderna y contemporánea*. San José: Publicaciones de la Asociación de Profesores de Filosofía. 1990, p. 91.
7. Comisión Sanford. *Pobreza, conflicto y esperanza: un momento crítico para Centroamérica*. Durham-San José: no aparece el sello editorial, 1989. Recomendamos este informe para mayores detalles sobre la situación de América Central. Hacer un enfoque desde América Central responde a una necesidad de enraizar la urgencia de una respuesta. Este enfoque enmarca la urgencia, pero no le da exclusividad. Obviamente no solo necesitamos un enfoque regional de la tecnología apropiada, sino que también, simultáneamente, un enfoque global de la tecnología apropiada. Los desafíos globales señalan en la dirección de respuestas globales, es decir, respuestas sin restricción de fronteras, respuestas transnacionales y, a la larga, transculturales. En otras palabras, podemos hablar de una tecnología apropiada con repercusiones globales y una tecnología apropiada—no necesariamente distinta de la primera—con repercusiones locales y regionales. El arraigo de la respuesta lo que intenta es no desvincular el planteamiento de una zona obviamente afectada.
8. Dower, Nigel. *World Poverty Challenge and Response*. England: The Ebor Press, 1983, p. 57.
9. Por ejemplo la tolerancia, rasgo de la calidad de vida, no solo necesita un buen flujo de información, la posibilidad de intercambio sin temor, la aceptación de diversas vías de búsqueda, el reconocimiento de la falibilidad, el rechazo del oscurantismo con sus acompañantes, el dogmatismo y el fanatismo, sino que también necesita para florecer la satisfacción de ciertas necesidades básicas materiales. La atmósfera posibilitante de la tolerancia exige no solo el mejor conocimiento disponible sino simultáneamente otros aspectos, tal como claramente lo sugiere John K. Galbraith: "Cuando la gente está bien alimentada y no tiene problemas materiales inmediatos tiende a ser mucho más tolerante que cuando está hambrienta y sufre privaciones." *Semanario Universidad*, 17 de agosto de 1990: p. 10.
10. Todas las citas de A. Borgmann están tomadas del artículo ya citado, p. 66.
11. Citado por I. Fetscher, *op. cit.*, p. 93.
12. Informe sobre el desarrollo humano - 1990. Citado por Bracho, F. *La falacia de los indicadores*. *Aportes*, 69(1990): 37.