



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE POTENCIA

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA INDICAR EL CONSUMO DE
ENERGÍA ELÉCTRICA, EN SECTORES DE BAJOS INGRESOS,
CON TECNOLOGÍA DE MICROCONTROLADORES.**

Autores:

AMNER E. DE PAZ M.
HIPÓLITO M. LEÓN C.

Valencia, Junio de 2007

INTRODUCCIÓN

Las empresas de distribución de energía eléctrica son las encargadas de entregar y facturar la energía eléctrica al cliente residencial, comercial e industrial. Debido al crecimiento poblacional y comercial en una forma no planificada, se desmejoran los parámetros de calidad referentes al producto técnico, exigidos para prestar un buen servicio de distribución de energía eléctrica, por causa de conexiones ilegales, energía facturada no cancelada y fraudes a equipos de medición, esto influye de una manera negativa en las empresas de distribución de energía eléctrica.

En tal sentido tales empresas se enfocan en la disminución de las pérdidas eléctricas, para poder cumplir con los requerimientos exigidos en cuanto al suministro de la energía eléctrica como lo son la continuidad de servicio, valores normalizados de tensión, frecuencia, entre otras.

Estas pérdidas se clasifican según las causas que la producen en técnicas y no técnicas; siendo las técnicas las que se originan en los conductores, transformadores y en todos los equipos que se utiliza para generar, transmitir y distribuir la energía; las pérdidas no técnicas se originan en conexiones ilegales (el cliente no esta suscrito), energía facturada no cancelada, fraudes a equipos de medición, entre otras, que le ocasionan a las empresas encargadas del suministro eléctrico.

ELEVAL es una empresa privada dedicada a la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en el Estado Carabobo; suministra energía eléctrica a los municipios Guacara, Los Guayos, Naguanagua, San Diego y Valencia. Esta empresa es afectada por las pérdidas eléctricas, tanto técnicas como no técnicas. Durante los últimos cinco años han venido desarrollando estrategias para disminuir las pérdidas no técnicas, una de las cuales han sido el de crear conciencia en el suscriptor en cuanto al uso eficiente de la energía eléctrica, otra

estrategia en algunos sectores ha sido la ubicación de los medidores en la parte exterior de las viviendas

Una de las metodologías utilizadas por ELEVVAL para la disminución de las pérdidas no técnicas fue crear una tarifa residencial social, en la cual el cliente cancela un monto fijo si el consumo de energía eléctrica no supera el valor máximo establecido en la tarifa. Como el usuario desconoce cuanto ha consumido en un mes determinado, se propone el diseño de un equipo que le indique al usuario con una señal visual y auditiva el límite de consumo diario y mensual con el fin de mantenerse dentro de la tarifa social. Esto se realizó con tecnología de microcontroladores.

La investigación desarrollada quedó estructurada en cinco capítulos. En el capítulo uno se explica el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales fueron realizados para llegar al cumplimiento de la investigación. Además se incluye la justificación del problema, donde se plantea la relevancia e importancia del equipo diseñado, el alcance y delimitaciones de la investigación.

En el capítulo dos se mencionan antecedentes de la investigación, se definen las bases teóricas que sustentan el presente trabajo, donde se explica conceptos básicos de energía y potencia, equipos de medición de energía, empresas de distribución de energía, tarifas, leyes y teorías de microcontroladores y por último la definición de términos.

En el capítulo tres se expone la metodología utilizada en el estudio, como lo es el tipo de investigación, diseño de la investigación, método de la investigación, procedimientos de la investigación y técnicas de recolección de los datos.

El capítulo cuatro contiene el ambiente de trabajo, elementos utilizados, características de funcionamiento del equipo, el algoritmo realizado, esquema de funcionamiento del equipo e indicaciones de uso del equipo diseñado entre otros.

El capítulo cinco se presentan las conclusiones y las recomendaciones luego de realizar el equipo para disminuir las pérdidas no técnicas referidas a la energía facturada no cancelada que presenta la empresa ELEVAL.

EL PROBLEMA

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, la justificación, el objetivo general y los objetivos específicos, por último se explica el alcance y delimitaciones que tendrá el desarrollo de la investigación.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La energía eléctrica es de gran importancia para las actividades que se desarrollan diariamente en el mundo y es una de las principales formas de energía usadas actualmente. Sin ella la iluminación, los sistemas de comunicación, los sistemas industriales, transporte y las actividades en los hogares no se realizaría de una manera eficiente.

Para que la electricidad llegue a cada uno de los lugares donde será utilizada, hay una serie de empresas que cumplen con funciones de generación, transmisión y distribución.

Por los recursos presentes en Venezuela como lo son las cuencas hidrográficas al sureste del país y las riquezas en hidrocarburos, se construyeron en la década de los años 60 plantas hidroeléctricas donde se genera el 70.25 % de la energía utilizada a nivel nacional, el resto es suministrado por plantas termoeléctricas ubicándose dichas plantas en varios estados del país, según estudios realizado por la Oficina de Operación de Sistemas Interconectados de Venezuela (OPSIS) para Abril del 2007.

La generación constituye una de las primeras fases para llevar la energía eléctrica a los lugares de consumo, donde la energía es generada a unos niveles de tensión 15kV y elevada a través de auto transformadores a tensiones de 765 kV en algunas plantas de generación, y en otras a 400 kV, 230 kV o 115kV para luego ser transmitida.

Las líneas de transmisión y las subestaciones representan los principales componentes de un sistema de transmisión, el cual se caracteriza por poseer diferentes niveles de voltaje de operación. Esta diversidad permite que el intercambio se de en condiciones que minimicen las pérdidas de energía, para lograr el uso eficiente de la energía por parte de todos los integrantes del sistema eléctrico (consumidores y generadores).

El país cuenta con un sistema de transmisión que interconecta los principales centros de producción de energía y permite tener potencia y energía disponible para los centros de consumo a lo largo y ancho del territorio nacional, a través de un sistema de transmisión que alcanza niveles de tensión de 115 kV, 230 kV, 400 kV y 765 kV, y existen más de 20000 km de extensión en líneas de transmisión desde 115 a 765 kV en todo el territorio.

Para que la energía eléctrica, sea entregada y facturada a los clientes residenciales, comerciales e industriales las empresas de distribución son las encargadas de cumplir con esa función y están ubicadas en los distintos estados del país.

Una de las empresas encargadas de distribución de la energía eléctrica en Venezuela es Electricidad de Valencia (ELEVVAL) cuya función es distribuir la energía en algunos municipios del estado Carabobo; específicamente San Diego, Valencia, Naguanagua, Los Guayos y Guacara.

Esta empresa distribuye a niveles de 115, 34.5, 13.8 y 2.4 kV, y tienen diferentes tipos de tarifas para los clientes industriales, comerciales y residenciales. Entre las tarifas residenciales se

tienen: Servicio Residencial Social, Servicio Residencial General y Servicio Residencial Alto Consumo. Donde el Servicio Residencial Social es exclusivamente para usuarios con niveles de voltaje de 120 V, destinados a usos domésticos residenciales. Esta tarifa es aplicable a suscriptores siempre y cuando su consumo no exceda de los 200 kWh mensuales durante dos meses consecutivos.

En el proceso de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica están involucradas las pérdidas técnicas. Las cuales son la energía auto-consumida en las plantas de generación y las pérdidas en líneas de transmisión, es por esta razón que se utiliza altos niveles de tensión para transmitir la energía a largas distancias.

En las empresas de distribución además de las pérdidas técnicas se tienen otros tipos de pérdidas llamadas no técnicas, estas son las que cuantifican la energía no facturada porque el usuario no está suscrito (conexiones ilegales), la energía facturada no cancelada y fraudes a equipos de medición.

ELEVAL para el año de 1997 determinó, de acuerdo a revisiones de energía entregada y energía cobrada, sus pérdidas técnicas y no técnicas en un 35%, para disminuir esos niveles se utilizó como estrategia inspecciones en los clientes de altos consumos y campañas de revisión residencial, obteniendo como resultado una disminución de dichas pérdidas en un 19%, esto implica que para el año 2006 las pérdidas están alrededor de 16%.

Las pérdidas no técnicas influyen de manera negativa en la calidad de servicio eléctrico (regulación de tensión y continuidad del servicio) a todos los sectores atendidos por la empresa, disminución de los beneficios de la empresa, deterioro de los equipos y un incremento de la probabilidad de cortocircuitos debido a las conexiones ilegales.

Por tales consecuencias se hace de gran importancia la disminución de pérdidas no técnicas, por lo que ELEVAL en distintas ocasiones a través de campañas de revisión en los suscriptores ha buscado disminuir las pérdidas no técnicas referentes a la energía facturada no cancelada, evitando que no se haga difícil para estos suscriptores cancelar dichas facturas y no busquen formas irregulares que terminen en fraude para la empresa.

Para disminuir la energía facturada no cancelada, se propone diseñar un equipo que registre la energía consumida por los suscriptores residenciales de interés social de tal forma de mantenerlo en el consumo establecido por la tarifa social, utilizando tecnología de microcontroladores. Esto reducirá las pérdidas no técnicas de la compañía, ya que el usuario controlará el consumo que él pueda cancelar.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente Electricidad de Valencia (ELEVAL) cuenta con el departamento de pérdidas no técnicas, cuya función es reducir los niveles de dichas pérdidas. Estas son las causantes de que día a día ocurran pérdidas a la empresa por el consumo de energía que no es cancelada por los suscriptores. ELEVAL a través de estrategias busca aminorar las pérdidas no técnicas, por medio de una tarifa social donde el usuario de bajos ingresos pueda cancelar, si se mantiene en un rango de consumo establecido por dicha tarifa.

Si se adaptase un equipo que le indique al usuario cuando se está pasando del rango de consumo, este suscriptor puede darse cuenta y buscará la forma de mantenerse en la tarifa para no consumir un exceso de energía que puede ser no cancelado y provocar pérdidas a la empresa.

Con este equipo se logrará la disminución de las pérdidas no técnicas a la empresa y con ello un incremento en sus ingresos. Así mismo, el usuario podrá controlar su consumo, y así tener

la posibilidad de cancelarlo. Por otra parte, se disminuirá la posibilidad a los usuarios de realizar daños a equipos de medición, conexiones ilegales y por consecuencia desmejora la calidad de servicio (nivel de tensión, continuidad).

Adicionalmente, al disminuir las pérdidas no técnicas se está contribuyendo con el ahorro de combustibles en las plantas de generación termo-eléctricas, ya que la energía que era consumida y no cancelada podrá ser utilizada para cumplir con parte de la demanda que cubre las plantas termo-eléctricas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un equipo para indicar el consumo de energía eléctrica, para sectores de bajos recursos, con tecnología de microcontroladores.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las características de carga en hogares de bajos recursos para definir las características del equipo y de los suscriptores donde se implementará el equipo.
- Seleccionar el microcontrolador y el lenguaje de programación más adecuado según las características del equipo.
- Diseñar y programar el equipo de registro con el microcontrolador para controlar el consumo de energía de los suscriptores.

- Establecer la metodología a utilizar por la empresa de servicio, para la implementación del equipo diseñado.

1.4 ALCANCE Y DELIMITACION

Las empresas de distribución de energía eléctrica presentan pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas, conociendo que las pérdidas no técnicas están constituidas por la energía facturada no cancelada, conexiones ilegales y fraude a los equipos de medición. El desarrollo de esta investigación se basará en la disminución de las pérdidas no técnicas referente a la energía facturada no cancelada en suscriptores residenciales de bajos recursos con acometidas monofásicas dos hilos afiliados a la empresa ELEVVAL.

El dispositivo a diseñar no reemplazará el equipo de medición, solo alertará al usuario para que se mantenga dentro del rango establecido por la tarifa social sin interrumpir el servicio si el suscriptor llega a sobrepasar el consumo establecido por la tarifa social.

El desarrollo de la investigación fue comenzado desde el 15 de Junio del año 2006, con recopilación de información y consultas a profesores de las posibles soluciones para el diseño del equipo, estimando culminar con la investigación para finales del mes de octubre del mismo año.

MARCO TEORICO

En este capítulo se explica antecedentes del estudio, bases teóricas y la definición de términos. Entre las bases teóricas se explican los conceptos básicos de energía y potencia, pérdidas eléctricas, equipos de medición, empresas de distribución de energía eléctrica, tarifas, bases legales y teoría de microcontroladores.

2.1 ANTECEDENTES

Para las empresas de distribución de energía eléctrica es importante, la disminución de la pérdidas que se producen en las redes de baja y alta tensión. Se han realizados diferentes trabajos a nivel nacional e internacional para disminuir dichas pérdidas, entre los cuales se encuentran trabajos para reducir pérdidas técnicas.

En el año 2002, Rosero C. José L. Presento ante la Universidad de Carabobo un trabajo titulado **“Diseño y revisión de metodología de pérdidas técnicas de energía en redes de baja tensión. Caso C.A. Electricidad de Valencia”**, cuyo objetivo general era diseñar una metodología para la estimación de las pérdidas en redes de baja tensión, que permita simularlas. Caso C.A: Electricidad de Valencia. La metodología utilizada por Elevel para el calculo de las perdidas no técnicas recoge inconvenientes técnicos, de tiempo y de personal asignado para está tarea. En beneficio de lo anterior, en este estudio se diseño una nueva tecnología de estimación que logro la automatización del proceso de calculo de pérdidas técnicas en las redes de baja tensión a través de herramientas programadas en Microsoft Excel, por medio de la cual se puede simular el comportamiento de estas redes haciendo uso de la información obtenida directamente del escenario real, para luego realizar el calculo de sus pérdidas técnicas de energía.

Al revisar la metodología de cálculo de las pérdidas técnicas empleadas se detectaron algunas diferencias. En las mismas se asumían condiciones presentes en las redes secundarias igual para toda la población que conforma dichas redes. Tales condiciones vienen dadas por el comportamiento que presentaban los circuitos privados de donde estas redes se alimentaban. Así mismo consideraban un mismo comportamiento en la curva de demanda de los puntos de transformación.

A través del muestreo realizado se logró obtener seis (6) modelos típicos de las redes secundarias y los mismos se establecieron para ser aplicados en el cálculo de las pérdidas técnicas de energía en dichas redes.

Igualmente para el año 1996 se presentó ante la Universidad de Carabobo por Moo Fung Rosa, Rodríguez Goncalvez Nelson y Romero Torrealba Fernando José el trabajo titulado **“Desarrollo de una metodología para el cálculo de las pérdidas técnicas de energía en sistemas de distribución”** este trabajo tuvo como finalidad desarrollar una metodología que permite a las empresas distribuidoras de energía realizar el cálculo de las pérdidas técnicas de energía de una manera más sencilla. La metodología se divide en dos partes, una que consiste en el cálculo de las pérdidas no técnicas en los circuitos de alta tensión y otra en los circuitos de baja tensión.

La metodología desarrollada para los circuitos de baja tensión se basa en calcular una ecuación que describa el comportamiento de las pérdidas técnicas de energía según las variaciones de demanda que se presentan en éstos. El desarrollo de esta ecuación se desarrolló utilizando el método de los mínimos cuadrados, los valores de demanda medidas de pérdidas técnicas de energía calculadas utilizando programas de computación.

La tecnología desarrollada para baja tensión consiste en agrupar bancos de transformadores cercanos, a los que se les llamaron nodos, seguidamente se determinó la demanda consumida en este nivel (120-208 V) para luego realizar su localización a lo largo del

circuito utilizando programas computarizados. Luego haciendo uso de un factor de longitud se determino la longitud de línea en baja tensión para cada nodo, la cual se utiliza luego para levantar un diagrama unifilar para cada uno de ellos.

Finalmente, el total de las pérdidas técnicas de energía para cada circuito serán la sumatoria de las pérdidas de alta tensión más las de baja tensión y su porcentaje se obtiene de la comparación de estos con la energía entregada al circuito.

También se puede destacar el proyecto de investigación desarrollado por Julio C. Bolívar y Numa R. Salinas en el año 1990 que tiene por título **“Aplicaciones prácticas para reducir pérdidas por consumo ilegal en una empresa de distribución”**, el cual se basa en la realización de un estudio que permitiera cuantificar la cantidad de energía no facturada como consecuencia de las alteraciones de los medidores de kWh, el número de suscriptores infractores, así como también dar recomendaciones que permitiesen una supervisión exitosa, el estudio se desarrollo en la empresa de electricidad de valencia.

Desarrollaron un método estadístico que permite determinar en forma aproximada la cantidad de suscriptores infractores en un determinado centro de suministro, así como también poder determinar la cantidad de energía que se esta perdiendo. Toda esta metodología se baso en estratificar poblaciones lo mas homogéneas posible, dividieron en residencial alto tomando en este estrato a la urbanización La Viña, residencial medio tomaron el Morro II en el residencial bajo seleccionaron al barrio Venezuela y la zona industrial Paraparal, tomaron muestras en cada sector de acuerdo a una expresión estadística.

Llegaron a la conclusión que en Eleval no existía una política efectiva de reducción de pérdidas, ya que existía un 52 por ciento de medidores alterados de una muestra de 754 suscriptores. Donde el sector de estrato bajo presento el mayor índice de incurrancia al robo de energía eléctrica con un 64.47 por ciento, sin embargo era en este sector donde menos energía se perdía.

De igual manera los ingenieros Whimper Onofre Sánchez Sánchez y Kléber Eduardo Morales Soriano, realizaron un trabajo de investigación en la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL titulado “**Identificación y control de pérdidas de energía en el sistema de distribución secundaria**” en el año 2000 en Guayaquil Ecuador. El objetivo principal de la investigación fue identificar las pérdidas de energía que se tienen en el sistema de distribución secundaria y establecer un plan para reducir y controlar estas pérdidas. Se evaluó la situación en cuanto a las pérdidas técnicas y no técnicas en la ciudad de Milagro, a fin de establecer un plan para la reducción y control se preceden a cuantificar dichas pérdidas finalmente se establece el plan de reducción, donde se hace un análisis costo-beneficio que tendría la Empresa Eléctrica Milagro C. A. (EEMCA) con la implementación del plan propuesto. En resumen establecieron que un estudio en las pérdidas de energía mejora la eficiencia e incrementa los ingresos de las empresas eléctricas y evita un aumento de la capacidad instalada asegurando que el crecimiento de la demanda se satisfaga de una manera óptima adicionando únicamente los elementos que sean técnicos y económicamente razonables recomendando que las empresas eléctricas deben ejecutar permanentemente planes para la evaluación, reducción y control de las pérdidas técnicas y no técnicas, para lo cual se deben cumplir con metas a corto mediano y largo plazo.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 Energía eléctrica

Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos —cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico— y obtener trabajo. La energía eléctrica puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía luminosa , la energía mecánica y la energía térmica.

2.2.1.1 La corriente eléctrica

La energía eléctrica se manifiesta como corriente eléctrica, es decir, como el movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico como consecuencia de la diferencia de potencial que un generador esté aplicando en sus extremos.

2.2.2 Potencia eléctrica

La potencia eléctrica se define como la cantidad de trabajo realizado por una corriente eléctrica.

Potencia instantánea : es la rapidez con la cual cambia la energía de un elemento, esto es:

$$p(t) = \frac{du(t)}{dt} \quad (2.1)$$

$p(t)$: Potencia instantánea (vatios =joules/s)

$u(t)$: Energía instantánea (joules)

t : tiempo (segundos)

En la figura 2.1 la potencia instantánea entregada a este elemento es el producto del voltaje $v(t)$ y la corriente $i(t)$, de tal modo que:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (2.2)$$

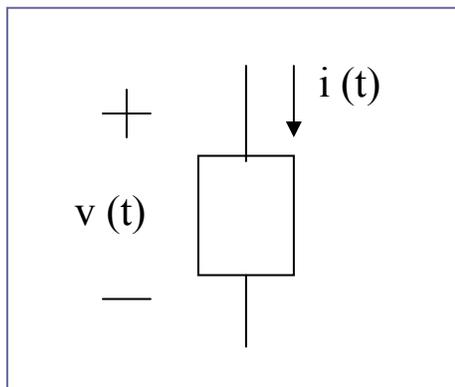


Figura 2.1 Un elemento de un circuito [3]

La unidad de potencia es el Watt (W)

Resulta particularmente importante en la medición de potencia en sistemas senosoidales, la potencia media, que es el valor promedio de la energía absorbida por un elemento y en consecuencia es independiente del tiempo:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.3)$$

En este caso los límites de integración están dados por el periodo de la función senoidal.

En la figura 2.2 se muestra una red eléctrica conformada en general por la interconexión de elementos activos y pasivos, un diagrama fasorial de la tensión y corrientes correspondientes a la polaridad y sentidos señalados.

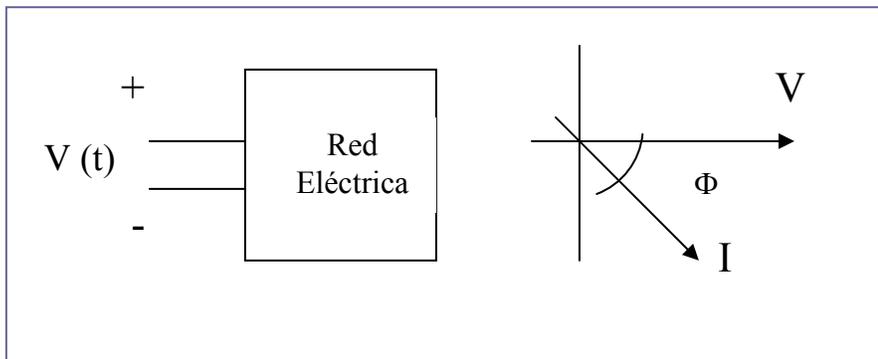


Figura 2.2 Diagrama de un elemento de un circuito [3]

Tomando como referencia al fasor tensión, las expresiones temporales de $v(t)$ e $i(t)$, de acuerdo al diagrama fasorial correspondiente serán:

$$v(t) = V_m \cdot \text{sen}(wt) \quad (2.4)$$

$$i(t) = I_m \cdot \text{sen}(wt - \phi) \quad (2.5)$$

Donde:

V_m : Valor pico de tensión

I_m : Valor pico de corriente

w : Frecuencia en radianes/segundos

ϕ : Angulo de desfase en radianes

t : Tiempo

resultando la potencia instantánea:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = V_m \cdot I_m \cdot \text{sen}(wt) \cdot \text{sen}(wt - \phi) \quad (2.6)$$

desarrollando la ecuación (2.6)

$$p(t) = V \cdot I \cdot \cos(\phi) [1 - \cos(2wt)] - V \cdot I \cdot \text{sen}(\phi) \cdot \text{sen}(2wt) \quad (2.7)$$

Sustituyendo en la ecuación (2.3) se obtiene la potencia media de la red que viene dada por:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\phi) \quad (2.8)$$

Este resultado permite definir la potencia media asociada a una red así :

El valor medio de la potencia asociada a una red es el producto de los valores eficaces de tensión y corriente entre sus terminales, multiplicando por el coseno del ángulo de desfase entre ambos fasores.

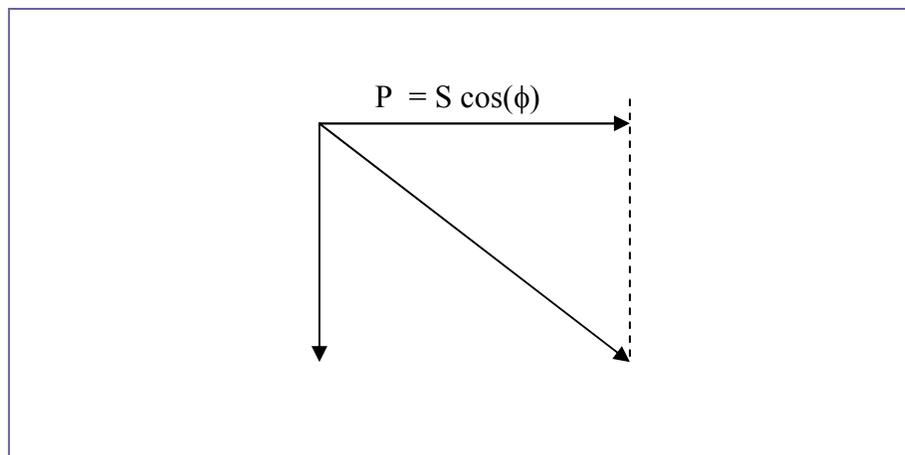
Dado que en la practica los valores eficaces de tensión y corriente son cantidades que pueden medirse con relativa facilidad, el producto VI se define como potencia aparente y se denota con la letra S :

$$S = V \cdot I \quad (2.9)$$

Las unidades de la potencia aparente S son Volt-Amperes o VA, que se utilizan para diferenciarlas de la potencia media P o potencia Activa como también se llama, que tiene por unidades vatios, Watts o W.

2.2.2.1 Potencia Compleja

La mayoría de las cargas eléctricas son de carácter inductivo, por lo que resulta conveniente considerar que esas redes consumen tanto potencia activa (P) que se disipa en las resistencias, como potencia reactiva (Q) que se intercambia entre los generadores y los campos magnéticos de las inductancias. Ver figura 2.3



$$Q = S \sin(\phi)$$

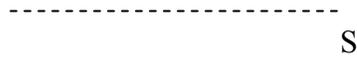


Figura 2.3 Potencia en un elemento de un circuito [3]

2.2.2.1.1 Potencia activa

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la [energía eléctrica](#) en [trabajo](#). Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, entre otras. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda.

Se designa con la letra **P** y se mide en vatios (**W**). De acuerdo con su expresión, la [ley de Ohm](#) y el triángulo de [impedancias](#):

$$P = V \cdot I \cos(\phi) = I \cdot Z \cdot I \cos(\phi) = I^2 \cdot Z \cos(\phi) = I^2 \cdot R \quad (2.10)$$

Resultado que indica que la potencia activa es debida a los elementos resistivos.

2.2.2.1.2 Potencia reactiva

Esta potencia no tiene tampoco el carácter de realmente consumida y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos, por lo que no produce trabajo útil, se mide en volt-amperios reactivos (**VAR**) y se designa con la letra **Q**.

A partir de su expresión,

$$Q = V \cdot I \cdot \text{sen}(\phi) = I \cdot Z \cdot I \cdot \text{sen}(\phi) = I^2 \cdot X \quad (2.11)$$

Lo que reafirma en que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos.

2.2.3 Perdidas Eléctricas

Las perdidas de energía se pueden clasificar según el Tipo y la Causa que la produce:

➤ **Según el tipo que la produce:**

- Pérdidas Técnicas.
- Pérdidas No Técnicas.

2.2.3.1 Pérdidas Técnicas

Se deben en general a las condiciones propias de las instalaciones, del manejo y la conducción de la energía. Están provocadas por la circulación de la corriente eléctrica a través del sistema y su magnitud depende de la característica de las redes y de la carga abastecida por ésta. Estas pérdidas se producen en todos los niveles del sistema, desde las barras de salida de las plantas de generación, hasta la llegada de los equipos de los usuarios, es decir, en los

transformadores primarios, las líneas de transmisión, subtransmisión, bajadas o acometidas a clientes y medición.

De una manera general, las pérdidas técnicas en un sistema eléctrico se pueden clasificar en: pérdidas en vacío y pérdidas en carga.

2.2.3.1.1 Pérdidas en vacío

Este tipo de pérdidas depende principalmente de la variación de la tensión más no de la demanda, y se presenta normalmente en los transformadores y las maquinas eléctricas. Estas pérdidas se deben a las corrientes de Foucault y las corrientes de histéresis producidas por las corrientes de excitación; también se incluyen en este tipo de pérdidas las que se deben al efecto corona, las mismas que se dan a niveles de voltajes más elevados.

Como en los sistemas eléctricos se tienen fluctuaciones de tensión, es frecuente considerar las pérdidas de vacío en función de la tensión y esta dada por:

$$P^j_{\phi} = P^i_{\phi} \left(\frac{V^j}{V^i} \right)^2 \quad [\text{W}] \quad (2.12)$$

Donde:

P^i_{ϕ} : Pérdidas en vacío a un valor de tensión V^i .

V^j : Valor de tensión a la cual se desea conocer las perdidas.

2.2.3.1.2 Pérdidas en carga

Se les denomina también pérdidas asociadas con la variación de la demanda. Este tipo de pérdidas son aquellas que se encuentran relacionadas con las corrientes que circulan por los elementos del sistema (efecto joule); cada componente del sistema tiene asociada una resistencia a sus características técnicas y tipo de material componente de la misma, que al combinarse con la corriente producen éstas pérdidas. En forma general la relación entre las pérdidas de potencia, la corriente y la resistencia se expresa por:

$$P_L = I^2 * r \quad [\text{W}] \quad (2.13)$$

Donde:

P_L : Pérdidas de potencia [W].

I : Corriente, que depende de la carga o demanda [A].

r : Resistencia del conductor [Ω].

La ecuación muestra que las pérdidas crecen geoméricamente con la demanda y son directamente proporcionales a la resistencia del conductor que transporta la energía.

Otra manera de clasificar las pérdidas técnicas es según la función del componente y las causa que las origine:

2.2.3.1.3 Pérdidas técnicas según la función del componente

- **Pérdidas por Transporte:** Son las que se producen en las redes y conductores que transportan la energía desde las barras de la centrales hasta el lugar de consumo.
 - En líneas de Transmisión.
 - En líneas de Subtransmisión.
 - En circuitos de Distribución Primaria.
 - En circuitos de Distribución Secundaria.

- **Pérdidas por Transformación:** Son las que se producen en los transformadores, depende de la calidad técnica de los aparatos y del factor de carga de los mismos. Entre los transformadores de potencia se pueden mencionar los de Transmisión a Subtransmisión y Subtransmisión a Distribución.
 - En Transmisión / Subtransmisión.
 - En Subtransmisión / Distribución.
 - En Transformadores de Distribución.

- **Perdidas en las Mediciones:** Son las que se producen en los equipos y aparatos de medición, incluidas las pérdidas en los elementos de transformación (transformadores de tensión y corriente) en los casos de mediciones indirectas.

2.2.3.1.4 Pérdidas técnicas según las causas que la origina

- **Pérdidas por efecto Corona:** El efecto corona se presenta cuando el potencial de un conductor en el aire se eleva hasta valores tales que sobrepasan la rigidez dieléctrica del aire que rodea al conductor. El efecto corona se manifiesta por luminiscencias azuladas que aparecen alrededor del conductor, mas o menos concentrados en las irregularidades de su superficie.

La descarga va acompañada de un sonido silbante y de olor de ozono. Si hay humedad apreciable, se produce ácido nitroso. La corona se debe a la ionización del aire. Los iones son repelidos y atraídos por el conductor a grandes velocidades, produciéndose nuevos iones por colisión. El aire ionizado resulta conductor (de alta resistencia) y aumenta el diámetro eficaz del conductor metálico.

En las líneas de transmisión, el efecto corona origina pérdidas de energía y, si alcanza cierta importancia, produce corrosiones en los conductores a causa del ácido formado.

El efecto corona es función de dos elementos: el gradiente potencial en la superficie del conductor y la rigidez dieléctrica del aire en la superficie, valor que a su vez depende de la presión atmosférica y la temperatura.

En el caso de las líneas aéreas de transmisión de energías, se ha demostrado que el fenómeno depende del radio del conductor. El valor del gradiente de potencial para el cual aparece la ionización en la superficie del conductor se llama *gradiente superficial crítico* y varios investigadores indican que vale:

$$G_o = 30(1 - 0.7r)kV / cm \text{ eficaz} \quad (2.14)$$

Donde r es el radio del conductor en cm . Existen fórmulas que suministran este valor en función de la presión barométrica y la temperatura ambiente. Pero estas fórmulas sirven para conductores de sección circular y perfectamente lisa. Los conductores de líneas aéreas están formados por varios alambres cableados y enrollados en hélice y tienen raspaduras propias de su fabricación e instalación. Esto hace aumentar el gradiente crítico, por encima de la estimaciones teóricas.

Los fenómenos descritos permiten afirmar que la superficie de un conductor libera iones de ambos signos. Como la tensión es alterna, algunos son atraídos hacia el conductor, conforme su polaridad en el momento en que se considere mientras que otros, son rechazados y se alejan hacia moléculas neutras para formar iones pesados. Los que se alejan, debido a que disminuye el gradiente. Al cambiar la polaridad del conductor se reinicia la ionización por choque.

Esta ligera descripción indica por un lado que la energía necesaria para producir la ionización y por otro la necesaria para producir los movimientos de las cargas. Las pérdidas por efecto corona por cada fase pueden determinarse de la siguiente manera:

$$P_c = \frac{20.96 \times 10^{-6} f \cdot U_f^2 \cdot F}{\text{Log}_{10} \frac{|DMG|^2}{r}} \text{ kW / km} \quad (2.15)$$

P_c = pérdidas por efecto corona en $Kw/km/fase$.

f = Frecuencia en Hz

U_f = Tensión eficaz, entre fase y neutro, en kV

DMG = distancia media geométrica entre conductores, en m

r = radio del conductor, en m

F = factor función de la relación U_f/U_0

U_0 = tensión eficaz, entre fase y neutro, en kV , que provoca la descarga

El valor de F se toma:

U_f/U_0	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5
F	0.0011	0.014	0.018	0.025	0.036	0.053	0.085	0.150	0.950

- **Pérdidas por efecto Joule:** Los electrones libres contenidos en un conductor sometido a la acción de un campo eléctrico externo no adquieren un movimiento continuo dentro del conductor, sino que sufren de constantes aceleraciones por el campo así como numerosas colisiones con los núcleos fijos en el espacio del conductor. Tales colisiones suponen una pérdida de energía cinética que poseía el electrón, la que es traspasada al núcleo de los átomos del conductor, adquiriendo este un cierto estado vibracional lo cual se traduce a nivel microscópico en un calentamiento del conductor. La cuantificación del fenómeno recién descrito esta dada por la Ley de Joule, que describe la potencia (energía por unidad de tiempo) disipada por un conductor.

- **Pérdidas por corrientes Parásitas o Histéresis:** ocurren en aquellos elementos que necesiten de flujo magnético para poder cumplir su función, tal es el caso de las máquinas eléctricas rotatorias y los transformadores eléctricos, se deben a que los cambios climáticos de la dirección de flujo magnético en el acero requieren de energía que se disipa como calor, estas son las pérdidas por Histéresis. Las corrientes “parásitas” o de Eddy son corrientes inducidas, originadas por la presencia del flujo magnético fuera del núcleo de un transformador, en el tanque del transformador.

2.2.3.2 PÉRDIDAS NO TÉCNICAS

Las pérdidas no técnicas, no constituyen una pérdida real de energía. En efecto, esta energía es utilizada por algún usuario (registrado o no) en la empresa de distribución para realizar alguna actividad. La empresa de distribución recibe solo parte o ninguna retribución por la prestación del servicio ocasionándole así una pérdida económica.

Las pérdidas no técnicas, son las calculadas como la diferencia entre las pérdidas totales de un sistema eléctrico y las pérdidas técnicas estimadas para el mismo. Para la empresa que

suministra el servicio eléctrico las pérdidas no técnicas representan una pérdida económica, ya que solo reciben parte o ninguna retribución por el valor de la energía que suministran.

Según el manual de Organización Latinoamericana De Energía (OLADE.), las pérdidas no técnicas se pueden clasificar de acuerdo con varios criterios. Entre los más convenientes para propósitos de este trabajo se encuentran los siguientes:

2.2.3.2.1 Clasificación según la causa que la produce

- Consumo de usuarios no suscriptores o contrabando: Comprende fundamentalmente la conexión directa de usuarios del servicio a una red sin haber suscrito un contrato o acuerdo con la empresa encargada de la distribución de energía. En este grupo se incluyen también aquellos usuarios que teniendo un contrato con la empresa distribuidora son desconectados de la red y se vuelven a conectar a esta sin autorización.
 - Error en la Contabilización de Energía (de suscriptores con contador).
 - Error en consumo estimado (de suscriptores sin contador).
 - Fraude o Hurto (por parte de los suscriptores).
 - Error en consumo propio de las empresas.
- **Pérdidas por robo o hurto:** El hurto de energía se puede definir como la interferencia intencional en la red de energía eléctrica, así como también aquellos que alteran la

acometida antes de llegar al medidor. Tomando en cuenta esto si se trata de usuario se le puede clasificar de la siguiente manera:

- Conexiones clandestinas: Las pérdida de energía por conexiones clandestinas son aquellas que a pesar de tener equipos de medición se conectan directamente en la red o hacen un by-pass en la acometida de tal forma que esta no sea visible, causando de esta manera pérdidas a la empresa distribuidora ya que el medidor no registra el consumo real y por tanto la facturación no es la real.
- Conexiones ilegales: Son aquellas conexiones que se realizan a las redes de distribución sin el respectivo equipo de medición y sin la previa autorización de la empresa. En la mayoría de los casos, las conexiones se realizan sin los requerimientos técnicos de seguridad y protección (fusible o breacker) para la instalación eléctrica.

Se pueden considerar varias las causas que originan las conexiones irregulares y las más importantes son:

- Sistemas de distribución altamente vulnerables, que permiten el fácil acceso de terceros.
- Recurso humano limitado para atender pérdidas no técnicas de energía.
- Ausencia de un régimen legal claro que tipifique la sustracción de energía como delito.
- Falta de apoyo de los organismos oficiales para contrarrestar la sustracción de energía.

- Costumbres de grandes sectores de la población para hurtar energía, practica que se convirtió en una modalidad generalizada.

- Dificultad para electrificar, motivado a que la gran cantidad de barrios se establecen en terrenos privados e inestables y que aun no han sido despropiados.

- Hay casos que la baja capacidad de pago, incide en que se conecten ilegalmente.

➤ **Pérdidas por administración:** Las deficiencia de gestión administrativa de una empresa distribuidora generalmente lleva a un incremento de las pérdidas no técnicas las misma que son un reflejo de:

- Organización y eficiencia empresarial.
- Recursos y esfuerzos que se dedican a la operación comercial.
- Controles y seguimientos de los procesos administrativos y de gestión de la clientela.

El departamento de facturación contribuye directa o directamente, en la disminución de las pérdidas no técnicas de energía por lo cual se debería tomar acción para disminuirlas. Estas pérdidas corresponden a la energía no registrada por problemas de gestión administrativa de la empresa distribuidora como son:

- Errores en la medición de consumo.
- Errores en los procesos administrativos del registro de los consumos.

2.2.3.2.2 Clasificación según su relación con las actividades administrativas de la empresa

- Por registro o medición deficiente del consumo.
- Por facturación incorrecta de los usuarios.

Las pérdidas de energía no técnicas son pérdidas que no se le atribuyen directamente al sistema físico del sistema distribución de energía, ya que las mismas están relacionadas con los procesos de la comercialización de energía que la empresa requiere para la venta de la misma. Existen varias causas de pérdidas no técnicas y entre las cuales tenemos:

- Errores en la cuantificación de la energía vendida.
- Conexiones de suscriptores no registrados en la red (ilegales).
- Hurto de la energía y estimación errada del consumo en suscriptores sin contador de energía.

Para poder detectar este tipo de pérdidas y clasificarlas cada una de ellas, es necesario realizar una inspección al equipo de medición, lo cual involucra determinar las condiciones de funcionamiento en las que se encuentra éste, así como también cualquier infracción existente por parte del usuario con el objetivo de que el medidor no registre el consumo real.

Se espera que todos los empleados de la empresa colaboren, predominantemente los del área comercial en función de la reducción de las pérdidas, especialmente todo lo referente a la toma de lectura, corte y reconexión de los clientes morosos, mantenimiento y reposición de redes, legalización domiciliaria y revisión de las instalaciones.

2.2.3.2.3 Naturaleza y origen de las pérdidas no técnicas

Las pérdidas no técnicas son por naturaleza, pérdidas íntimamente vinculadas con la calidad de la gestión entre la clientela y la empresa, el origen de éstas pérdidas se da en cada una de las etapas que normalmente se sigue para dar servicio al abonado y que a continuación se describen:

- **Alimentar:** Esta etapa consiste en dar servicio al cliente, las pérdidas no técnicas son originadas por las conexiones clandestinas (fraudes) y los clientes conectados sin medidor.
- **Identificar:** Se debe conocer los datos técnicos, administrativos y comerciales característicos de cada cliente, pero en ciertos casos los datos del mismo son erróneos y no se encuentran bien identificados originándose con ellos pérdidas no técnicas, como por ejemplo error en la tarifa.
- **Medir:** El consumo de cada cliente debe ser registrado sin error, pero se pueden tener mediciones en fraude, defectuosos, estimaciones de consumo erróneo etc., los cuales originan pérdidas no técnicas.
- **Facturar:** Con las mediciones que se registran del cliente se procede a la facturación de acuerdo al contrato establecido por parte del cliente, pero por razones de datos erróneos, lentitud e irregularidad en la edición y cobro de la factura, se originan estos tipos de pérdidas.
- **Cobrar:** Se debería recaudar en el plazo más corto posible la suma debida por los clientes, aquí las pérdidas no técnicas tienen su origen en la falta de pago por parte del cliente.

2.2.3.2.4 Consecuencias de las pérdidas no técnicas

- Menor disponibilidad de capacidad instalada.
- Disminución de ingresos por los consumos no facturados. Mayor pago en la compra de energía.

Estas causas dan como consecuencia lo siguiente:

- Mayor pago por el transporte de la energía por el sistema de transmisión nacional y el sistema de distribución local.
- Disminución de vida útil de la infraestructura eléctrica (redes o instalaciones) y se debe realizar inversiones tanto en renovación como en ampliaciones.
- Aumento de tarifas a los clientes.
- Menores planes de expansión y reposición.

Entre los principales factores que hacen que aumenten las pérdidas de energía en una empresa de distribución se pueden citar:

- Aumento de las tarifas, lo que provoca el incremento de la sustracción de energía, para de esta forma pagar menos.
- La situación económica de un país en determinado momento.
- La vulnerabilidad de las redes para que los clientes se conecten directamente.
- La cultura hacia la sustracción de energía arraigada en los clientes por falta de un sistema legal que minimicen lo anterior cuando la gente ve que alguien roba la energía y la empresa no le hace nada.
- La falta de inversión en comercialización.
- Compromisos ilícitos con personal de la empresa o de índole político.
- Desorden administrativo en la empresa distribuidora.

2.2.3.3 Estudio realizado por el departamento de pérdidas eléctricas de la empresa ELEVAL

En las siguiente figuras 2.4 y 2.5 se representan la disminución de las pérdidas eléctricas desde los años 1998 al 2006, mediante estrategias aplicadas como lo fueron revisión en los

sistemas de medición, colocación de los medidores de energía en la parte exterior de las viviendas entre otras, realizadas por la empresa ELEVAL.

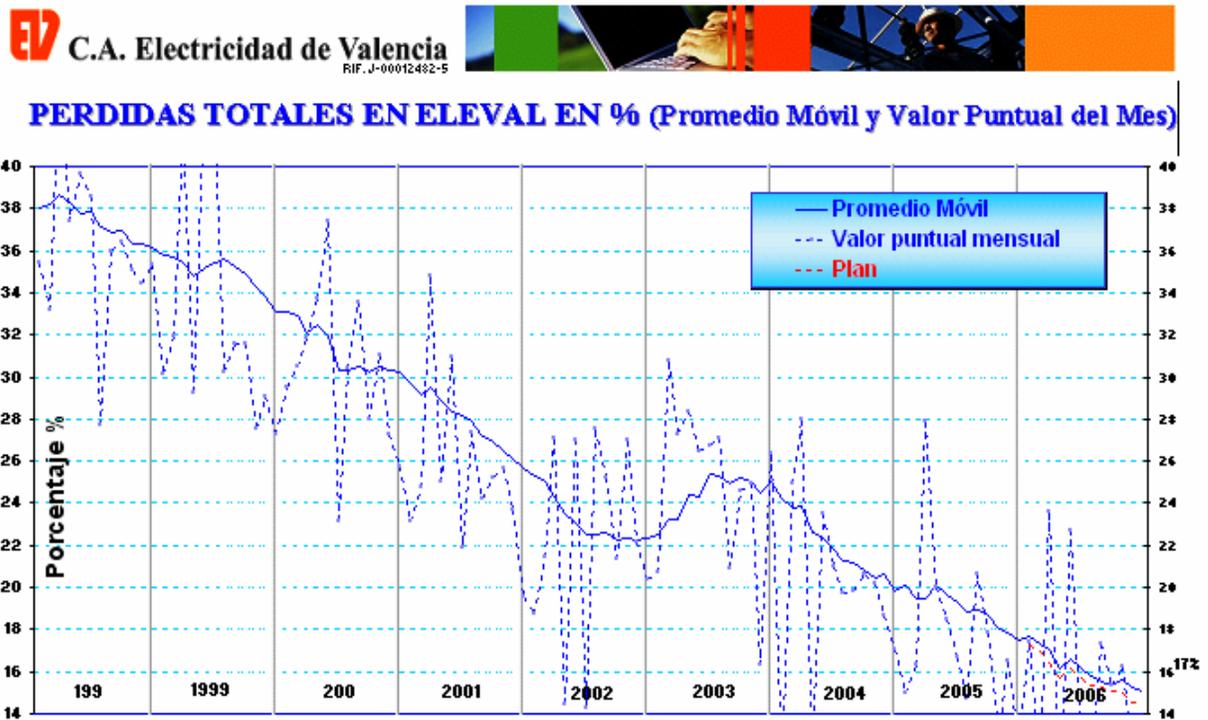


Figura 2.4 Representación grafica de la disminución de las pérdidas en ELEVAL.

Fuente: ELEVAL

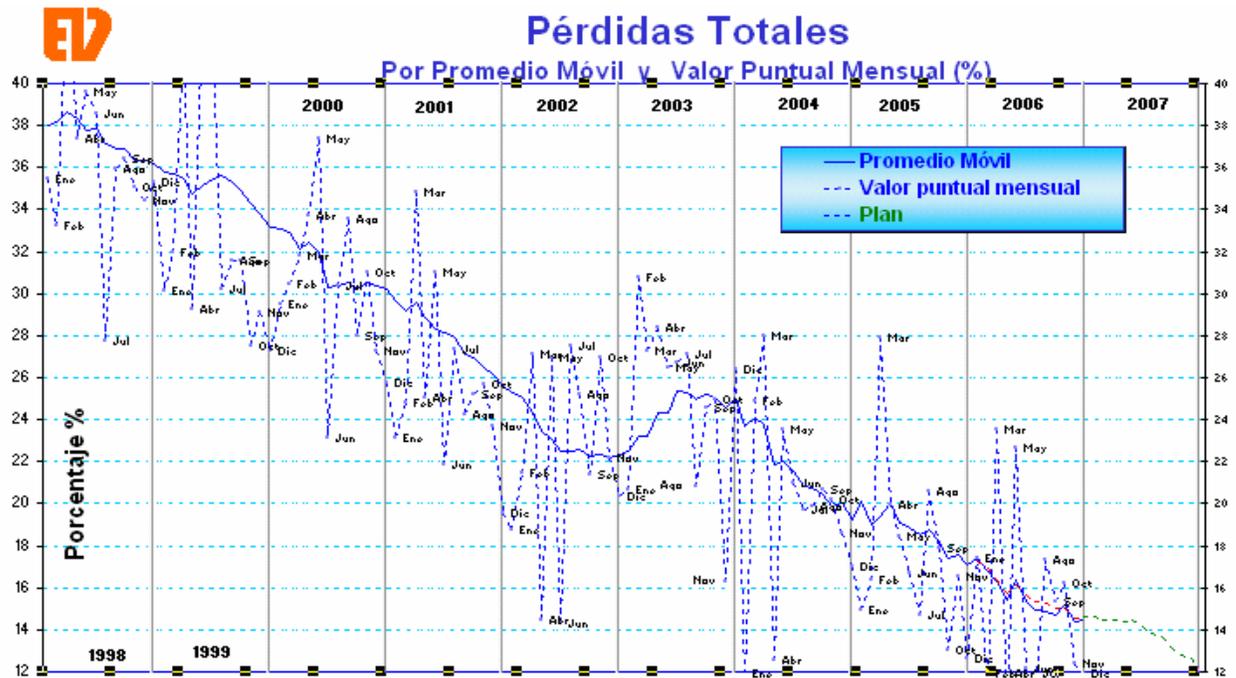


Figura 2.5 Representación grafica de la disminución de las pérdidas en ELEVAl mostrando cada mes.

Fuente: ELEVAl

2.2.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN

2.2.4.1 Características

El equipo de medición es un dispositivo que mide el consumo de energía eléctrica requerido por la industria, una vivienda o en general de todos los artefactos que por su funcionamiento requieren electricidad.

2.2.4.2 Clasificación de los medidores de energía

Los medidores de energía eléctrica, o contadores, utilizados para realizar el control del consumo, pueden clasificarse en tres grupos:

2.2.4.2.1 Medidores electromecánicos: O medidores de inducción, este medidor es un instrumento de bajo costo que puede trabajar correctamente durante largos periodos con bajo mantenimiento. Registra el consumo de energía de una carga mediante el conteo de unas vueltas de un disco giratorio de aluminio. El giro del disco es causado por la potencia que pasa a través del medidor. Ver figura 2.6

Su funcionamiento es semejante al de un motor de inducción. La bobina de corriente y el núcleo metálico sobre el que está enrollada originan un campo magnético. La bobina de voltaje y su núcleo metálico originan un campo magnético adicional. En el disco de aluminio (que se coloca para estar influenciado por ambos campos), se originan corrientes parásitas debido a la variación del campo magnético de la bobina de corriente. Esas corrientes parásitas interactúan con el campo magnético de la bobina de voltaje y se ejerce un par en el disco. Como no hay resortes de restricción, el disco continua girando mientras se alimente corriente a través del medidor. El par en el disco es proporcional al producto de $v \times i$. Así, mientras mayor sea la corriente que pasa por el medidor, más rápido girar el disco. El número de vueltas es una medida de la energía consumida por la carga. El eje en el que está montado el disco está unido a un mecanismo de engranajes ciclotrimicos, que al leer los valores se puede calcular la energía pasó a través de medidor durante el intervalo de las lecturas.

Para que la velocidad de rotación del disco permanezca proporcional a la potencia en la carga (es decir, para que el disco no continué acelerándose cuando se le aplica un par), se debe aplicar un par de freno o de retardo al disco. Los imanes permanentes colocados en la orilla del disco están diseñados para producir este par de retardo y por consiguiente se conocen como “imanes de freno”. Cuando gira el disco entre los campos magnéticos de los imanes, se origina la aparición de corrientes parásitas. Estas corrientes en si son proporcionales a la velocidad angular del disco y originan sus propios campos magnéticos. Los campos magnéticos del imán

permanente y del disco interactúan para originar un par de retardo en el disco, proporcional a la velocidad de giro. Por lo tanto, se mantiene una velocidad de rotación en el disco proporcional a la potencia en la carga.

La relación existente entre el consumo de energía y el giro del disco de un medidor electromagnético, viene dada por la constante de vatios hora del medidor, conocida como **kh** y que relaciona las revoluciones del disco del equipo de medición con el consumo de energía. Esta constante viene expresada en Wh/rev para la norma ANSI o en rev/kWh para la norma IEC, las mismas que están indicadas en la placa del equipo.

Otra de las constantes que es de gran importancia para el medidor, es la relación de la relojería (R_r). Esta constante se define como el número de vueltas del disco que se requiere para que el engranaje principal de la relojería de una vuelta; es decir complementa la constante (kh) para que al girar el disco el número necesario de vueltas para un kilovatio-hora (kWh) el medidor indique efectivamente un kWh en su relojería.



Figura 2.6 Medidores electromecánicos

2.2.4.2.1.1 Elementos principales de los medidores electromecánicos

Los componentes básicos de un equipo de medición de energía son los siguientes:

- Tapa del medidor.
- Registrador.
- Freno magnético.
- Cojinetes.
- Elemento móvil.
- Bobina de corriente.
- Bobina de tensión.
- Base.

a- Tapa del medidor

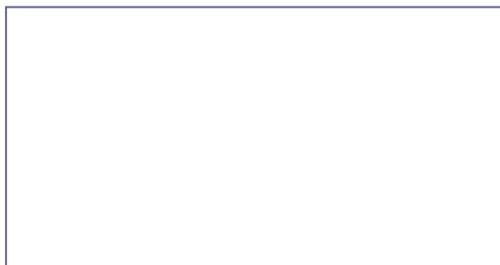
La tapa del medidor esta constituida por vidrio templado, incoloro y libre de deformaciones y porosidades, el cual es usado por su costo relativamente bajo y por su transparencia para ver el interior del medidor de una forma libre y sin dificultad. El propósito de la tapa del medidor es proteger ciertos componentes importantes del equipo de medición de las condiciones atmosféricas, del polvo y de cuerpos extraños. Sus propiedades dificultan adulterar el normal funcionamiento del contador.

b- Registrador

Su función principal es registrar la energía medida por el equipo de medición. Esencialmente indica el número total de revoluciones del elemento rotativo, cada revolución es una medida de energía.

El registro puede ser de dos tipos:

- Con punteros. Ver figura 2.7



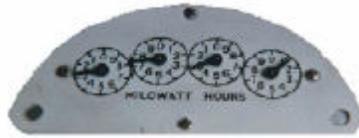


Figura 2.7 Registrador con punteros [9]

- Cicloметриcos. Ver figura 2.8



Figura 2.8 Registrador ciclometrico [9]

Ambos tipos de registro pueden estar constituidos de cuatro o cinco dígitos, así mismo la razón de engranaje entre los ejes adyacentes de los dígitos es uno a diez, tal que la energía esta indicada en los respectivos dígitos en unidades, decenas, centenas y unidad de mil kilovatio-horas. El registro es una unidad desmontable y movida por el elemento giratorio.

c- Freno magnético

Esta constituido por imanes que tienen como función principal regular la velocidad del disco para una adecuada calibración; así como, también que este sea proporcional al torque resultante de la interacción de los flujos de voltajes y corriente.

d- Cojinetes

Estos elementos están divididos en dos partes:

- El cojinete inferior, es del tipo de repulsión magnética, actúa por el efecto de repulsión entre campos magnéticos de una misma polaridad. Este efecto se manifiesta en forma de una almohadilla magnética que permite al rotor flotar, garantizando de esta forma una completa estabilidad operacional.
- El cojinete superior, esta constituido básicamente por un perno de acero inoxidable el que mantiene al elemento móvil alineado verticalmente.

e- Elemento móvil

Esta constituido por un disco y un eje, ambos están fabricados en aluminio, mejorando de esta forma las características de cargas pequeñas. En sus extremos están fijados los componentes de los cojinetes superior e inferior y en el centro esta el disco.

Ver figura 2.9



Figura 2.9 Elemento móvil [9]

f- Bobina de potencial

El objetivo principal de esta es producir un campo magnético proporcional al voltaje, razón por la cual es conectada en paralelo a la fuente del circuito.

La bobina de potencial esta constituida de un alambre aislado arrollado sobre un carrete altamente dieléctrico y montado sobre un núcleo laminado de acero-silicio para concentrar el flujo del campo. El acero laminado es utilizado para minimizar las perdidas en el núcleo. Ver figura 2.10



Figura 2.10 Bobina de potencial [9]

g- Bobina de corriente

El objetivo principal de ésta es proporcionar un campo magnético que sea proporcional a la corriente suministrada a la carga, motivo por el cual es conectada en serie (Ver figura 2.11). La corriente produce un flujo magnético la cual esta en fase con la corriente, esto es realizado obteniendo un pequeño numero de vueltas del alambre de capacidad suficiente para conducir la corriente nominal y una corriente de sobrecarga.

Las bobinas son de baja resistencia, independientes, las mismas son cubiertas con una resina epoxica para aislarlos eléctrica y mecánicamente del núcleo de hierro, el flujo que origina producen un par proporcional a la potencia eléctrica.

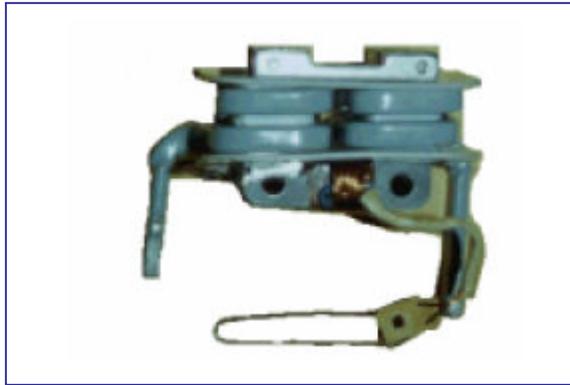


Figura 2.11 Bobina de corriente [9]

h- Base

La última parte del equipo de medición es la base, la que soporta todos los componentes del medidor, además de proporcionar un acceso desde el exterior hacia el medidor así como también instalar al equipo en el lugar deseado. Ver figura 2.12



Figura 2.12 Base [9]

2.2.4.2.2 Medidores electromecánicos con registrador electrónico: El disco giratorio del medidor de inducción se configura para generar un tren de pulsos (un valor determinado por cada rotación del disco, p.e. 5 pulsos) mediante un captador óptico que sensa marcas grabadas en su cara superior. Estos pulsos son procesados por un sistema digital el cual calcula y registra valores de energía y de demanda. El medidor y el registrador pueden estar alojados en la misma unidad o en módulos separados.

2.2.4.2.3 Medidores totalmente electrónicos: La medición de energía y el registro se realizan por medio de un proceso análogo-digital (sistema totalmente electrónico) utilizando un microprocesador y memorias. A su vez, de acuerdo a las facilidades implementadas, estos medidores se clasifican como:

- **Medidores de demanda:** Miden y almacenan la energía total y una única demanda en las 24 horas. (un solo períodos, una sola tarifa).
- **Medidores multitarifa:** Miden y almacenan energía y demanda en diferentes intervalos de tiempo de las 24 horas, a los que le corresponden diferentes tarifas (cuadrantes múltiples). Pueden registrar también la energía reactiva, factor de potencia, y parámetros especiales adicionales.

Para los pequeños consumidores, industriales y domiciliarios, se mantiene aún el uso de medidores de inducción de energía activa. Para los medianos consumidores se instalan generalmente medidores electrónicos. Para los grandes consumidores, a fin de facilitar la tarea de medición y control, el medidor permite además la supervisión a distancia vía módem (en muchas marcas incorporado al medidor).

A continuación se presentan tres maneras en cuanto a las ventajas y adelantos del uso del medidor electrónico:

1. Significativas:

Durante los últimos años las empresas de servicios públicos han venido incrementando su familiaridad con la electrónica. Todos los consumidores se pueden beneficiar indirectamente de los medidores electrónicos de energía en cuatro formas.

- a. El servicio al cliente se mejora con el uso de sistemas de lectura remota de medidores (amr) y con una eficiente administración de datos. Además de tener menores dudas sobre las facturas de los servicios públicos, los consumidores se benefician de un sistema más eficiente de distribución de energía. Los apagones se pueden detectar, identificar y corregir más rápidamente para los clientes cuyos medidores están comunicados a través de una red.
- b. Se reducen las molestias y la polución ambientales al lograr reducir el tamaño de los equipos de generación eléctrica. Se minimiza el uso durante picos a pesar del crecimiento poblacional por medio de métodos de facturación con tarificación múltiples y se mantiene la limpieza en la distribución al monitorizar la polución de la calidad energética que algunos clientes aportan al sistema.
- c. Los consumidores se pueden beneficiar de facturación más baja con el uso de medidores controlados con tarjetas inteligentes (smart cards) que reducen los costos operacionales del servicio, lectura de medidores y procesamiento de datos.
- d. Se logra un aumento en la precisión de la medición a pesar de las cargas no lineales. Los medidores electromecánicos no son capaces de medir con precisión la energía frente a populares esquemas normativos de fase a carga fija en los sistemas de distribución. La medición electrónica es más robusta y precisa bajo tales condiciones.

Los medidores electrónicos de energía han superado en funcionamiento a los medidores electromecánicos en términos de funcionalidad y utilidad, pero los costos y confiabilidad han sido cuestionados en diferentes partes del mundo. Compañías como Analog Devices que tienen una excelente reputación en el suministro de circuitos integrados tanto para las industrias militar y aeroespacial como para productos de consumo de alto volumen están muy bien posicionadas para unir la alta confiabilidad con el bajo costo que el sector ha estado esperando. Analog Devices, Inc. reconoce las limitaciones de costos de los medidores monofásicos de energía y ha identificado una oportunidad para ayudar a que fabricantes de medidores alcancen sus metas de costos, alivien sus preocupaciones por la confiabilidad y logren sus requisitos de cantidades. El sector de los servicios públicos ha estado fascinado con las historias de lectura automática de medidores (amr), prepago con tarjetas inteligentes (smart card), y facturación con multitarifa, pero la medición sigue como prioridad en las mentes progresistas de los generadores y distribuidores de energía. La inversión en manufactura, la precisión y calidad de la medición, y la cantidad de información ofrecida por la medición electrónica es indudablemente superior a la del diseño tradicional de medidor de disco.

2. Reducción en los inconvenientes de fabricación y desarrollo de los medidores electrónicos:

El uso de productos standard diseñados para la medición de energía no sólo reduce la alta inversión en fabricación asociada con los medidores electromecánicos de energía sino también eliminan la alta inversión en desarrollo de ASICs (Application Specific Integrated Circuits o Circuitos Integrados para Aplicaciones Específicas). Proveedores de productos Standard también afianzan su conocimiento al trabajar con multitudes de clientes para resolver más rápidamente los tropiezos comunes. Los fabricantes de medidores electrónicos de energía deberían considerar la precisión, los equipos, el software, los costos de desarrollo, el tiempo para llegar al mercado, y la facilidad de implementación antes de escoger sus diseños óptimos.

3. Los medidores electrónicos viables están basados en DSPs programables o de función fija.

Los primeros intentos en el diseño de medidores electrónicos de energía derivaron potencia de multiplicar corriente y voltaje en el dominio analógico, pero la linealidad con respecto a la temperatura y el tiempo produjeron resultados no superiores a los medidores electromecánicos. Los conceptos de estabilidad, linealidad y precisión ofrecidos por los sistemas de detección/corrección automática en los cálculos digitales es ya una constante en el sector de las comunicaciones. Por fin, el poder de la tecnología moderna ha llegado a las puertas de la metrología de electricidad. Productos basados en DSP (Digital Signal Processing o Procesamiento de Digital de Señal) digitalizan las señales de corriente y voltaje por medio de ADCs (analog-to-digital converters o convertidores analogo-a-digital) antes de hacer los cálculos. El procesamiento digital de las señales permite el cálculo estable y exacto por encima de las variaciones de tiempo y medio ambiente. Este procesamiento digital se puede manejar de dos formas diferentes: DSPs programables y DSPs de función fija. Las soluciones con DSPs programables ofrecen la ventaja de reconfiguración post diseño. Obviamente, la facilidad de la reconfiguración es una consideración importante para cualquier medidor electrónico pero un DSP programable no es el método más exacto o el más económico de conseguir un medidor que ofrezca la flexibilidad de la reconfiguración.

2.2.5 EMPRESAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las empresas de distribución de energía eléctrica son las encargadas de entregar y facturar la energía eléctrica a clientes residenciales, comerciales e industriales. En Venezuela existen tanto empresas publicas como privadas que se encargan de prestar este servicio a los diferentes usuarios, en el estado Carabobo una de las empresas que se encargan de la distribución y comercialización en algunos municipios es ELEVVAL.

2.2.5.1 Reseña histórica de la empresa

La C.A. ELECTRICIDAD DE VALENCIA tiene sus inicios en 1904 cuando se funda **Stelling y Compañía**, sin embargo jurídicamente nace el 29 de agosto de 1908 por iniciativa de un grupo de empresarios liderizados por el Sr. Carlos Stelling, quienes fundan una compañía anónima con el objeto de explotar energía eléctrica. En 1910 se crea la Planta Hidráulica de Aguacatal, formada por dos centrales: el Milagro y La California, las cuales poseían una potencia de 950 kVA y un sistema de transmisión de energía eléctrica en 20.000V. En la década del 30 se inaugura la planta “Dr. Ernesto Stelling”, con capacidad operativa de 15.000 kW. Posteriormente, como producto del crecimiento de la demanda de consumo eléctrico, en la década de los 50 se crea la planta Nordberg en la Zona Industrial La Quizanda (Actualmente llamada Planta del Este) con una capacidad inicial de 12,980 kW. En la década de los años 60, 70 y 80 las plantas experimentaron un proceso de modernización progresivo con la incorporación de alta tecnología que permitió elevar la capacidad de generación a 132.000 kW.

La misión de la empresa es:

“La Electricidad de Valencia es una empresa privada que genera, transmite, distribuye y comercializa energía eléctrica en armonía con el ambiente. Su propósito es garantizar a sus clientes atención y servicio de excelente calidad; a sus trabajadores bienestar y desarrollo integral bajo principios de eficiencia, honestidad y ética; a sus accionistas una justa retribución y a las comunidades mejor calidad de vida dentro de un contexto de responsabilidad social.”

Su visión es:

“Ser la empresa líder en servicios públicos en la región central del país, mediante el uso de recursos de calidad, orientada a la excelencia y a la satisfacción de los clientes.”

ELEVAL esta conformada por dos Plantas Generadoras, doce (12) Subestaciones y ocho (8) oficinas de atención comercial. Su oficina principal se encuentra ubicada en el Edificio TORRE 4, en la Av. Cedeño, y allí se encuentran localizadas la Presidencia y la Gerencia General de la empresa, donde se desarrolla sus principales actividades administrativas. Por otra parte, la sede Los Colorados se encarga de las operaciones y mantenimiento del sistema de ELEVAL, conformado por las plantas generadoras, las Subestaciones y las líneas de transmisión y distribución. Este centro de operaciones está ubicado en la calle Fernando Figueredo cruce con Guzmán Blanco en la Urb. Los Colorados, allí se encuentra ubicado el Centro de Operaciones de Electricidad (CODE) que es la unidad responsable de coordinar las operaciones y supervisar los sistemas de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica de la empresa, y actúa a través de tres fuentes potenciales de información: reclamos de servicio, información de operadores de planta y subestaciones, y cortes programados.

Las plantas generadoras lo constituyen Planta del Este y Planta Castillito, y su función es la de generar energía eléctrica mediante turbinas o unidades de generación que funciona a gas o con diesel. La empresa cuenta también con el Almacén El Bosque, que es el lugar donde se almacenan todos los equipos y materiales que se utilizan en cada una de las distintas áreas en las que incurre la empresa, tanto operativa como administrativa, y se encuentra ubicado en la Zona Industrial El Bosque.

Actualmente La Electricidad de Valencia atiende a cinco municipios del estado Carabobo: Naguanagua, San Diego, Guacara, Los Guayos y Valencia (ver figura 2.13). Así, provee servicio eléctrico oportuno y confiable a más de 120 mil clientes, distribuidos a lo largo de 240 Kilómetros cuadrados en el estado Carabobo, para lo que dispone de 15 subestaciones, 72 circuitos de distribución, 830 Km. de líneas aéreas y 122 Km. de líneas subterráneas.

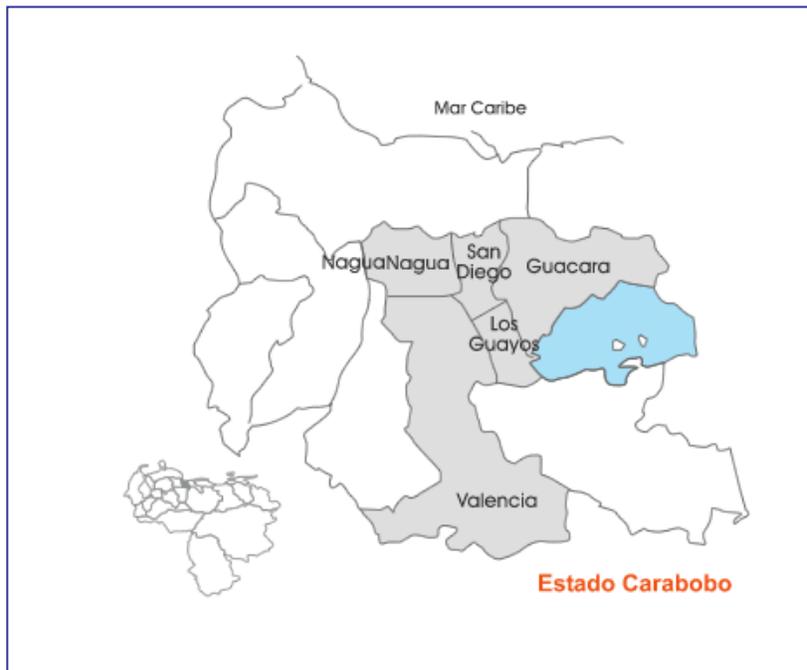


Figura 2.13 Municipios atendidos por ELEVAL

Fuente: ELEVAL

2.2.6 TARIFAS

Las tarifas son el conjunto de normas, criterios, lineamientos y acciones que se establecen para regular y fijar la cantidad de ingresos provenientes de la venta de bienes y/o servicios que produce el sector público o privado a través de sus dependencias y entidades.

Las empresas de energía eléctrica también tienen que ajustarse a las tarifas impuestas por el estado y las normas establecidas en la Ley Orgánica del Servicio Eléctrico (LOSE). ELEVAL es

una de las empresas encargadas de la distribución de la energía eléctrica y enmarcándose en lo establecido anteriormente posee las siguientes tarifas:

➤ **Tarifa 01: Servicio Residencial Social**

- Exclusivamente para el servicio permanente en 120 voltios, destinado a usos domésticos en residencias o viviendas particulares.
- Es aplicable a usuarios del Servicio Residencial Social siempre y cuando su consumo no exceda 200 kWh mensuales durante dos meses consecutivos.
- Es aplicable a usuarios sujetos a la Tarifa 02: Servicio Residencial General cuyo promedio de consumo mensual en el año calendario, calculado al término de este, sea inferior a 200 kWh.

➤ **Tarifa 02: Servicio Residencial General**

- Exclusivamente para el servicio permanente en 120/208/240 voltios, destinado a usos domésticos en residencias o viviendas particulares.
- Es aplicable a los usuarios sujetos a la Tarifa 01: Servicio Residencial Social, cuyo consumo equivalga mensualmente a más de 200 kWh durante dos meses consecutivos.
- Es aplicable a usuarios sujetos a la Tarifa 03: Servicio Residencial Alto Consumo cuyo promedio de consumo mensual durante seis (06) meses, calculado al término de este, sea inferior a 600 kWh., calculado al término de este, sea inferior a 200 kWh.

➤ **Tarifa 03: Servicio Residencial Alto Consumo**

- Exclusivamente para el servicio permanente en 120/208/240 voltios, destinado a usos domésticos en residencias o viviendas particulares.

- Es aplicable a los usuarios sujetos a la Tarifa 02: Servicio Residencial General, cuyo consumo mensual sea mayor de 600 kWh, durante dos meses consecutivos.

➤ **Tarifa 04: Servicio General 1**

- Para cualquier uso permanente del servicio de energía eléctrica que no quede comprendido en las tarifas de Servicio Residencial, con Demanda Asignada Contratada menor o igual a 50 kVA, aplicable a inmuebles con usos distintos al residencial, y donde el empleo de la electricidad tiene como objeto la realización de actividades industriales, comerciales, televisivas, radiodifusión, televisión por cable, educacionales, sociales, culturales, deportivas, recreacionales, religiosas, benéficas, administrativas, profesionales, publicitarias.

➤ **Tarifa 05: Servicio General 2**

- Para cualquier uso permanente del servicio de energía eléctrica cuya Demanda Asignada Contratada sea mayor a 50 kVA y menor o igual a 100 kVA, aplicable a inmuebles con usos distintos al residencial, y donde el empleo de la electricidad tiene como objeto la realización de actividades industriales, comerciales, televisivas, radiodifusión, televisión por cable, educacionales, sociales, culturales, deportivas, recreacionales, religiosas, benéficas, administrativas, profesionales, publicitarias.

➤ **Tarifa 06: Servicio General 3**

- Para cualquier uso permanente del servicio de energía eléctrica cuya Demanda Asignada Contratada sea mayor a 100 kVA, aplicable a inmuebles con usos distintos al residencial, y donde el empleo de la electricidad tiene como objeto la

realización de actividades industriales, comerciales, televisivas, radiodifusión, televisión por cable, educacionales, sociales, culturales, deportivas, recreacionales, religiosas, benéficas, administrativas, profesionales, publicitarias.

➤ **Tarifa 07: Alumbrado Público**

- Exclusivamente para el servicio de Alumbrado Público de las calles, autopistas, avenidas, carreteras, callejones, plazas y caminos destinados al uso público en general.

2.2.6.1 Tarifas aprobadas según Gaceta Oficial No. 37.415 del 03/04/2002 para cada tipo de servicio

TIPO DE SERVICIO	CON DERECHO A 200 kWh (Bs)	POR LOS SIGUIENTES 400 kWh (Bs/Kwh)	POR EL RESTO DEL CONSUMO (Bs/Kwh)
Residencial Social	2.504,82	99,82	99,82
Residencial General	8.987,81	51,77	90,69
Residencial Alto Consumo	10.714,11	61,73 *	88,86

Tabla 2.1 Tarifas tipo residencial

Fuente: ELEVAL

(*) Siguietes 900 Kwh

Tabla 2.2 Tarifas tipo general

Fuente: ELEVAL

TIPO DE SERVICIO	CARGO POR ENERGIA (Bs./kWh)	CARGO POR DEMANDA (Bs/kVA)	CARGO POR EXCESO DE DEMANDA (Bs/kVA)
Servicio General I	26,81	7.697,21	7.697,21
Servicio General II	26,39	7.448,47	7.448,47
Servicio General III	25,28	7.092,16	8.865,20
Alumbrado Público	59,41	-	-

- ❖ Sobre estas tarifas se aplica un **Factor de Ajuste de Precios (FAP)**, establecido en el artículo 18 de la Gaceta Oficial 37.415. Actualmente el valor a aplicar es de **1,6755**, aprobado por el Ministerio de Energía y Minas según la correspondencia DVE/075 del 22 de Marzo de 2006.
- ❖ Sobre el consumo de energía facturado aplica un **Cargo por Ajuste de Combustible y Energía (CACE)**, establecido en el artículo 19 de la Gaceta Oficial 37.415. De igual forma aplica el **Costo por Tributos Municipales** que dependerá de la tasa fijada por el Municipio donde se realice el consumo, establecido en el artículo 6 de la G.O. 37.41

2.2.7 BASES LEGALES

2.2.7.1 DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LOS USUARIOS

Ley del Servicio Eléctrico

Título IV: De los usuarios

Artículo 40. Los usuarios del servicio eléctrico nacional tienen, entre otros, los siguientes derechos:

1. Obtener el suministro de energía eléctrica de la empresa distribuidora concesionaria en el área geográfica donde estén ubicados.
2. Recibir la atención oportuna de sus reclamos, en primera instancia de empresa encargada del suministro de electricidad, en segunda instancia de la autoridad municipal, y en última instancia de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
3. Organizarse para participar en la supervisión del servicio eléctrico.
4. Exigir y recibir de las empresas eléctricas información completa, precisa y oportuna para la defensa de sus derechos.
5. Obtener, por parte de la empresa encargada del suministro de electricidad, una compensación adecuada cuando la calidad del servicio no cumpla con las normas de calidad del servicio eléctrico que dicte la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, y el resarcimiento de los daños causados por fallas en el suministro de energía eléctrica.
6. Los grandes usuarios podrán adquirir la potencia y energía eléctrica que requieran a través del Mercado Mayorista de Electricidad.
7. Los demás que establezca esta Ley y su Reglamento y la Ley de Protección al Consumidor y al Usuario.

Artículo 41. Los usuarios del servicio eléctrico nacional tienen, entre otras, las siguientes obligaciones:

1. Pagar oportunamente por el servicio eléctrico efectivamente recibido.
2. Permitir el acceso de personal, debidamente autorizado por la empresa encargada del suministro de electricidad, a los equipos de medición de potencia y energía eléctrica.
3. Los grandes usuarios deberán acatar las instrucciones que imparta el Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico.
4. Los grandes usuarios deberán registrar ante la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y el Centro Nacional de Gestión del Sistema Eléctrico todas las contrataciones realizadas con otros agentes del mercado eléctrico.

5. Pagar las contribuciones especiales anuales para el funcionamiento de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, contempladas en esta Ley.
6. Someterse al régimen de sanciones establecido en esta Ley y su Reglamento.
7. Las demás que establezca esta Ley y su Reglamento.

Las relaciones de las empresas eléctricas con sus usuarios se basan en los valores y principios establecidos en diversos instrumentos jurídicos.

2.2.7.2 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999)

- **Ley Orgánica del Servicio Eléctrico**, reformada en Gaceta Oficial No. 5.568, el 31 de diciembre 2001, y promulgada en [Gaceta Oficial 36.791](#) del 21 de septiembre de 1999.
 - Establece la necesidad de modificar, ampliar y transformar la regulación existente para promover la competencia.
 - Declara el carácter de servicio público de las actividades del sector eléctrico: generación, transmisión, distribución y comercialización, y se obtienen dos niveles del mercado que la Ley denomina Mercado Mayorista Eléctrico y Mercado con Tarifa Regulada.
 - El mercado será regulado en las actividades de transmisión y distribución, mientras que introduce formas novedosas para garantizar una verdadera, real y libre competencia en actividades de generación y comercialización.
 - La separación jurídica - contable de las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización, y una regulación más intensa que garantice a los usuarios más seguridad, calidad y precios; creará las condiciones necesarias para el desarrollo del mercado.

- **Reglamento de Ley del Servicio Eléctrico**

En [Gaceta Oficial No. 5.510](#) publicada el 14 de Diciembre de 2000, se establece el reglamento de servicio que tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Ley que rigen el servicio eléctrico en el Territorio Nacional, constituido por las actividades de generación, transmisión, gestión del Sistema Eléctrico Nacional, distribución y comercialización de potencia y energía eléctrica, así como la actuación de los agentes que intervienen en el servicio eléctrico.

➤ **Reglamento del Servicio**

En Gaceta Oficial No. 37.825, publicada el 25 de noviembre de 2003, se establecen las normas y condiciones que regirán la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica y las relaciones entre la distribuidora y sus usuarios. Este reglamento es de obligatorio cumplimiento para las empresas responsables del ejercicio de la actividad de distribución de energía eléctrica y para los usuarios del servicio eléctrico con tarifa regulada.

➤ **Tarifas eléctricas vigentes**

En Gaceta Oficial No. 37.415 publicada el 3 de abril de 2002, se fijan las tarifas máximas vigentes de ELEVAL y el resto de las Empresas Eléctricas que en ella se mencionan a los consumos de energía eléctrica que se originan a partir de la fecha de su publicación, así como sus condiciones de aplicación y la metodología para su posterior ajuste y modificación.

2.2.8 MICROCONTROLADORES

Los [microcontroladores](#) están presentes en el trabajo, en los hogares y en nuestra vida, en general. Se pueden encontrar controlando el funcionamiento de los ratones y teclados de los computadores, en los teléfonos, en los hornos [microondas](#) y los televisores de nuestro hogar, un ejemplo de un microcontrolador lo podemos ver en la figura 2-14.

2.2.8.1 Controlador y microcontrolador

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el [gobierno](#) de uno o varios [procesos](#). Por ejemplo, el controlador que regula el funcionamiento de un horno dispone de un sensor que mide constantemente su [temperatura](#) interna y, cuando traspasa los [límites](#) prefijados, genera las señales adecuadas que accionan los efectores que intentan llevar el [valor](#) de la temperatura dentro del rango estipulado.

Aunque el [concepto](#) de controlador ha permanecido invariable a través del [tiempo](#), su implementación [física](#) ha variado frecuentemente. Hace tres décadas, los controladores se construían exclusivamente con componentes de [lógica](#) discreta, posteriormente se emplearon los [microprocesadores](#), que se rodeaban con chips de [memoria](#) y E/S sobre una tarjeta de circuito impreso. En la actualidad, todos los elementos del controlador se han podido incluir en un chip, el cual recibe el nombre de microcontrolador (ver figura 2.14). Realmente consiste en un sencillo pero completo [computador](#) contenido en el [corazón](#) (chip) de un circuito integrado.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta [escala](#) de [integración](#) que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- Procesador o UCP (Unidad Central de [Proceso](#)).

- Memoria [RAM](#) para Contener los [datos](#).
- Memoria para el [programa](#) tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el [control](#) de [periféricos](#) (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el [sistema](#).

Los [productos](#) que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- Aumento de [prestaciones](#): un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el [riesgo](#) de averías y se precisan menos ajustes.
- Reducción del tamaño en el [producto](#) acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el [volumen](#), la mano de obra y los stocks.
- Mayor flexibilidad: las [características](#) de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado (embedded controller).

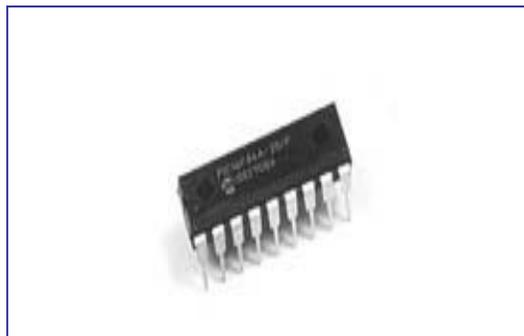


Figura 2.14 PIC Microcontrolador

2.2.8.2 Diferencia entre [microprocesador](#) y microcontrolador.

El microprocesador es un circuito integrado que contiene la Unidad Central de Proceso (UCP), también llamada [procesador](#), de un computador. La UCP está formada por la Unidad de Control, que interpreta las instrucciones, y el Camino de Datos, que las ejecuta.

Las patas de un microprocesador sacan al exterior las líneas de sus buses de direcciones, datos y control, para permitir conectarle con [la Memoria](#) y los Módulos de E/S y configurar un computador implementado por varios [circuitos integrados](#). Se dice que un microprocesador es un sistema abierto porque su configuración es variable de acuerdo con la aplicación a la que se destine. Ver figura 2.15

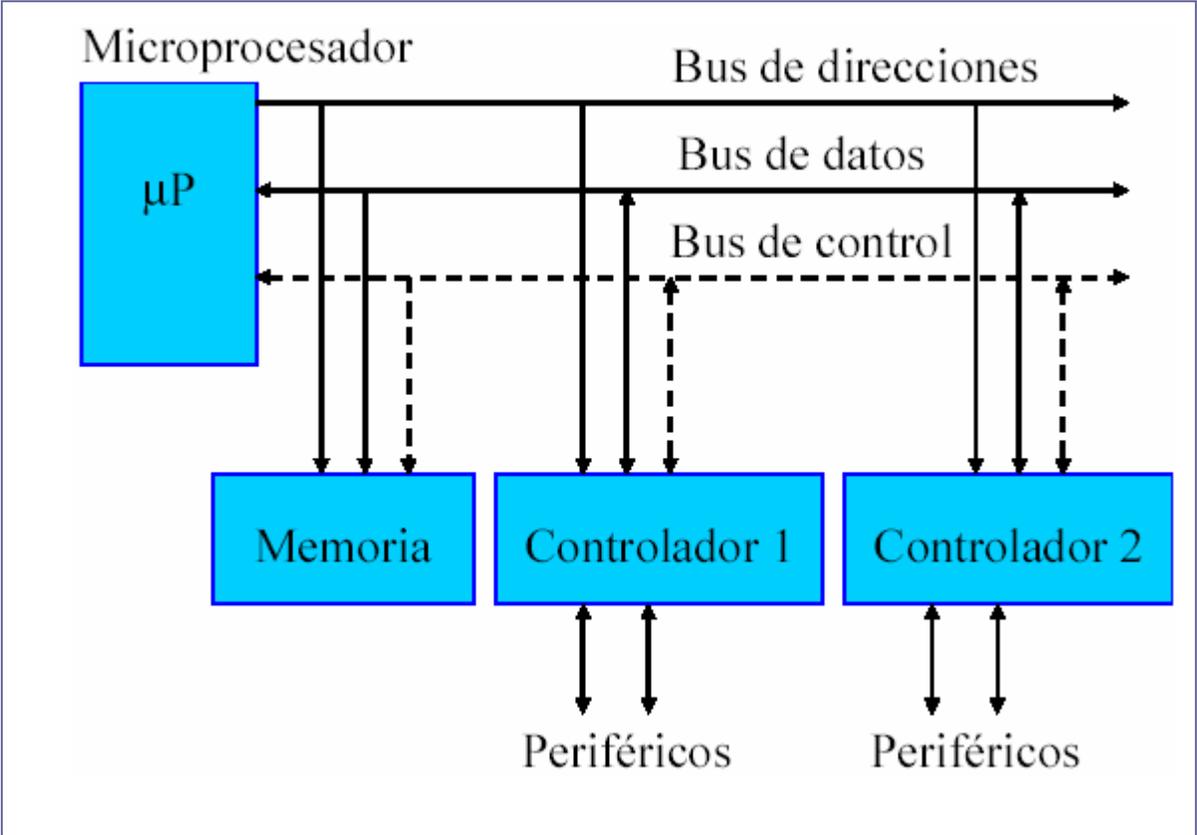


Figura 2.15 Estructura de un sistema abierto basado en un microprocesador. La disponibilidad de los buses en el exterior permite que se configure a la medida de la aplicación. [5]

Si sólo se dispusiese de un modelo de microcontrolador, éste debería tener muy sobredimensionados todos sus recursos para poderse adaptar a las exigencias de las diferentes aplicaciones. Esta sobredimensión supondría en muchos casos una subutilización del microcontrolador (ver figura 2.16). En la práctica cada fabricante de microcontroladores oferta un elevado número de modelos diferentes, desde los más sencillos hasta los más poderosos. Es posible seleccionar la capacidad de las memorias, el número de líneas de E/S, la cantidad y potencia de los elementos auxiliares, la velocidad de funcionamiento, entre otras. Por todo ello, un aspecto muy destacado del diseño es la selección del microcontrolador a utilizar.

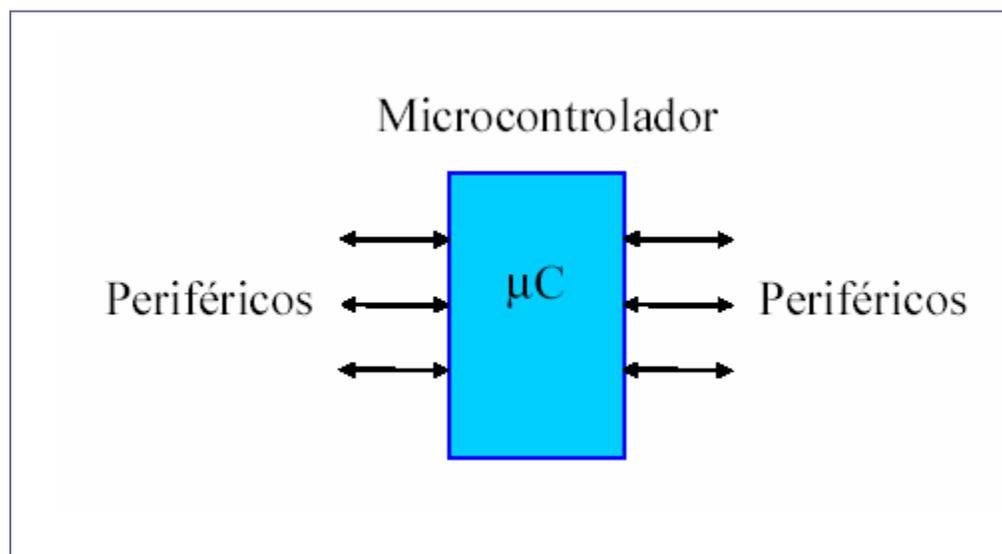


Figura 2.16 El microcontrolador es un sistema cerrado. Todas las partes del computador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos.[5]

2.2.8.3 Aplicaciones de los microcontroladores

Cada vez existen más productos que incorporan un microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, reducir su tamaño y costo, mejorar su fiabilidad y disminuir el [consumo](#).

Algunos fabricantes de microcontroladores superan el millón de unidades de un modelo determinado producidas en una semana. Este dato puede dar una idea de la masiva utilización de estos componentes.

Los microcontroladores están siendo empleados en multitud de [sistemas](#) presentes en nuestra vida diaria, como pueden ser juguetes, horno microondas, frigoríficos, televisores, [computadoras](#), [impresoras](#), módems, etc. Y otras aplicaciones con las que seguramente no estaremos tan familiarizados como [instrumentación electrónica](#), control de sistemas en una nave espacial, etc. Una aplicación típica podría emplear varios microcontroladores para controlar pequeñas partes del sistema. Estos pequeños controladores podrían comunicarse entre ellos y con un procesador central, probablemente más potente, para compartir la [información](#) y coordinar sus [acciones](#), como, de hecho, ocurre ya habitualmente en cualquier PC.

2.2.8.4 El [mercado](#) de los microcontroladores

Aunque en el mercado de la microinformática la mayor [atención](#) la tienen los desarrollos de los microprocesadores, lo cierto es que se venden cientos de microcontroladores por cada un microprocesador.

Existe una gran diversidad de microcontroladores. Quizá la clasificación más importante sea entre microcontroladores de 4, 8, 16 ó 32 bits. Aunque las prestaciones de los microcontroladores de 16 y 32 bits son superiores a los de 4 y 8 bits, la realidad es que los

microcontroladores de 8 bits dominan el mercado y los de 4 bits se resisten a desaparecer. La razón de esta tendencia es que los microcontroladores de 4 y 8 bits son apropiados para la gran mayoría de las aplicaciones, lo que hace absurdo emplear micros más potentes y consecuentemente más caros. Uno de los sectores que más se beneficia del mercado del microcontrolador es el mercado automovilístico. De hecho, algunas de las familias de microcontroladores actuales se desarrollaron pensando en este sector, siendo modificadas posteriormente para adaptarse a sistemas más genéricos. El mercado del automóvil es además uno de los más exigentes: los componentes electrónicos deben operar bajo condiciones extremas de vibraciones, choques, [ruido](#), etc. y seguir siendo fiables. El fallo de cualquier componente en un automóvil puede ser el origen de un accidente.

En cuanto a las [técnicas](#) de fabricación, cabe decir que prácticamente la totalidad de los microcontroladores actuales se fabrican con [tecnología](#) CMOS 4 (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Esta tecnología supera a las técnicas anteriores por su bajo consumo y alta inmunidad al ruido.

La [distribución](#) de las [ventas](#) según su aplicación es la siguiente:

- Una tercera parte se absorbe en las aplicaciones relacionadas con los computadores y sus periféricos.
- La cuarta parte se utiliza en las aplicaciones de consumo (electrodomésticos, [juegos](#), TV, vídeo, etc.)
- El 16% de las ventas mundiales se destinó al área de las [comunicaciones](#).
- Otro 16% fue empleado en aplicaciones industriales.

El resto de los microcontroladores vendidos en el mundo, aproximadamente un 10% fueron adquiridos por las [industrias](#) automotrices.

También los modernos microcontroladores de 32 bits van afianzando sus posiciones en el mercado, siendo las áreas de más [interés](#) el procesamiento de [imágenes](#), las comunicaciones, las aplicaciones militares, los procesos industriales y el control de los [dispositivos de almacenamiento](#) masivo de datos.

2.2.8.5 Características esenciales que hay que tomar en cuenta al seleccionar un microcontrolador

Al seleccionar el microcontrolador a emplear en un diseño [concreto](#) hay que tener en cuenta multitud de factores, como la [documentación](#) y [herramientas](#) de [desarrollo](#) disponibles y su [precio](#), la cantidad de fabricantes que lo producen y por supuesto las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, etc.):

- **Costos.** Como es lógico, los fabricantes de microcontroladores compiten por la venta de sus productos y venden 10 veces más microcontroladores que microprocesadores.

Para el fabricante que usa el microcontrolador en su producto una diferencia de precio en el microcontrolador de algunos miles de bolívares es importante (el [consumidor](#) deberá pagar además el costo del empaquetado, el de los otros componentes, el diseño del [hardware](#) y el desarrollo del [software](#)). Si el fabricante desea reducir costos debe tener en cuenta las herramientas de apoyo con que va a contar: emuladores, simuladores, ensambladores, [compiladores](#), etc. Es habitual que muchos de ellos siempre se descarten por microcontroladores pertenecientes a una única [familia](#).

- **Aplicación.** Antes de seleccionar un microcontrolador es imprescindible analizar los requisitos de la aplicación:

- **Procesamiento de datos**: Puede ser necesario que el microcontrolador realice cálculos críticos en un tiempo limitado. En ese caso se debe seleccionar un dispositivo con esas especificaciones. Por otro lado, habrá que tener en cuenta la precisión de los datos a manejar: si no es suficiente con un microcontrolador de 8 bits, puede ser necesario acudir a microcontroladores de 16 ó 32 bits, o incluso a hardware de coma flotante. Una alternativa más barata y quizá suficiente es usar librerías para manejar los datos de alta precisión.
- **Entrada Salida**: Para determinar las necesidades de Entrada/Salida del sistema es conveniente dibujar un diagrama de bloques del mismo, de tal forma que sea sencillo identificar la cantidad y tipo de señales a controlar. Una vez realizado este análisis puede ser necesario añadir periféricos hardware externos o cambiar a otro microcontrolador más adecuado a ese sistema.
- **Consumo**: Algunos productos que incorporan microcontroladores están alimentados con baterías y su funcionamiento puede ser tan vital como activar una alarma antirrobo. Lo más conveniente en un caso como éste puede ser que el microcontrolador esté en estado de bajo consumo pero que despierte ante la activación de una señal (una interrupción) y ejecute el programa adecuado para procesarla.
- **Memoria**: Para detectar las necesidades de memoria de nuestra aplicación debemos separarla en memoria volátil (RAM), memoria no volátil (ROM, EPROM, etc.) y memoria no volátil modificable (EEPROM). Este último tipo de memoria puede ser útil para incluir información específica de la aplicación como un número de serie o parámetros de calibración.

El tipo de memoria a emplear vendrá determinado por el volumen de ventas previsto del producto: de menor a mayor volumen será conveniente emplear EPROM, OTP y ROM. En cuanto a la cantidad de memoria necesaria puede ser imprescindible realizar una versión preliminar, aunque sea en pseudo-[código](#), de la aplicación y a partir de ella hacer una estimación de cuánta memoria volátil y no volátil es necesaria y si es conveniente disponer de memoria no volátil modificable.

- **Ancho de palabra:** El criterio de diseño debe ser seleccionar el microcontrolador de menor ancho de palabra que satisfaga los requerimientos de la aplicación. Usar un microcontrolador de 4 bits supondrá una reducción en los costos importante, mientras que uno de 8 bits puede ser el más adecuado si el ancho de los datos es de un byte. Los microcontroladores de 16 y 32 bits, debido a su elevado costo, deben reservarse para aplicaciones que requieran sus altas prestaciones (Entrada/Salida potente o espacio de direccionamiento muy elevado).
- **Diseño de la placa:** La selección de un microcontrolador concreto condicionará el diseño de la placa de [circuitos](#). Debe tenerse en cuenta que quizás usar un microcontrolador barato encarezca el resto de componentes del diseño.

Los microcontroladores más populares se encuentran, sin duda, entre las mejores elecciones:

- 8048 (Intel). Es el padre de los microcontroladores actuales, el primero de todos. Su precio, disponibilidad y herramientas de desarrollo hacen que todavía sea muy popular.
- 8051 (Intel y otros). Es sin duda el microcontrolador más popular. Fácil de programar, pero potente. Está bien documentado y posee cientos de variantes e incontables herramientas de desarrollo.

- 80186, 80188 y 80386 EX (Intel). Versiones en microcontrolador de los populares microprocesadores 8086 y 8088. Su principal ventaja es que permiten aprovechar las herramientas de desarrollo para PC.
- 68HC11 (Motorola y Toshiba). Es un microcontrolador de 8 bits potente y popular con gran cantidad de variantes.
- 683xx (Motorola). Surgido a partir de la popular familia 68k, a la que se incorporan algunos periféricos. Son microcontroladores de altísimas prestaciones.
- PIC (MicroChip). Familia de microcontroladores que gana popularidad día a día. Fueron los primeros microcontroladores RISC.

Es preciso resaltar en este punto que existen innumerables familias de microcontroladores, cada una de las cuales posee un gran número de variantes.

2.2.8.6 Recursos comunes a todos los microcontroladores.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferiblemente.

En este apartado se hace un recorrido de todos los recursos que se haya en todos los microcontroladores describiendo las diversas alternativas y opciones que pueden encontrarse según el modelo seleccionado.

2.2.8.7 Arquitectura básica

Aunque inicialmente todos los microcontroladores adoptaron la arquitectura clásica de von Neumann, en el momento presente se impone la arquitectura Harvard (ver figura 2.17). La arquitectura de von Neumann se caracteriza por disponer de una sola memoria principal donde se almacenan datos e instrucciones de forma indistinta. A dicha memoria se accede a través de un sistema de buses único (direcciones, datos y control).

La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes una, que contiene sólo instrucciones y otra, sólo datos. Ambas disponen de sus respectivos sistemas de buses de acceso y es posible realizar operaciones de acceso (lectura o escritura) simultáneamente en ambas memorias.

Los microcontroladores PIC responden a la arquitectura Harvard.

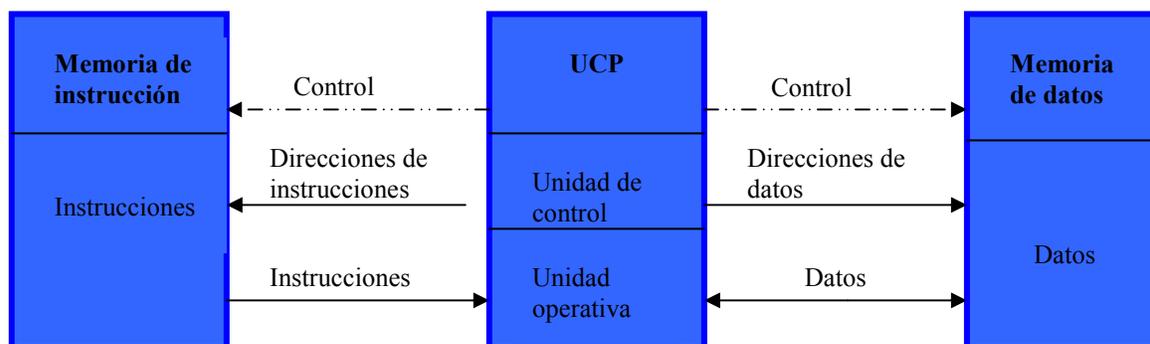


Figura 2.17 La arquitectura Harvard dispone de dos memorias independientes para datos y para instrucciones, permitiendo accesos simultáneos.[5]

2.2.8.8 El procesador o UCP

Es el elemento más importante del microcontrolador y determina sus principales características, tanto a nivel hardware como software. Se encarga de direccionar la memoria de instrucciones, recibir el código OP de la instrucción en curso, su decodificación y la ejecución de la operación que implica la instrucción, así como la búsqueda de los operandos y el [almacenamiento](#) del resultado.

Existen tres orientaciones en cuanto a la arquitectura y funcionalidad de los [procesadores](#) actuales.

CISC: Un gran número de procesadores usados en los microcontroladores están basados en la filosofía CISC (Computadores de [Juego](#) de Instrucciones Complejo). Disponen de más de 80 instrucciones máquina en su repertorio, algunas de las cuales son muy sofisticadas y potentes, requiriendo muchos ciclos para su ejecución.

Una ventaja de los procesadores CISC es que ofrecen al programador instrucciones complejas que actúan como [macros](#).

RISC: Tanto la [industria](#) de los computadores comerciales como la de los microcontroladores están decantándose hacia la filosofía RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducido). En estos procesadores el repertorio de instrucciones máquina es muy reducido y las instrucciones son simples y, generalmente, se ejecutan en un ciclo.

La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador.

SISC: En los microcontroladores destinados a aplicaciones muy concretas, el juego de instrucciones, además de ser reducido, es "específico", o sea, las instrucciones se adaptan a las necesidades de la aplicación prevista. Esta filosofía se ha bautizado con el nombre de SISC (Computadores de Juego de Instrucciones Específico).

2.2.8.9 Memoria

En los microcontroladores la memoria de instrucciones y datos está integrada en el propio chip. Una parte debe ser no volátil, tipo ROM, y se destina a contener el programa de instrucciones que gobierna la aplicación. Otra parte de memoria será tipo RAM, volátil, y se destina a guardar las [variables](#) y los datos.

Hay dos peculiaridades que diferencian a los microcontroladores de los computadores personales:

- No existen sistemas de almacenamiento masivo como [disco duro](#) o disquetes.
- Como el microcontrolador sólo se destina a una tarea en la [memoria ROM](#), sólo hay que almacenar un único programa de trabajo.

La RAM en estos dispositivos es de poca capacidad pues sólo debe contener las variables y los cambios de información que se produzcan en el transcurso del programa. Por otra parte, como sólo existe un programa activo, no se requiere guardar una copia del mismo en la RAM pues se ejecuta directamente desde la ROM.

Los usuarios de computadores personales están habituados a manejar Megabytes de memoria, pero, los diseñadores con microcontroladores trabajan con capacidades de ROM comprendidas entre 512 bytes y 8 k bytes y de RAM comprendidas entre 20 y 512 bytes.

Según el tipo de memoria ROM que dispongan los microcontroladores, la aplicación y utilización de los mismos es diferente. Se describen las cinco versiones de memoria no volátil que se pueden encontrar en los microcontroladores del mercado.

1º. ROM con máscara

Es una memoria no volátil de sólo lectura cuyo contenido se graba durante la fabricación del chip. El elevado coste del diseño de la máscara sólo hace aconsejable el [empleo](#) de los microcontroladores con este tipo de memoria cuando se precisan cantidades superiores a varios miles de unidades.

2ª. OTP

El microcontrolador contiene una memoria no volátil de sólo lectura "programable una sola vez" por el usuario. OTP (One Time Programmable). Es el usuario quien puede escribir el programa en el chip mediante un sencillo grabador controlado por un programa desde un PC.

La versión OTP es recomendable cuando es muy corto el ciclo de diseño del producto, o bien, en la [construcción](#) de prototipos y series muy pequeñas.

Tanto en este tipo de memoria como en la EPROM, se suele usar la encriptación mediante fusibles para proteger el código contenido.

3ª EPROM

Los microcontroladores que disponen de memoria EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) pueden borrarse y grabarse muchas veces. La grabación se realiza, como en el caso de los OTP, con un grabador gobernado desde un PC. Si, posteriormente, se desea borrar el contenido, disponen de una ventana de cristal en su superficie por la que se somete a la EPROM a rayos ultravioleta durante varios minutos. Las cápsulas son de material cerámico y son más caros que los microcontroladores con memoria OTP que están hechos con material [plástico](#).

4ª EEPROM

Se trata de memorias de sólo lectura, programables y borrables eléctricamente EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). Tanto la [programación](#) como el borrado, se realizan eléctricamente desde el propio grabador y bajo el control programado de un PC. Es muy [cómoda](#) y rápida la operación de grabado y la de borrado. No disponen de ventana de cristal en la superficie.

Los microcontroladores dotados de memoria EEPROM una vez instalados en el circuito, pueden grabarse y borrarse cuantas veces se quiera sin ser retirados de dicho circuito. Para ello se usan "grabadores en circuito" que confieren una gran flexibilidad y rapidez a la hora de realizar modificaciones en el programa de trabajo.

El número de veces que puede grabarse y borrarse una memoria EEPROM es finito, por lo que no es recomendable una reprogramación continua. Son muy idóneos para la [enseñanza](#) y la [Ingeniería](#) de diseño.

Se va extendiendo en los fabricantes la tendencia de incluir una pequeña zona de memoria EEPROM en los circuitos programables para guardar y modificar cómodamente una serie de parámetros que adecuan el dispositivo a las condiciones del entorno. Este tipo de memoria es relativamente lenta.

5ª FLASH

Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. Funciona como una ROM y una RAM pero consume menos y es más pequeña. A diferencia de la ROM, la memoria [FLASH](#) es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor [densidad](#) que la EEPROM.

La alternativa FLASH está recomendada frente a la EEPROM cuando se precisa gran cantidad de memoria de programa no volátil. Es más veloz y tolera más ciclos de escritura/borrado.

Las memorias EEPROM y FLASH son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del [motor](#) de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de [mantenimiento periódico](#), compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.

2.2.8.10 Puertos de Entrada y Salida

La principal [utilidad](#) de las patitas que posee la cápsula que contiene un microcontrolador es soportar las líneas de E/S que comunican al computador interno con los periféricos exteriores.

Según los controladores de periféricos que posea cada modelo de microcontrolador, las líneas de E/S se destinan a proporcionar el soporte a las señales de entrada, salida y control.

2.2.8.11 Reloj principal

Todos los microcontroladores disponen de un circuito oscilador que genera una onda cuadrada de alta frecuencia, que configura los impulsos de reloj usados en la sincronización de todas las operaciones del sistema.

Generalmente, el circuito de reloj está incorporado en el microcontrolador y sólo se necesitan unos pocos componentes exteriores para seleccionar y estabilizar la frecuencia de

trabajo. Dichos componentes suelen consistir en un cristal de cuarzo junto a elementos pasivos o bien un resonador cerámico o [una red](#) R-C.

Aumentar la frecuencia de reloj supone disminuir el tiempo en que se ejecutan las instrucciones pero lleva aparejado un incremento del consumo de energía.

2.2.8.12 Recursos especiales

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o "Timers".
- Perro guardián o "Watchdog".
- Protección ante fallo de [alimentación](#) o "Brownout".
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Conversor D/A.
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de [comunicación](#).

2.2.8.12.1 Temporizadores o "Timers"

Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores).

Para la medida de tiempos se carga un [registro](#) con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso.

Cuando se desean contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en alguna de las patitas del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando al ritmo de dichos impulsos.

2.2.8.12.2 Perro guardián o "Watchdog"

Cuando el computador [personal](#) se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. Pero un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema.

Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que refresque o inicialice al Perro guardián antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea, no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, "ladrará y ladrará" hasta provocar el reset.

2.2.8.12.3 Protección ante fallo de alimentación o "Brownout"

Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout"). Mientras el voltaje de alimentación sea

inferior al de brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

2.2.8.12.4 Estado de reposo ó de bajo consumo

Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando sumido en un profundo "sueño" el microcontrolador. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

2.2.8.12.5 Conversor A/D (CAD)

Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del circuito integrado.

2.2.8.12.6 Conversor D/A (CDA)

Transforma los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.

2.2.8.12.7 Comparador analógico

Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra.

También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

2.2.8.12.8 Modulador de anchura de impulsos o PWM

Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

2.2.8.12.9 Puertos de E/S digitales

Todos los microcontroladores destinan algunas de sus patitas a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertos.

Las líneas digitales de los Puertos pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

2.2.8.12.10 Puertos de comunicación

Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de [redes](#) y [poder](#) adaptarlos con otros elementos bajo otras [normas](#) y [protocolos](#). Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona
- Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros microprocesadores.

- USB (Universal Serial [Bus](#)), que es un moderno bus serie para los PC.
- Bus I²C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.
- CAN (Controller Área Network), para permitir la adaptación con redes de conexasión multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J1850.

2.2.8.13 Herramientas para el desarrollo de aplicaciones

Uno de los factores que más importancia tiene a la hora de seleccionar un microcontrolador entre todos los demás es el soporte tanto software como hardware de que dispone. Un buen conjunto de herramientas de desarrollo puede ser decisivo en la elección, ya que pueden suponer una ayuda inestimable en el desarrollo del [proyecto](#).

Las principales herramientas de ayuda al desarrollo de sistemas basados en microcontroladores son:

- **Desarrollo del software:** Ensamblador. La programación en [lenguaje ensamblador](#) puede resultar un tanto ardua para el principiante, pero permite desarrollar [programas](#) muy eficientes, ya que otorga al programador el [dominio](#) absoluto del sistema. Los fabricantes suelen proporcionar el programa [ensamblador](#) de forma gratuita y en cualquier caso siempre se puede encontrar una versión gratuita para los microcontroladores más populares.
- **Compilador:** La programación en un [lenguaje](#) de alto nivel (como el C ó el Basic) permite disminuir el tiempo de desarrollo de un producto. No obstante, si no se programa con cuidado, el código resultante puede ser mucho más ineficiente que el programado en ensamblador. Las versiones más potentes suelen ser muy caras, aunque para los

microcontroladores más populares pueden encontrarse versiones demo limitadas e incluso compiladores gratuitos.

- **Depuración:** Debido a que los microcontroladores van a controlar dispositivos físicos, los desarrolladores necesitan herramientas que les permitan comprobar el buen funcionamiento del microcontrolador cuando es conectado al resto de circuitos.
- **Simulador:** Son capaces de ejecutar en un PC programas realizados para el microcontrolador. Los simuladores permiten tener un control absoluto sobre la ejecución de un programa, siendo ideales para la depuración de los mismos. Su gran inconveniente es que es difícil simular la entrada y salida de datos del microcontrolador. Tampoco cuentan con los posibles ruidos en las entradas, pero, al menos, permiten el paso físico de la implementación de un modo más [seguro](#) y menos costoso, puesto que ahorraremos en grabaciones de chips para la prueba in-situ.
- **Placas de [evaluación](#):** Se trata de pequeños sistemas con un microcontrolador ya montado y que suelen conectarse a un PC desde el que se cargan los programas que se ejecutan en el microcontrolador. Las placas suelen incluir visualizadores LCD, teclados, LEDs, fácil acceso a los pines de E/S, etc. El [sistema operativo](#) de la placa recibe el nombre de programa [monitor](#). El programa monitor de algunas placas de evaluación, aparte de permitir cargar programas y datos en la memoria del microcontrolador, puede permitir en cualquier momento realizar ejecución paso a paso, monitorizar [el estado](#) del microcontrolador o modificar [los valores](#) almacenados los [registros](#) o en la memoria.
- **Emuladores en circuito:** Se trata de un instrumento que se coloca entre el PC anfitrión y el zócalo de la tarjeta de circuito impreso donde se alojará el microcontrolador definitivo. El programa es ejecutado desde el PC, pero para la tarjeta de aplicación es como si lo hiciese el mismo microcontrolador que luego irá en el zócalo. Presenta en pantalla toda la información tal y como luego sucederá cuando se coloque la cápsula.

2.2.9 Sensores

Los sensores son elementos imprescindibles en un sistema automático de movimiento o de control. Ellos cumplen con múltiples tareas: contar, controlar, reconocer, detectar, medir, etc. Los sensores se clasifican en limit switches, capacitivos, inductivos, ultrasónicos, fotoeléctricos, optoeletricos y de presión entre otros. A continuación se dará una breve explicación de algunos de ellos.

- Sensor fotoeléctrico: Es un dispositivo electrónico que reconoce los cambios de intensidad de una fuente de luz, convirtiéndolos en cambios de estado de la salida. Ver figura 2.18
- Opto sensores: Estos sensores trabajan con el mismo principio de funcionamiento que los sensores fotoeléctricos, pero en este caso, el dispositivo que emite la luz (no visible) es un diodo ubicado en un lado del optoacoplador, mientras que por el otro lado del mismo se encuentra el dispositivo que recibe dicha radiación el cual es la base de un transistor que al estar en presencia de esta señal, permite conducir la corriente del colector al emisor, indicando que no existe ningún objeto. El optoacoplador es el dispositivo que realiza la detección propiamente dicha en el opto sensor.
- Sensores inductivos: Son dispositivos capaces de detectar objetos metálicos que atraviesan su campo magnético a una cierta distancia. Este procedimiento lo realizan mediante una operación de conmutación producida eléctricamente en dichos dispositivos. Los sensores se distinguen por su gran duración. Son insensibles frente a vibraciones y poseen una gran velocidad de respuesta.

- Limit switches: En este dispositivo, el objeto que se desea detectar se desplaza y en su movimiento de avance hace contacto físico con una palanca o pistón (actuador del interruptor de posición), lo cual obliga a que unos contactos eléctricos cambien de estado.



Figura 2.18 Sensor fotoeléctrico utilizado

2.2.10 Definición de Términos

ANSI: Instituto Nacional Estadounidense de Estándares.

Campo eléctrico: Es la deformación del espacio alrededor de una región que contiene carga, creado por la presencia de ella, también al espacio donde se manifiesta la atracción o repulsión sobre otras cargas.

Campo magnético: Zona del espacio alrededor de un imán o flujo de corriente, que puede afectar a materiales ferromagnéticos.

CISC: (Complex Instruction Set Computer) Computadora con conjunto de instrucciones complejas.

Conductores: Es el material metálico (alambre o conjunto de alambre no aislado entre sí), adecuado para el transporte de la corriente eléctrica.

Contador de Energía: Equipo destinado a medir y registrar el consumo de energía eléctrica, tanto de energía aparente como de activa o reactiva.

Corrientes de Foucault: Son corrientes inducidas cuando están sometidos a un flujo variable. Estas corrientes son indeseables, puesto que calentarán el núcleo y aparecerá una pérdida de potencia en forma de calor.

Demanda: Es el promedio de la carga absorbida en los terminales de los receptores durante un determinado intervalo de tiempo adecuado y especificado.

Efecto Joule: Es el fenómeno de elevación de la temperatura de un conductor por el cual circula corriente eléctrica ya que parte de la [energía cinética](#) de los [electrones](#) se transforma en calor debido al choque que sufren con las moléculas del conductor por el que circulan.

EPROM: Es una PROM que se puede borrar. Erasable PROM (PROM "borrable"). Se la borra bajo una luz ultravioleta de alta intensidad y, luego, se puede volver a programarla.

EEPROM: (Electrically Erasable Programmable ROM, ROM programable, borrable eléctricamente). Esta conformada por un chip de almacenamiento no-volátil. Como sus contenidos pueden ser borrados y, posteriormente, se puede volver a grabar bajo control de determinados programas (software).

Flujo Magnético: Generalmente representado con la letra griega Φ , es una medida de la cantidad de [magnetismo](#), a partir de la fuerza y la extensión de un [campo magnético](#).

Fusible: Hilo o chapa metálica, fácil de fundirse, que se coloca en algunas partes de las instalaciones eléctricas, para que, cuando la corriente sea excesiva, la interrumpa fundiéndose.

Histéresis: Es el resultado de la propiedad del material de conservar su imanación o de oponerse a una variación del estado magnético.

Microcontrolador: Circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un ordenador: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado. Aunque sus prestaciones son limitadas, además de dicha integración, su característica principal es su alto nivel de especialización.

Microprocesador: Conjunto de circuitos electrónicos altamente integrado para cálculo y control computacional, es utilizado como Unidad Central de Proceso en un sistema microordenador y en otros dispositivos electrónicos complejos.

OP: Código de operación, son números binarios que representan las instrucciones de programa de un procesador y se guardan en la memoria. Los códigos de operación son leídos por el *CPU* y decodificados para determinar cuál es la instrucción que debe ejecutarse.

Pipeline: Dispositivo en los microprocesadores que agiliza el procesamiento de la información.

Prueba in situ: Pruebas que se realizan en el lugar, en el sitio.

RAM: (Random Access Memory - Memoria de Acceso Aleatorio) es el tipo de memoria basada en semiconductores, existente en un chip, en la que se puede acceder directamente a cualquier posición, sin tener que seguir una secuencia de posiciones de almacenamiento.

RISC: (Reduced Instruction Set Computer). Se trata de un tipo de procesador especialmente rápido que utiliza una tecnología del tipo pipeline muy desarrollada, lo que le faculta para operar con un alto nivel de simultaneidad. Este tipo de procesadores son lo contrario de los denominados CISC, mucho más comunes. Un ejemplo típico de esta tecnología son las estaciones de trabajo de la serie RS/6000 de IBM, que trabajan con el sistema operativo AIX, introducidas en el mercado en 1990.

ROM: Es una memoria no-volátil; es decir que los datos almacenados subsisten incluso después que se interrumpe el suministro de corriente eléctrica.

Sensor: Es un dispositivo que detecta, o *sensa* manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, color, etc.

Suscriptor: Personal natural o jurídica que se beneficia con la prestación del servicio eléctrico bien como titular de un contrato de servicio o como receptor directo del mismo, sujeta a los derechos y obligaciones que establece la ley del servicio eléctrico y su reglamento.

Tarjetas inteligentes: Sistema portador de información electrónico que usa tarjetas de plástico - del tamaño de una tarjeta de crédito - con un circuito integrado incrustado que guarda información de los procesos.

Tarifa: Un precio o un calendario de precios; también, términos y condiciones contractuales para un servicio o un grupo de servicios definidos.

Transformador: Consiste en dos devanados conductores que se ejercen inducción mutua. El primario es el devanado que recibe la potencia eléctrica, y el secundario es el que pueda entregarla a una red exterior.

Zócalo: Base para colocar el microcontrolador.

MARCO METODOLOGICO

En este capítulo se tratarán los detalles metodológicos utilizados para el desarrollo del proyecto, entre los cuales se encuentran: Tipo, Diseño, Método, Fases de la investigación y técnicas de recolección de datos.

3.1 Tipo de investigación.

El siguiente trabajo de investigación titulado “**Diseño de un equipo para indicar el consumo de energía eléctrica, en sectores de bajos ingresos, con tecnología de microcontroladores**” está enmarcado en la solución de una problemática presente en la empresa ELEVVAL, como son las pérdidas eléctricas no técnicas específicamente las generadas por la energía facturada no cancelada, es un problema factible porque es la solución posible a un problema tipo práctico, para satisfacer las necesidades de la empresa Electricidad de Valencia.

Proyecto factible consiste en “la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos”.

Según la Universidad Simón Rodríguez (1980) define un proyecto factible como:

"Un proyecto factible es una proposición sustentada en un modelo operativo factible, orientado a resolver un problema planteado o satisfacer las necesidades en una institución o campo de interés nacional". (USR 1980)"

En el siguiente estudio según el propósito de la investigación es del tipo aplicada porque es una investigación que puede implementarse para obtener un resultado práctico basándose en los estudios teóricos.

3.2 Diseño de la investigación

El siguiente estudio se basó en un diseño experimental ya como señala el autor Sugden (2005) “es una comprobación de una teoría preexistente. Dicha teoría pretende ser una representación de ciertas características del mundo. Al poner a prueba la teoría, el experimentador construye una situación de laboratorio que en algunos aspectos se parece a la teoría (y así representa el mundo en tanto que la teoría lo hace), mientras en otros aspectos representa el mundo de forma diferente, al reemplazar ciertos presupuestos de la teoría por el comportamiento de sujetos humanos autónomos.”

Utilizando la base conceptual anterior el diseño experimental, se trata de un tipo de investigación donde se hace variar la variable independiente para obtener un resultado en la variable dependiente. Este concepto se aplicó a la tarifa que existe en ELEVVAL para buscar una solución a las pérdidas no técnicas generada por la energía facturada no cancelada.

3.3 Método de la investigación.

La investigación se desarrolló con los métodos de investigación cualitativo y cuantitativo. Para los casos que implique medición de variables y evaluación de parámetros se usó el método cuantitativo por su carácter de cuantificación que permitió la utilización de procedimientos

numéricos y para la presentación de los resultados se utilizó el método cualitativo ya que se utilizaron señales visuales y auditivas para representar los resultados.

3.4 Procedimiento de la investigación

Para lograr el objetivo del proyecto, la investigación se realizó el siguiente procedimiento

Mediante una visita realizada al departamento de pérdidas no técnicas de ELEVAL autoridades de dicho departamento plantearon su inquietud ante la necesidad de disminuir las pérdidas no técnicas generadas por la energía facturada no cancelada. De esta manera, se establecieron los requerimientos para el diseño de un equipo de monitoreo que permita cumplir con las necesidades de la empresa, es decir, disminuir las pérdidas no técnicas generadas por la energía facturada no cancelada. Siendo uno de los principales requerimientos de la empresa en cuanto a las características del equipo es, que no afecte la calidad de servicio a los suscriptores.

Cabe destacar que la implementación del equipo será en zonas de bajos recursos para suscriptores con acometidas de 120 V 2 hilos, donde existe una tarifa social que consta de un consumo máximo de 200 kWh mensuales, en base a este valor será el monitoreo del consumo de la energía de los suscriptores mediante el equipo.

La construcción del equipo se realizó a través de un microcontrolador en donde se desarrolla el programa para poder enviar las señales al suscriptor, la selección del microcontrolador se efectuó en cuanto a los siguientes aspectos: bajo costo del mismo, la capacidad de memoria, la disponibilidad en el mercado y un lenguaje de programación de alto nivel como lo es el Basic.

De igual manera, se hizo una clasificación de las cargas para un cliente tipo de la zona, donde se especificó de manera numérica una aproximación del tiempo de utilización de los equipos seleccionados, dando un consumo de 200 kWh aproximadamente durante un mes (30 días) , siendo este el límite de consumo estipulado por la tarifa social. Este valor de energía estipulado por la tarifa residencial social, es el límite para que el microcontrolador envíe la señal.

Para la realización del programa que debe seguir el microcontrolador para monitorear el consumo de energía de los usuarios, se utilizó un esquema básico diseñado según las características del equipo. Luego se fueron desarrollando las distintas etapas que conforman el diseño general. Los módulos principales que conforman el equipo son:

- Alimentación
- Sensor
- Tarjeta de desarrollo SDM-ATM-28-B

Luego de haber diseñado el prototipo bajo las condiciones establecidas se realizó la metodología a seguir por la empresa para la instalación del equipo, así mismo se realizó un manual de usuario que debe ser entregado a cada suscriptor en el momento de la instalación del equipo, para que pueda entender las señales emitidas.

3.4 Técnicas de recolección de los datos

Los datos utilizados para la realización del equipo fué la tarifa que establece un consumo máximo de 200 kWh mensuales y las características del cliente, como son una alimentación de 120 V monofásico dos hilos, siendo estos facilitados por la empresa ELEVAl.

ANALISIS Y DISEÑO DEL EQUIPO

En este capítulo se explica los contenidos en cuanto al ambiente de trabajo, elementos utilizados, característica de funcionamiento del equipo, el algoritmo que seguirá el microcontrolador para realizar sus funciones, valores estimados en cuanto al uso de equipos electrodomésticos que tienen los clientes de la tarifa residencial social, tipo y valor de la constante en los medidores electromecánicos utilizados para medir la energía por parte de la empresa ELEVAL, el lenguaje de programación utilizado para el microcontrolador y un esquema de funcionamiento del equipo.

4.1 Ambiente de trabajo

El propósito del presente trabajo es diseñar un equipo que permita al usuario de tarifa residencial social tener información de la energía que esta utilizando. El equipo no deberá afectar la calidad de servicio en cuanto a la continuidad, y así el suscriptor podrá saber si está dentro de los límites estipulados por la tarifa. Esto constituirá un aporte para lograr mejor servicio prestado por parte de las empresas distribuidoras a los usuarios de tipo residencial social, debido a que se podrá disminuir las pérdidas por energía facturada no cancelada, por no tener el usuario un control del consumo.

Al usuario de tarifa residencial social que se le asigne un equipo para indicar el estado de su consumo solo podrá ser usado por este suscriptor y el equipo será colocado junto al medidor electromecánico. Este equipo no hará medición de energía eléctrica, esta seguirá siendo realizada por el medidor electromecánico.

El diseño del prototipo, se realizará en un protoboard donde se colocarán los circuitos necesarios para el funcionamiento del equipo que hará el conteo de la energía consumida, para

ello será detectado el paso de la marca en el disco del medidor y llevar la señal al microcontrolador y emitir un aviso al usuario según el estado del consumo.

4.2 Elementos Utilizados

4.2.1 Alimentación:

El consumo máximo estimado del equipo es aproximadamente 500 mW, tomando en cuenta en funcionamiento el sensor, los leds, el buzzer y el microcontrolador.

La alimentación del equipo se realizará a través de una fuente de 5 V DC, se conectara a la tarjeta SDM-ATM-28-B la cual posee un sistema de regulación de tensión a 5 V DC, desde esta salida se energizará todo elemento utilizado como lo es el sensor TCRT5000.

➤ Características de la fuente

- ❖ Modelo: EL101
- ❖ Entrada: 110 V 60 Hz
- ❖ Potencia: 5 W
- ❖ Salida: DC 5 V
- ❖ Corriente de salida: 300 mA máximo.

4.2.2 Elemento sensor:

Para detectar que el usuario está consumiendo la energía eléctrica, se utilizó un sensor óptico reflexivo que detecta el paso de la marca en el disco que existe en los medidores electromecánicos que utiliza la empresa ELEVAl, el sensor es un TCRT5000 que incluyen un emisor y un fototransistor infrarrojos en un paquete plomado que bloquee la luz visible. El sensor al detectar un cambio en la cantidad de luz recibida varía la corriente que circula entre el emisor y el colector del fototransistor (ver figura 4.1), por esta razón varía la tensión en la resistencia que esta conectada junto al colector, siendo esta la señal que se envía al microcontrolador para incrementar la variable de registro de consumo de energía.

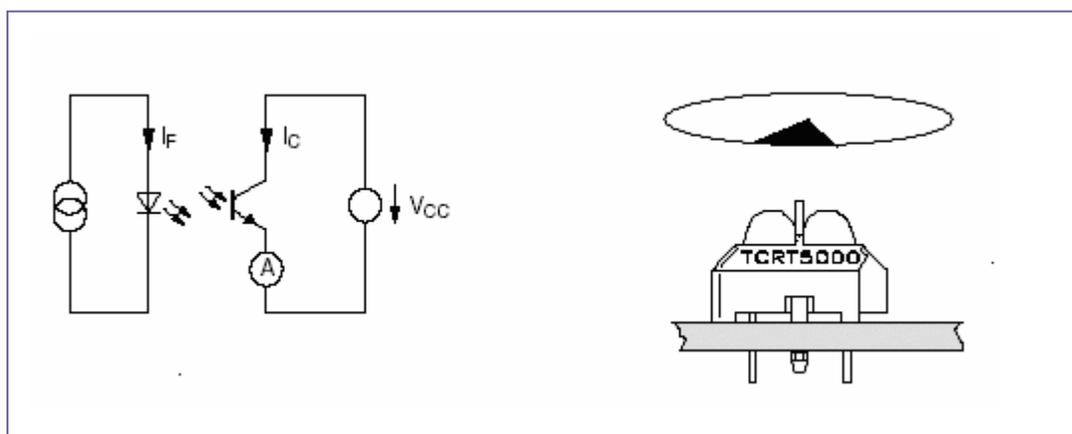


Figura 4.1 Funcionamiento teórico y real del sensor TCRT5000

El paquete incluye dos clips para montaje, las características se especifican a continuación:

➤ **Características :**

- ❖ Tipo del paquete: Plomado
- ❖ Tipo del detector: Fototransistor
- ❖ Dimensiones: L 10.2 mm x W 5.8 mm x H 7.0 mm
- ❖ Distancia de funcionamiento optimo: 2.5 mm
- ❖ Rango de operación: 0.2 mm a 15 mm
- ❖ Corriente de salida típica bajo prueba: $I_C = 1 \text{ mA}$
- ❖ El filtro bloquea luz del día
- ❖ Longitud de onda del emisor: 950 nm

En la figura 4.2 se muestra un esquema donde se muestran las partes del sensor y un esquema donde se presentan la alimentación y salida del sensor.

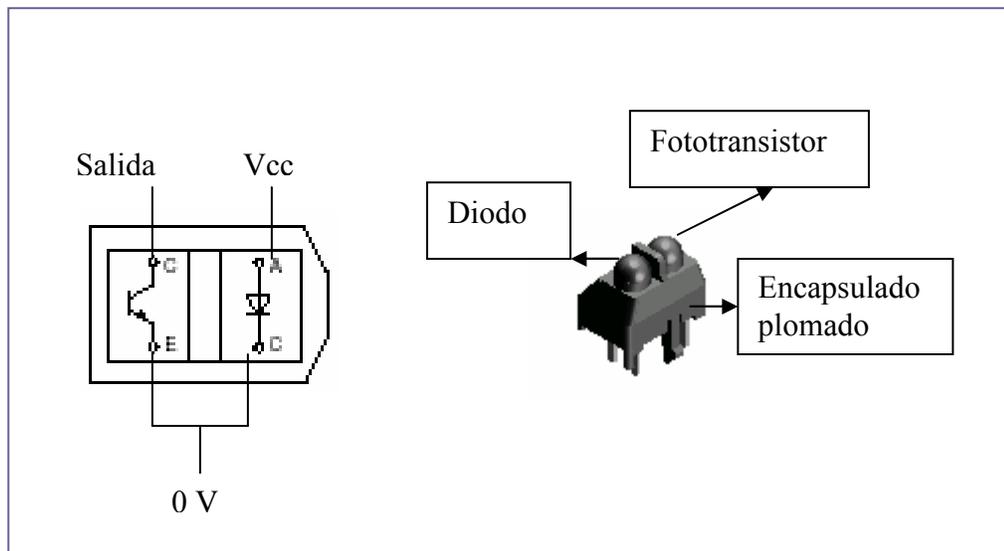
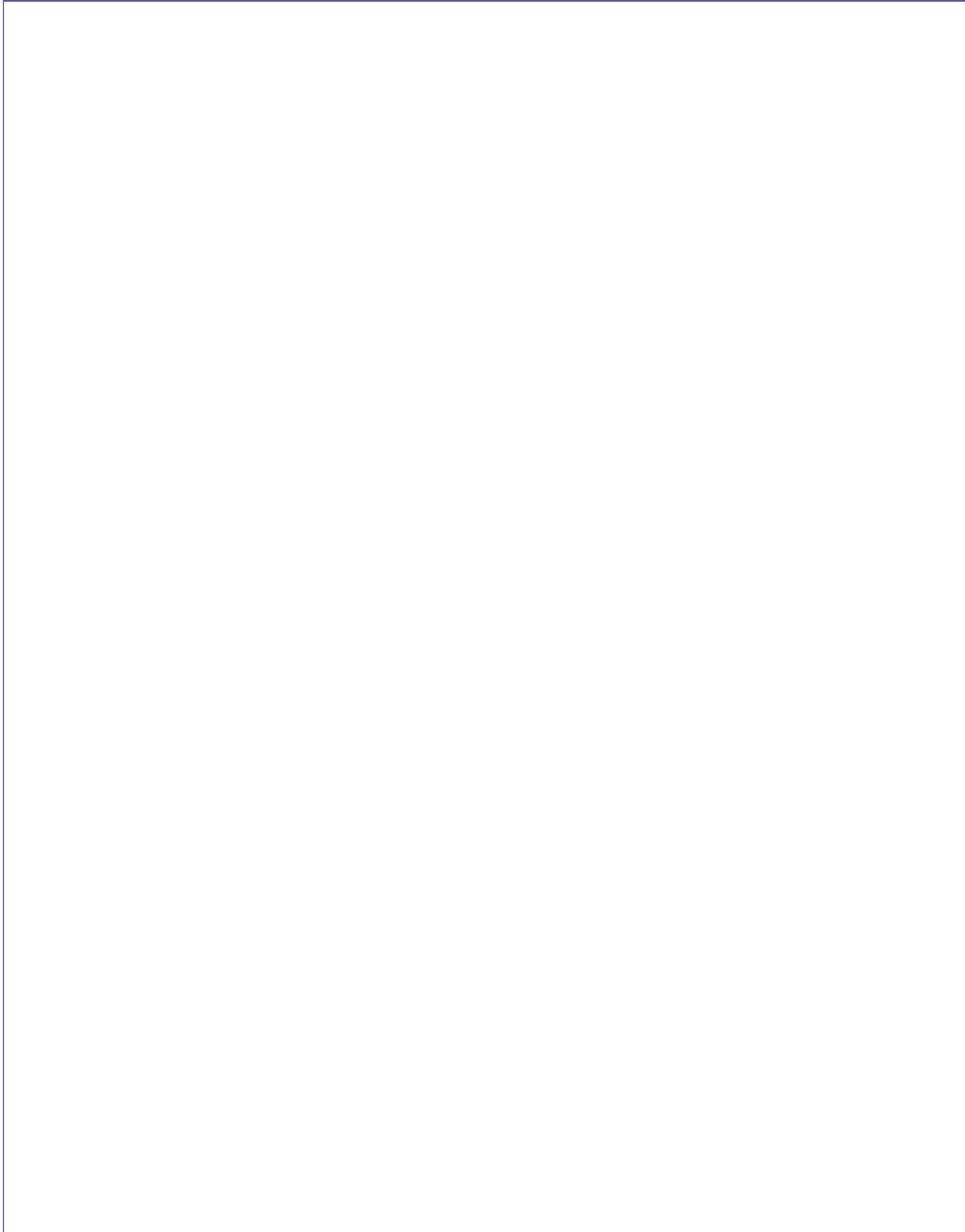
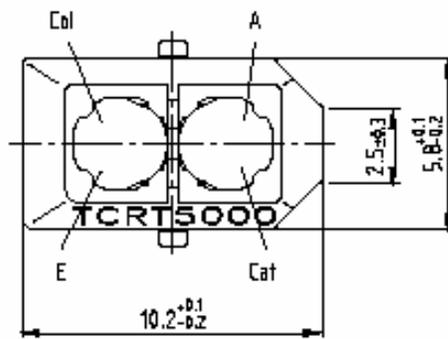
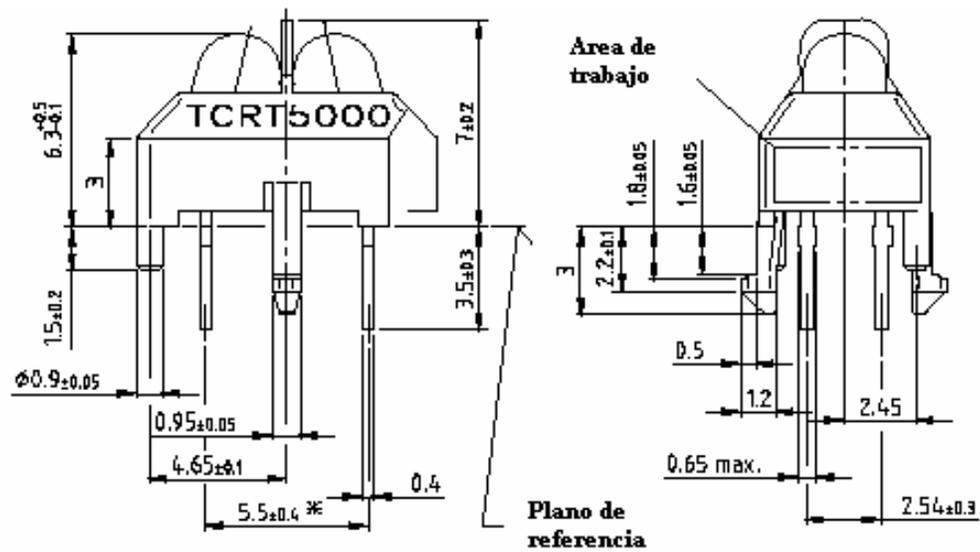


Figura 4.2 Esquema del sensor TCRT5000

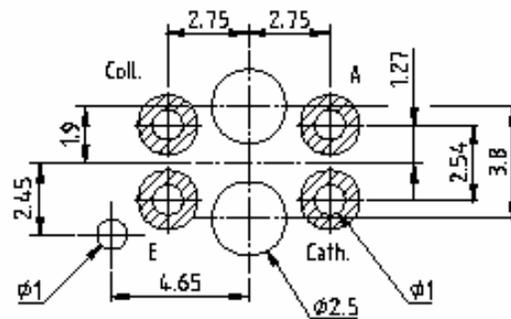
Las dimensiones del sensor TCRT5000 son presentadas en la figura 4.3, estas se muestran en distintas vistas del sensor.





Peso 0,23 g

Plano frontal



Largo: 10.2 mm
Ancho: 5.8 mm
Alto: 7 mm

Figura 4.3 Dimensiones en milímetros del Sensor TCRT5000
Fuente: Catálogo sensor TCRT5000

4.2.3 Tarjeta de desarrollo SDM-ATM-28-B

4.2.3.1 Características del sistema SDM-ATM-28-B

El sistema de desarrollo SDM-ATM-28-B, es una herramienta construida.

Entre sus características resaltantes destacan:

- Posee 16 terminales de E/S digitales disponibles, etiquetados con los nombres P00 a P15.
- Tiene 4 terminales de E/S digitales o analógicas etiquetadas con los nombres AX0 a AX3.
- Una (01) salida analógica con altavoz piezoeléctrico preconectado al pin P03.
- Interfaz de programación lista para conectar directamente al PC.
- Un Microcontrolador PIC 16F876 “ATOM” con su resonador de 20 Mhz incluido.
- Fuente de poder y regulador de 5 Vdc incluido.
- Pulsador de reset para reiniciar al microcontrolador.
- LED para indicar la alimentación del sistema.

En la figura 4.4 se muestra el esquema de la tarjeta de desarrollo SDM-ATM-28-B.

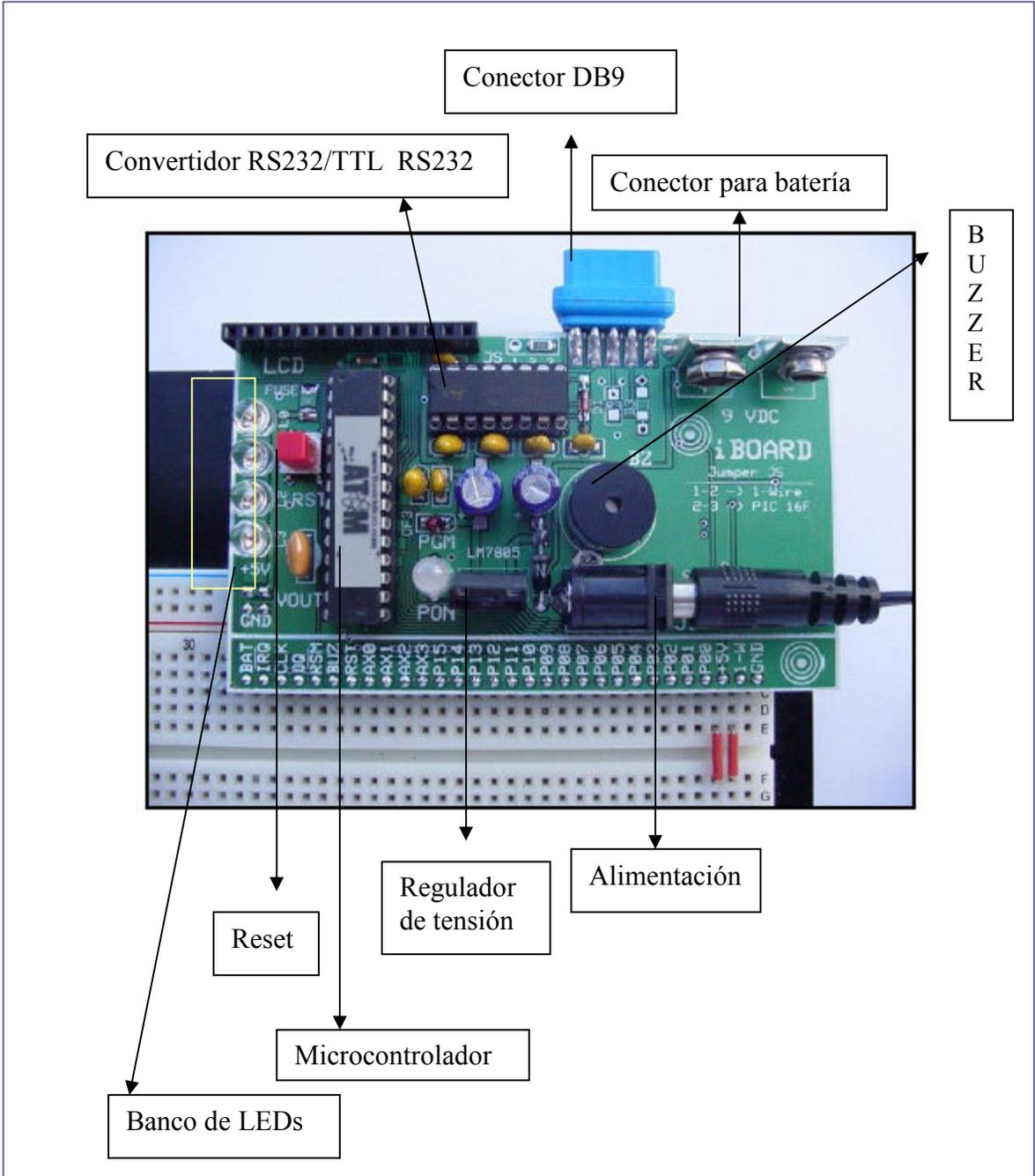


Figura 4.4. Esquema de la tarjeta SDM-ATM-28-B

4.2.3.2 Características del microcontrolador PIC 16F876 “ATOM “

Capacidades del Hardware:

- 384 bytes de memoria RAM.
- 8 k words de memoria de programa Flash re-programable.
- 256 bytes de EEPROM.
- Un (01) USART (comunicación serial).
- Dos (02) módulos CCP (Capture/Compare/PWM).
- Tres (03) Timers o temporizadores (TMR0, TMR1 y TMR2).
- Hasta ocho (08) posibles fuentes de interrupción.

4.2.3.3 Componentes del equipo

Lista de componentes

Tabla 4.1 Elementos presentes en el equipo

Cantidad	Referencia	Descripción
1	BUZZER	Altavoz piezoeléctrico
1	C1	Capacitor 0.1uf @ 25 Volt cerámico
5	C2..C5,C3F	Capacitor Tántalo 0.1uf @ 35 Volt
1	C1F	Capacitor 100uF 35 VDC
1	C2F	Capacitor 220uF 16 VDC
1	CN1	Conector DB9 Female Azul
1	CN2	Conector 0.1" x 36 pines de extensión
1	D1	Diodo rectificador rápido 1N4148
1	D1F	Diodo rectificador 1Amp 1N4007
1	F1	Fusible limitador SMD 500 ms Hold Trip 750
1	J1	Jack conector para transformador de pared 2.1mm
4	L0..L3	Led 5mm T 1 ¼ de alto brillo color rojo
1	PON/PGM	Led Bicolor 5mm T 1 3/4 difuso
1	R1	Resistencia SMD 1206 4.7 KOHM
1	R2	Resistencia SMD 1206 10. KOHM
1	R3	Resistencia SMD 1206 1 KOHM
1	R4...R7	Resistencia SMD 1206 330 OHM
1	RST	SPST N.O. Pushbutton 6 mm
1	U1	ATOM Microcontrolador DIP 28 ATOM28B-IC
1	U1F	Regulador de voltaje tipo LM7805 SMD
1	U2	ST232CT Convertidor RS232 – TTL
1	U1B	Base 28 pines DIP .3"
1	U2B	Base 16 pines DIP .3"
1	XT-1	Resonador 20 Mhz con condensador

1	RS1	Resistencia 220 OHM
1	RS2	Resistencia 10 KOHM
1	Sor	Sensor TCRT5000
1	Trnsf	Transformador 110 Vac / 5 Vdc

4.3 Características de funcionamiento del equipo.

El sensor detecta el paso de la banda negra existente en los discos de los medidores electromecánicos, al percibir un cambio en la cantidad de luz reflejada por el disco del medidor, se presenta una variación en la cantidad de corriente que circula entre el colector y el emisor. Esta corriente circula por una resistencia modificando la tensión entre sus terminales siendo esta la señal que se tomará para ser analizada posteriormente.

La señal de salida proveniente del sensor es enviada al microcontrolador y este siguiendo el algoritmo realizado incrementa el contador por cada vuelta del disco, hasta un valor máximo de 27760 el cual fue obtenido de la siguiente manera:

Se tiene información de:

- ❖ El número de vueltas por cada kWh consumido es de 138.8 vueltas según los datos del medidor marca ABB o Elster que son los medidores utilizados por ELEVAl
- ❖ El máximo estipulado por la tarifa es de 200 kWh mensuales

Por lo tanto



$$27760 \text{ vueltas} = 138.8 \text{ vueltas} * 200 \text{ kWh} \quad (4.1)$$

kWh

El contador se compara con un valor referencial, este valor no será el mismo todos los días y dependerá del día del mes como se muestra en la tabla 4.2:

Para un día:

$$27760 \text{ vueltas}/30 \text{ Días} = 925 \text{ vueltas}/\text{Días} \quad (4.2)$$

Tabla 4.2 Valor referencial para cada día

Día	Valores
1	925
2	2 * 925=1850
3	3 * 925=2775
.....
.....
30	30 * 925=27760

La cantidad de energía disponible para consumir durante un día determinado va depender de la energía consumida en los días anteriores.

El valor será calculado de la manera siguiente:

La tarifa consta de 200 kWh por mes y considerando todos los meses con 30 días, se obtendrá un consumo máximo de energía por día de:

$$\begin{aligned} \text{CM} &= 200 \text{ kWh} / 30 \text{ días} \\ \text{CM} &= 6.667 \text{ kWh} / \text{días} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Donde: CM es el consumo máximo del día

Este es el consumo máximo diario para estar dentro de la tarifa social establecida por ELEVVAL, el consumo para un día determinado depende del valor referencial menos la cantidad de energía consumida en los días anteriores. Por ejemplo, para el primer día de facturación puede consumir 6.667 kWh, en el caso que sobrepase ese máximo, el día siguiente tiene que consumir menos de el máximo para que no se active la alarma nuevamente. Por el contrario si no sobrepasa el máximo, su consumo para el siguiente día puede ser el máximo diario más lo que dejó de consumir el día anterior, es decir, no es necesario que el suscriptor consuma justo el máximo o menos que éste, solo que no sobrepase los 200 kWh durante el mes, este máximo diario de consumo de energía solo es un referente para el programa del microcontrolador y poder llevar un control del consumo.

El programa que seguirá el microcontrolador está diseñado de la forma siguiente: el microcontrolador recibe un pulso y se incrementa un contador, este contador se compara con el valor referencial, si en alguna de esas comparaciones el contador es mayor que el valor referencial se emitirá un sonido para alertar al usuario, que está en el límite del consumo y que debe restringirse un poco para los días siguientes. Este sonido será emitido solo durante 0.3 segundos y se encenderá un led color naranja señalando que el consumo es mayor al máximo establecido, este led se apagará el día siguiente y será útil para llevar un control diario.

Existe también una alarma mensual (30 días) que si el consumo total es mayor a 200kWh, se emitirá un sonido justo cuando se supere dicho valor. Este sonido será diferente al de la alarma diaria y tendrá una duración de 0.5 segundos con un encendido de un led de color rojo. Este se apagará si el siguiente mes consume menos o igual de 200kWh y podrá ser una manera de supervisión rápida por parte de la empresa para verificar si el usuario se mantuvo dentro de los parámetros de la tarifa en el mes anterior.

De igual manera existe un led de color amarillo que indica el paso de la banda negra que tiene el disco del medidor en cada vuelta, y un led de color verde que indica el funcionamiento del equipo.

En las tablas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8 se representarán ejemplos del funcionamiento del equipo para diferentes modos de consumo de energía eléctrica. En la tabla 4.3 se establecen los valores a utilizar y sus equivalentes en el funcionamiento real del equipo.

Tabla 4.3 Valores utilizados en el ejemplo y equivalentes reales

	Energía máxima para un mes (kWh)	Energía máxima para un día (kWh)	Días en un mes (días)
Valores equivalentes para el ejemplo	300	100	3

Valores reales equivalentes	200	6.667	30
-----------------------------	-----	-------	----

➤ **Ejemplo Caso 1**

Para el primer caso se especifica el comportamiento de un suscriptor que tiene un consumo menor al estipulado por la tarifa residencial social, en ningún día llega a sobrepasar el consumo por lo cual el estado de la alarma diaria y mensual se mantienen apagada en todo momento. Ver tabla 4.4

Tabla 4.4 Ejemplo de usuarios con consumo diario menor al estipulado.

Días	Consumo del día	Consumo acumulado	Consumo diferencial	Valor de comparación diario	Consumo para el siguiente día	Estado alarma diaria	Estado alarma mensual
1	80	80	20	100	120	0	0
2	70	150	50	200	150	0	0
3	110	260	40	300	----	0	0

➤ **Ejemplo Caso 2**

En el siguiente ejemplo se plantea el consumo por el suscriptor en el que el día uno sobrepasa la tarifa diaria que le corresponde, por lo cual se enciende el estado de la alarma diaria. En los días dos y tres su consumo disminuye y por lo tanto la alarma diaria vuelve a su estado normal, en este caso el consumo del día dos tiene que disminuir de tal manera que el límite diario se le reste lo sobrepasado en el día uno que activo la alarma, el estado de la alarma del mes permanece apagada porque no sobrepasó la tarifa. Ver tabla 4.5

Tabla 4.5 Ejemplo de usuarios con consumo diario excedido en algún día al estipulado.

Días	Consumo del día	Consumo acumulado	Consumo diferencial	Valor de comparación diario	Consumo para el siguiente día	Estado alarma diaria	Estado de alarma mensual
1	110	110	-10	100	90	1	0
2	80	190	10	200	110	0	0
3	50	240	60	300	---	0	0

➤ **Ejemplo Caso 3**

En esta tabla se representa el caso en que el suscriptor excede el límite diario todos los días, por lo tanto la alarma diaria se activa en todo momento y por ende el límite mensual también es excedido antes que culmine el mes, activando la alarma justo en el momento en que los 300 kWh son consumidos. Ver tabla 4.6

Tabla 4.6 Ejemplo de usuarios con consumo diario excedido todos los días del mes.

Días	Consumo del día	Consumo acumulado	Consumo diferencial	Valor de comparación diario	Consumo para el siguiente día	Estado alarma diaria	Estado de alarma mensual
1	150	150	-50	100	50	1	0
2	100	250	-50	200	50	1	0
3	150	400	-100	300	---	1	1

➤ **Ejemplo Caso 4**

En este ejemplo el límite diario es excedido el primero y segundo día del mes activando la alarma diaria, sin embargo el consumo de energía durante el día tres no sobrepasa el límite y el suscriptor logra mantenerse dentro de la tarifa ya que no se consumieron los 300 kWh estipulados para el mes. Ver tabla 4.7

Tabla 4.7 Ejemplo de usuarios con consumo diario excedido en varios días al estipulado.

Días	Consumo del día	Consumo acumulado	Consumo diferencial	Valor de comparación diario	Consumo para el siguiente día	Estado alarma diaria	Estado de alarma mensual
1	120	120	-20	100	80	1	0
2	110	230	-30	200	70	1	0
3	60	290	10	300	---	0	0

➤ **Ejemplo caso 5**

En la siguiente tabla se muestran las características de consumo de dos meses consecutivos, en el primer mes se observa que el suscriptor excede el límite durante los dos primeros días aunque en el tercer día no. El límite mensual fue sobrepasado, es por esto que la alarma mensual en el primer mes se enciende y permanece encendida en el transcurso del segundo mes, como en este segundo mes no excede los 300 kWh mensuales la alarma mensual se apaga, el suscriptor permanece dentro de la tarifa. Ver tabla 4.8

Tabla 4.8 Ejemplo de funcionamiento de alarma mensual en dos meses consecutivos con el primer mes excedido.

Mes	Días	Consumo del día	Consumo acumulado	Consumo diferencial	Valor de comparación diario	Consumo para el siguiente día	Estado alarma diaria	Estado de alarma mensual
1	1	150	150	-50	100	50	1	0
1	2	160	310	-110	200	-110	1	1
1	3	60	370	-70	300	---	0	1
2	1	80	80	20	100	120	0	1
2	2	70	150	50	200	150	0	1
2	3	100	250	50	300	---	1	0

4.4 Algoritmo realizado que seguirá el microcontrolador

El algoritmo del equipo está representado en tres partes: la primera es el programa principal donde se controla el paso de las horas, días y meses y donde se encuentran las condiciones que apaga las alarmas visuales; la segunda parte representa la interrupción de la toma de dato, donde se incrementa y se compara la variable que registra el consumo de energía eléctrica y se ordena el encendido de las alarmas; por último el controlador del tiempo donde se incrementa una variable interna que cuenta los segundos y la señal de encendido del equipo.

Las variables utilizadas significan lo siguiente:

S	: Segundo
H	: Hora
D	: Día
TC	: Tconsumo
CD	: Contador de día
CUOTAMES	: Vueltas del disco totales del mes
INCUEENT	: Incrementa cuenta
BD	: Bandera día
BM	: Bandera mes
RESETTMR1	: Valor de inicio del temporizador TRM!
P8	: Salida del microcontrolador pin 8
P12	: Salida del microcontrolador pin 12
P13	: Salida del microcontrolador pin 13

P14 : Salida del microcontrolador pin 14

P15 : Salida del microcontrolador pin 15

4.5 Programa realizado que seguirá el microcontrolador

```
'Consumo.bas
SETTMR1 TMR1INT8           'Ajustar reloj interno CON pre-escaler
ONINTERRUPT TMR1INT,Tiempos 'Nombre de la rutina de interrupción
ENABLE TMR1INT            'Habilitar interrupción del TMR1
SETEXTINT EXT_L2H        'Interrumpir en el paso de alto a bajo
ONINTERRUPT EXTINT,Sconsumo 'Cuando ocurra la int. ir a EXTINT
ENABLE EXTINT            'Habilitar la interrupción
```

```
'-----
'P0  Entrada del sensor
'P8  Salida del Buzzer
'P12 Salida del indicador de tiempo
'P13 Salida del indicador de pulso del sensor
'P14 Salida del indicador de alarma de sobreconsumo x mes
'P15 Salida del indicador de alarma de sobreconsumo x día
'-----
```

'SECCION DE VARIABLES Y CONSTANTES

```
segundos  VAR  BYTE
horas     VAR  BYTE
días      VAR  BYTE
Tconsumo  VAR  NIB
CuotaDia  VAR  NIB
CuotaMes  CON  27750
intcuent  VAR  NIB
bDia      VAR  BIT
bMes      VAR  BIT
```

Inicio:

```
segundos = 0
horas    = 0
días     = 1
Tconsumo = 0
CuotaDia = CuotaMes/30
intcuent = 0
bDia     = 0
bMes     = 0
RESETTMR1 3035
```

Principal:

```
IF segundos >= 3600 THEN           'Verifica si ya paso una
segundos = 0                       hora
horas = horas + 1
IF horas >= 23 THEN                 'Verifica si ya paso un
LOW P15                             dia
bDia = 0
horas=0
días = días + 1
CuotaDia = días * CuotaMes / 30
IF días >= 30 THEN                 'Verifica si ya paso un
IF Tconsumo < CuotaMes THEN        mes
LOW P14
ENDIF
GOTO Inicio
ENDIF
ENDIF
GOTO Principal
```

Sconsumo:

```
HIGH P13
PAUSE 200
LOW P13
Tconsumo = Tconsumo + 1           'Total de vueltas al
                                  mes
```

'Verifica si es la primera vez que hay alarma de sobreconsumo en

'el día, evitando seguir avisando hasta el comienzo de uno nuevo

```
IF bDia = 0 AND Tconsumo >= CuotaDia THEN
    bDia = 1
    HIGH p15
    SOUND P8,[300\6500]
ENDIF
```

'Tono de 4.5 Khz
durante 300 ms

'Verifica si es la primera vez que hay alarma de sobreconsumo en
'el mes, evitando seguir avisando hasta el comienzo de uno nuevo

```
IF bMes = 0 and Tconsumo >= CuotaMes THEN
    bMes = 1
    HIGH P14
    SOUND P8,[300\4500]
    SOUND P8,[200\3500]
ENDIF
```

'Tono de 4.5 Khz
durante 300 ms
'Tono de 3.5 Khz
durante 200 ms

RESUME

'-----
'El TIMER 1 cuenta hasta 65535 y manda una interrupción TMR1INT,
'cada ciclo de reloj dura 0.2uS y se tiene el Pre-escalador en 8,
'Entonces al contar 62500 ciclos, tenemos una interrupción cada 100mS

Tiempos:

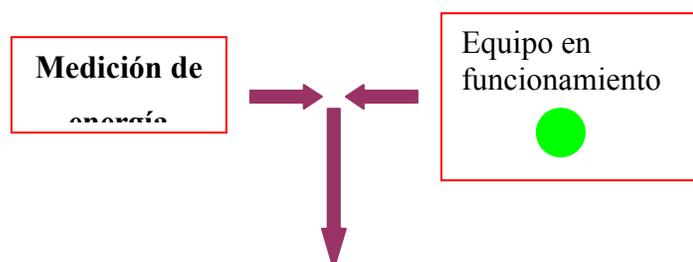
```
RESETTMR1 3035
intcuent = intcuent + 1
IF intcuent >= 10 THEN
    intcuent = 0
    segundos = segundos + 1
    HIGH P12
    PAUSE 200
    LOW P12
```

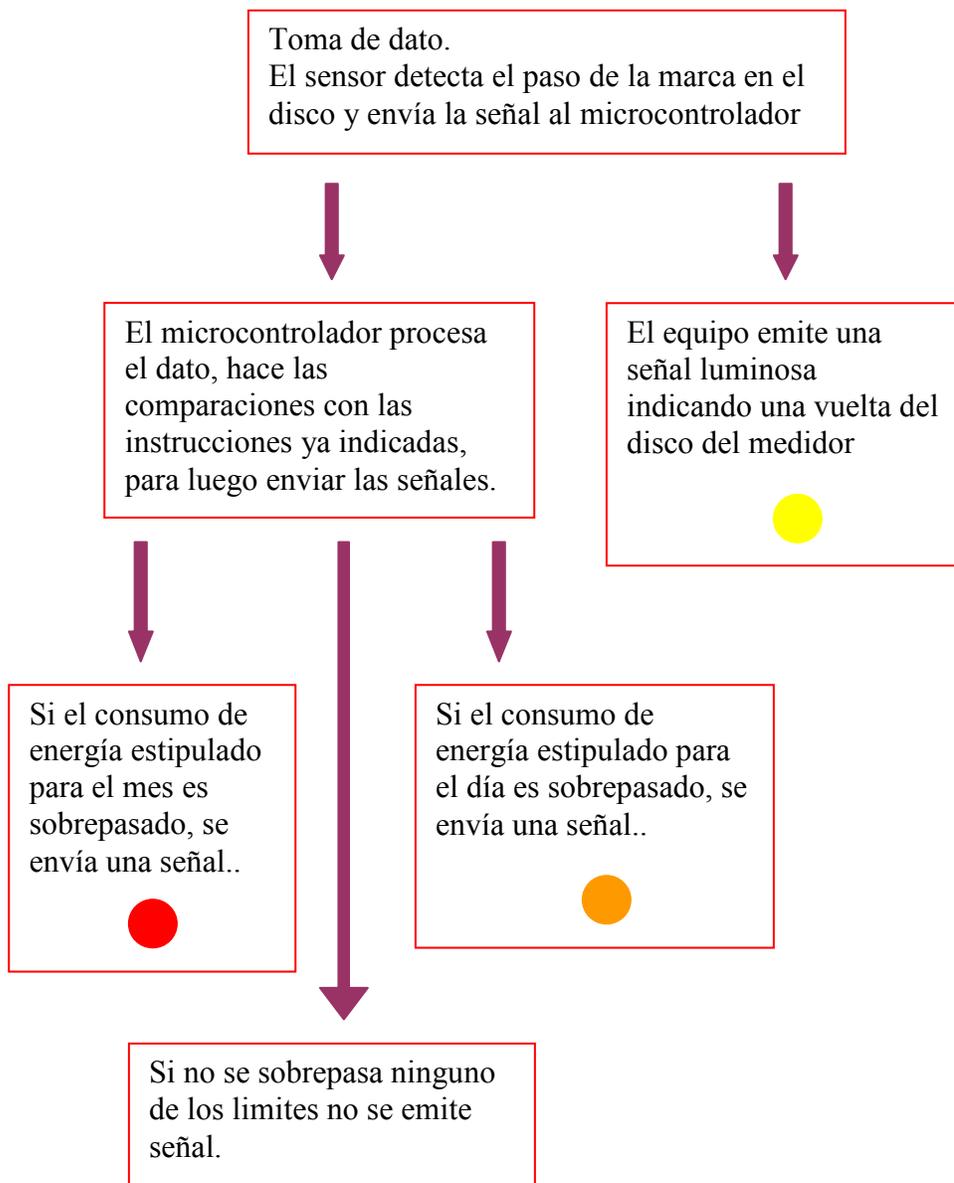
'Cuenta los segundos

```
ENDIF
RESUME
```

'-----
'FIN DEL PROGRAMA.....

4.6 Esquema de funcionamiento del equipo





4.7 Costo aproximado del equipo

Los precios presentados en la tabla 4.9 indican el valor de cada componente al detal, de esta manera se realizará un costo global para un equipo.

Tabla 4.9 Costo de los elementos del equipo al detal

Cantidad	Descripción	Precio c/u (Bs)
1	Altavoz piezoeléctrico	5600
1	Capacitor 0.1uf @ 25 Volt cerámico	400
5	Capacitor Tántalo 0.1uf @ 35 Volt	5*1500 = 7500
1	Capacitor 100uF 35 VDC	500
1	Capacitor 220uF 16 VDC	400
1	Conector DB9 Female Azul	1800
1	Conector 0.1" x 36 pines de extensión	1500
1	Diodo rectificador rápido 1N4148	50
1	Diodo rectificador 1Amp 1N4007	150
1	Fusible limitador SMD 500 ms Hold Trip 750	2000
1	Jack conector para transformador de pared 2.1mm	1500
4	Led 5mm T 1 ¼ de alto brillo color rojo	4*1200 = 4800
1	Led Bicolor 5mm T 1 3/4 difuso	400
1	Resistencia SMD 1206 4.7 KOHM	100
1	Resistencia SMD 1206 10. KOHM	100
1	Resistencia SMD 1206 1 KOHM	100
1	Resistencia SMD 1206 330 OHM	100
1	SPST N.O. Pushbutton 6 mm	1000
1	ATOM Microcontrolador DIP 28 ATOM28B-IC	54000
1	Regulador de voltaje tipo LM7805 SMD	1600
1	ST232CT Convertidor RS232 – TTL	3500
1	Base 28 pines DIP .3"	1000
1	Base 16 pines DIP .3"	500
1	Resonador 20 Mhz con condensador	2500
1	Resistencia 220 OHM	100
1	Resistencia 10 KOHM	100
1	Sensor TCRT5000	5000
1	Transformador 110 Vac / 5 Vdc	25000
1	Círculo impreso	10000
1	Cajetín del equipo	10000
1	Batería recargable	7500
	TOTAL	148800

En tal sentido, para la elaboración de 100 equipos se puede considerar una disminución en los costos de un 20 % aproximadamente, obteniendo un total de 120000 Bs. por unidad.

En el caso de obtener la tarjeta ya elaborada los costos serán los siguientes:

Tabla 4.10 Costo del equipo adquiriendo la tarjeta de desarrollo

Cantidad	Descripción	Precio (Bs)
1	Tarjeta de desarrollo	200000
4	Led's	4*400 = 1600
6	Resistencias	6*100 = 600
1	Transformador	25000
1	Sensor TCRT5000	5000
1	Cajetín del equipo	10000
1	Batería recargable	7500
	TOTAL	249700

Igualmente considerando una disminución del 20 % por la elaboración de 100 equipos, obteniendo un total de 200000 Bs. por unidad.

4.8 Valores estimados al uso de los equipos electrodomésticos que se tienen en usuarios con tarifa residencial social en la empresa ELEVAL

Según los estudios realizados el consumo de energía de algunos equipos que son utilizados en una vivienda unifamiliar de interés social y el uso aproximado recomendado que se le puede dar a los aparatos y electrodomésticos que posiblemente se encuentren en las diferentes viviendas, se muestra la siguiente tabla:

Tabla 4.11 Tiempo de uso de los equipos aproximado para mantenerse dentro de la tarifa

Lámparas y electrodomésticos	Capacidad en Watts	Cantidad	Horas de uso diario	Consumo mensual (Wh)
Nevera de 14 pies de baja eficiencia	430	1	5	64500
T.V. de 19"	94.6	1	10	28380
Plancha	1200	1	0,25	9000
Licuada	516	1	0,0833	1290
Equipo de Sonido	103.2	1	3	9288
Ventilador mediano	51.6	2	9	27864
Lavadora	860	1	0,5	12900
Lámpara Sala	60	1	3,5	6300
Lámpara comedor	60	1	3,5	6300
Lámpara Cocina	60	1	5	9000
Lámpara Cuarto 1	60	1	2,5	4500
Lámpara Cuarto 2	60	1	2,5	4500
Lámpara Baño	60	1	1,5	2700
Lámpara Patio	60	1	3,5	6300
Lámpara Porche	60	1	3,5	6300
			TOTAL	199122

Como se observa el consumo mensual es aproximado a los 200 kWh que especifica la tarifa.

Para determinar el consumo aproximado se aplico la siguiente fórmula:



$$E = (P * Ch)/1000 \quad (4.4)$$

Donde:

E: Consumo aproximado en kWh

P: Valor promedio de consumo en watts

Ch: Tiempo de consumo en horas

4.9 Tipo y constante de los medidores utilizado por ELEVAl para medir el consumo de energía eléctrica en residencias.

El medidor utilizado según datos aportados por la empresa es del tipo electromecánico de marca ABB o Elster de 138,8 revoluciones/kWh.

4.10 Lenguaje utilizado para el microcontrolador en la elaboración del programa

Se utilizó el Basic como lenguaje para enviar el conjunto de comandos al microcontrolador para la ejecución del programa, este lenguaje es de alto nivel y por lo tanto fácil de comprender y de manejar para realizar infinitudes de aplicaciones utilizando los microcontroladores.

4.11 Indicaciones de uso del equipo realizado

El equipo que se desarrollo llevará el conteo de la energía consumida por los usuarios de clientes que estén en tarifa residencial social, es por ello que se colocarán en los medidores de energía marca ABB o Elster de dichos usuarios cuya constante sea de 138.8 rev/kWh; se contabilizará a partir de que se active el dispositivo durante 30 días consecutivamente, se recomienda poner en funcionamiento el equipo el primer día de facturación.

El dispositivo tendrá un led que indica el funcionamiento, este encenderá cada segundo, además posee los led que nos indican cuando pasa el consumo establecido por la tarifa.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Es posible controlar el consumo de energía eléctrica en los suscriptores de tarifa residencial social, mediante el empleo de un microcontrolador obteniendo una señal visual y auditiva que informe al cliente que sobrepaso lo estipulado por la tarifa, sin afectar la calidad del servicio eléctrico.
- En éste proyecto se muestra otra forma de cómo con el microcontrolador avanza la tecnología para facilitar actividades comunes, a un bajo costo y espacio.
- Con la implementación de éste equipo se disminuirán las conexiones ilegales, daños a equipos de medición y hurto de energía eléctrica, gracias a estas disminuciones el servicio prestado por las empresas de distribución de energía eléctrica será de mejor calidad en cuanto a la continuidad de servicio, niveles de tensión y frecuencia.
- Por medio de esta estrategia, el usuario podrá tener control del consumo de energía eléctrica, es posible disminuir las perdidas no técnicas que tiene la empresa de suministro, debido al pago oportuno de los suscriptores.
- Es posible crear una concientización al suscriptor en cuanto al uso racional de la energía eléctrica por medio de formatos que indiquen el tiempo de uso de equipos, creando buenos hábitos y costumbres en cuanto al uso de la energía eléctrica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Este equipo puede ser utilizado con otros tipos de medidores electromecánicos, con otras tarifas tanto residenciales como industriales, solo sería necesario ingresar al programa en el microcontrolador y cambiar la constante que relaciona las revoluciones del disco por energía consumida del nuevo medidor y colocar la franja negra en lugar correcto.
- Existe la posibilidad de buscar más aplicaciones en el microcontrolador para disminuir el consumo de energía en el suscriptor.
- Hacer un estudio y realizar una data en cuanto a las pérdidas de energía, tanto técnicas como no técnicas que tiene la empresa ELEVAL y clasificarlas.
- Reportar cualquier eventualidad al departamento de pérdidas no técnicas de ELEVAL, observadas por el personal de la empresa o usuarios, sobre conexiones ilegales, hurto de energía, etc.
- Premiar a los suscriptores que lleven un pago oportuno de las tarifas como parte de las estrategias utilizada por la empresa.
- Organización por parte de la empresa de eventos donde se imparta la importancia y orientación respecto al uso racional de la energía eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] **MENDEZ, Carlos;** (2001), Metodología. Diseño y desarrollo del proceso de la investigación, Mc Graw Hill, Tercera Edición
- [2] **WOLF, Stanley y Smith Richard;** Guía para mediciones electrónicas, Pretince-Hall Hispanoamericana, S. A.
- [3] **BARAN Bogdan y Rosales Francisco;** (1995),Análisis de redes en régimen permanente, Universidad de Carabobo.
- [4] **DORF Richard y Svoboda James;** Circuitos eléctricos, Alfaomega, Quinta Edición.
- [5] **ANGULO José y Angulo Ignacio;**(1999), Microcontroladores PIC, Segunda Edición, Mc Graw Hill,.
- [6] **ROSERO, José,** “Diseño y revisión de metodología de pérdidas técnicas de energía en redes de baja tensión. Caso C.A. Electricidad de Valencia”, Universidad de Carabobo. Año 2002.
- [7] **MOO FUNG, Rosa y otros,** “Desarrollo de una metodología para el calculo de las pérdidas técnicas de energía en sistemas de distribución”, Universidad de Carabobo. Año 1996.
- [8] **BOLÍVAR, Julio y Salinas Numa,** “Aplicaciones prácticas para reducir perdidas por consumo ilegal en una empresa de distribución”, Universidad de Carabobo. Año 1990.
- [9] **SÁNCHEZ, Whimper y Morales Cléber,** “Identificación y control de pérdidas de energía en el sistema de distribución secundaria”, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Guayaquil Ecuador. Año 2000.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Electricidad de Valencia ELEVVAL <http://www.eleval.com/elevalweb/default.asp>
(Consulta Agosto 2006)

Luz y Fuerza del Centro Ahorro de Energía <http://www.lfc.gob.mx/ahorro.htm>
(Consulta Agosto 2006)

C. A. Energía Eléctrica de Barquisimeto ENELBAR
<http://www.enelbar.com.ve/seccion.asp?pid=1&sid=420&pregid=40> (Consulta Agosto 2006)

Electriahorro
http://electriahorro.com/HTML/Pages/Secondary/EA_VzlaGeneracionFS.html?EA_VzlaGeneracion.html~mainFrame
(Consulta Agosto 2006)

Diccionario de la real academia española <http://www.rae.es/> (Consulta Agosto 2006)

Universidad Nacional del Sur - departamento de ingeniería eléctrica y de computadoras
<http://www.ingelec.uns.edu.ar/lmei2773/docs/LME1-NC15-Medidas-Contraste%20de%20ME.PDF#search=%22medidor%20de%20energia%20electronicos%22>
(Consulta Agosto 2006)

Ley orgánica del servicio eléctrico, Gaceta Oficial N° 5.568 Extraordinaria de fecha 31 de diciembre del 2001
<http://www.mipunto.com/venezuelavirtual/leyesdevenezuela/leyesorganicas/leyorganicadelservicoelectrico.html>
(Consulta Agosto 2006)

Oficina de operación de sistemas interconectados de Venezuela (OP SIS)
<http://opsis.org.ve/home2.html>
(Consulta Junio 2007)