



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CD. MADERO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE  
DEMANDA MÁXIMA”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

PRESENTA

**ING. JUAN LUIS SILVESTRE PALACIOS TRINIDAD**

ASESOR:

**M.C. AARÓN GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**

CD. MADERO, TAMPS; MÉXICO.

FEBRERO 2008



**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CD. MADERO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE  
DEMANDA MÁXIMA”**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

PRESENTA

**ING. JUAN LUIS SILVESTRE PALACIOS TRINIDAD**

MIEMBROS DEL JURADO:

|                    |   |
|--------------------|---|
| <b>PRESIDENTE:</b> | <b>M.C. AARÓN GONZÁLEZ RODRÍGUEZ.</b>       |
| <b>SECRETARIO:</b> | <b>M.C. HERMENEGILDO CISNEROS VILLEGAS.</b> |
| <b>VOCAL:</b>      | <b>M.C. GASTÓN HERNÁNDEZ MARTÍNEZ.</b>      |
| <b>SUPLENTE:</b>   | <b>M.C. EDUARDO NACÚ SALAS CABRERA.</b>     |

CD. MADERO, TAMPS; MÉXICO.

FEBRERO 2008



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO

Cd. Madero, Tam. a 24/Enero/2008

Área: Posgrado  
Nº oficio: U2.004/08  
Asunto: Autorización de Impresión de tesis

**C. ING. JUAN LUIS SILVESTRE PALACIOS TRINIDAD**  
Presente.

Me es grato comunicarle que después de la revisión realizada por el Jurado designado para su examen de grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, se acordó autorizar la impresión de su tesis titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE DEMANDA MÁXIMA”**

Es muy satisfactorio para la División de Estudios de Posgrado e Investigación compartir con Usted el logro de esta meta. Espero que continúe con éxito su desarrollo profesional y dedique su experiencia e inteligencia en beneficio de México.

Atentamente  
**“POR MI PATRIA Y POR MI BIEN”**

*Ma. Yolanda Chávez Cinco*  
**M.P. María Yolanda Chávez Cinco**  
Jefa de la División



**S.E.P.**  
DIVISION DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E  
INVESTIGACION  
ITCM

MYCHC 'HCV' cerc\*

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONTROLADOR DE DEMANDA MÁXIMA.**

Ing. Juan Luis Silvestre Palacios Trinidad.

## **Resumen**

El siguiente trabajo de investigación muestra el diseño y la construcción de un controlador de demanda máxima digital, el cual tendrá la función de monitorear en todo momento la potencia eléctrica dentro de un proceso, con el fin de que dicha potencia no se incremente mas de lo previamente establecido por el usuario.

Cuando la demanda de potencia eléctrica se incrementa tendiendo a rebasar el límite previamente establecido, el controlador entra en funcionamiento automáticamente procediendo a la desconexión de cargas que no son prioritarias o que no son necesarias en ese momento, con esto se da la oportunidad a que otro tipo de cargas de mayor prioridad sigan en funcionamiento.

La finalidad es poder tener el control sobre tres cargas las cuales serán desconectadas en base a una tabla de prioridades, dichas prioridades serán determinadas por el usuario y con ello evitar la multa por exceso de demanda.

Además el poder conectar el medidor al controlador de demanda, hace aún más atractivo la realización de esta investigación, ya que esta ventaja hace que el controlador mida los mismos pulsos que el medidor proporcionado por CFE, y con esto no se tendrá ningún error entre las lecturas haciendo aun mas factible la incorporación de el controlador en el proceso productivo de una industria.

# **CONSTRUCTION AND DESIGN OF A MAXIMUM DEMAND CONTROLLER.**

Ing. Juan Luis Silvestre Palacios Trinidad.

## **Abstract**

The next investigation work shows the design and construction of a Digital Maximum Demand Controller, which it will have the function of monitoring at all time the electric power inside a process, in order the above mentioned the power doesn't increase more of the set up by the person.

When the demand of electric power increases tending to exceed the limit previous set up, the controller is in function automatically proceeding to the disconnection of loads that aren't priority or that aren't necessary in the moment.

The aim is to be able to have the control over three electric load which will be disconnected in basis to a priority table, these will be determinate by the person and therefore to avoid the fine by a demand excess.

In addition can connected the measuring to demand controller, it make more attractive the investigation, this advantage make that the controller measure the same pulses that it measure of CFE, so it won't have any mistake between the reading doing more feasible the inclusion of the controller in the productive process on industry.

# Contenido

|   | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| Resumen.....  | i             |
| Abstract.....   | ii            |
| Lista de Figuras.....                                   | vii           |
| Lista de Tablas.....                                    | x             |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 1: Introducción</b>                         | <b>1</b>      |
| <br>  |               |
| 1.1. INTRODUCCIÓN.....                                  | 2             |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                    | 3             |
| 1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....                     | 4             |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN.....                                 | 12            |
| 1.5. HIPÓTESIS.....                                     | 13            |
| 1.6. OBJETIVO.....                                      | 14            |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 2: La Demanda Eléctrica</b>                 | <b>15</b>     |
| <br>  |               |
| 2.1. LA DEMANDA Y EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA.....   | 22            |
| 2.1.1. Censos de carga.....                             | 22            |
| 2.1.2. Obtención de datos históricos.....               | 26            |
| 2.1.3. Mediciones y graficas del perfil de demanda..... | 30            |
| 2.1.4. Procesos de fabricación.....                     | 31            |
| 2.1.5. Determinación de los índices energéticos.....    | 31            |

|   | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| <b>Capítulo 3: Costos de la Energía, Facturación y Tarifas Eléctricas</b> | <b>32</b>     |
| 3.1. ESTRUCTURA DE TARIFAS.....   | 34            |
| 3.1.1. Cargos por demanda máxima.....                                     | 34            |
| 3.1.2. Cargos por energía consumida.....                                  | 35            |
| 3.1.3. Cargos por bajo factor de potencia.....                            | 35            |
| 3.2. FACTOR DE CARGA.....   | 35            |
| 3.3. FACTOR DE POTENCIA.....  | 36            |
| 3.3.1. Causas y consecuencias del bajo factor de potencia.....            | 38            |
| 3.3.2. Cargos por factor de potencia.....                                 | 40            |
| 3.4. TARIFAS ELÉCTRICAS.....  | 41            |
| 3.5. FUNCIONES DE LAS TARIFAS.....  | 54            |
| 3.5.1. Función financiera.....  | 54            |
| 3.5.2. Función económica.....   | 54            |
| 3.5.3. Función política y social.....                                     | 56            |
| 3.6. ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA TARIFA.....                        | 57            |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 4: Control de la demanda</b>                                  | <b>59</b>     |
| 4.1. ¿QUÉ ES LA DEMANDA MAXIMA?.....                                      | 60            |
| 4.2. PROBLEMAS IDENTIFICADAS.....   | 61            |
| 4.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL.....  | 63            |
| 4.3.1. Método preventivo.....   | 63            |
| 4.3.2. Método predictivo.....   | 63            |
| 4.3.3. Prioridad de cargas.....   | 65            |
| 4.4. SISTEMAS DE CONTROL DE DEMANDA.....                                  | 67            |

|  | <i>Página</i> |
|--|---------------|
| 4.4.1. Controles manuales de encendido y apagado.....                    | 68            |
| 4.4.2. Controles automáticos programables e inteligentes.....            | 70            |
| 4.4.2.1. <i>Controles automáticos programables</i> .....                 | 70            |
| 4.4.2.2. <i>Sistemas de control inteligentes</i> .....                   | 71            |
| 4.4.3. Características de los equipos de control automático.....         | 72            |
| 4.4.4. Operación de los equipos de control automático.....               | 74            |
| 4.5. METODOS DE OPERACIÓN DE UN CONTROLADOR.....                         | 76            |
| 4.5.1. Método de carga instantánea.....                                  | 76            |
| 4.5.2. Método de proyección de la curva de demanda.....                  | 77            |
| 4.5.2.1. <i>Técnica de la pendiente de la curva</i> .....                | 78            |
| 4.5.2.2. <i>Técnica de la ecuación cuadrática</i> .....                  | 79            |
| 4.5.3. Método de la demanda acumulada.....                               | 79            |
| 4.6. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LIMITAR LA DEMANDA<br>ELÉCTRICA..... | 81            |
| 4.6.1. Termoalmacenaje.....  | 81            |
| 4.6.2. Autoabastecimiento.....   | 83            |
| 4.6.3. Cogeneración.....   | 83            |
| <br><b>Capítulo 5: Desarrollo del proyecto</b>                           | <br>87        |
| 5.1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROTOTIPO.....                               | 88            |
| 5.2. DISPOSITIVOS EXTERNOS.....  | 88            |
| 5.2.1. El medidor.....   | 89            |
| 5.2.2. Reloj de tiempo real con comunicación I <sup>2</sup> C.....       | 90            |
| 5.2.2.1. <i>Descripción general</i> .....                                | 90            |
| 5.2.2.2. <i>Características</i> .....                                    | 91            |
| 5.2.2.3. <i>Descripción de terminales</i> .....                          | 93            |

|   | <i>Página</i> |
|---|---------------|
| 5.3. ETAPA DIGITAL.....   | 94            |
| 5.3.1. ¿Qué es un microcontrolador? .....                               | 97            |
| 5.3.2. Microcontrolador ATMEGA 32.....                                  | 101           |
| 5.3.2.1. Descripción.....   | 101           |
| 5.3.2.2. Descripción de terminales.....                                 | 105           |
| 5.3.3. Funciones alternativas de los puertos.....                       | 107           |
| 5.3.3.1. Puerto A.....  | 107           |
| 5.3.3.2. Puerto B.....  | 108           |
| 5.3.3.3. Puerto C.....  | 108           |
| 5.3.3.4. Puerto D.....  | 109           |
| 5.3.4. Distribución de dispositivos conectados al microcontrolador..... | 110           |
| 5.3.5. Programa elaborado en el microcontrolador ATMEGA 32.....         | 113           |
| 5.4. ETAPA DE POTENCIA.....   | 119           |
| 5.5. DISEÑO FINAL DEL PROTOTIPO.....                                    | 122           |
| <br>  |               |
| <b>Capítulo 6: Resultado y conclusiones</b> .....                       | <b>123</b>    |
| <br>  |               |
| 6.1. RESULTADOS.....  | 124           |
| 6.2. CONCLUSIONES.....  | 126           |
| 6.3. EXPERIENCIAS EN PROGRAMAS DE CONTROL DE DEMANDA.....               | 131           |
| 6.4. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.....                         | 132           |
| <br>  |               |
| <b>Referencias</b> .....  | <b>134</b>    |

# Lista de Figuras

|             | <i>Página</i>  |
|-------------|--|
| Figura 1.1  | Controlador DH96 CPP de la línea CIRCUITOR..... 4                                    |
| Figura 1.2  | Controlador CVM-R8 de la línea CIRCUITOR..... 6                                      |
| Figura 1.3  | Controlador CA-4/MR-3 de la línea CIRCUITOR..... 8                                   |
| Figura 2.1  | Curva de potencia y características de la carga en una instalación eléctrica..... 17 |
| Figura 2.2  | Curva de la demanda diaria del Sistema Eléctrico Nacional..... 18                    |
| Figura 2.3  | Curva de demanda de una empresa industrial..... 19                                   |
| Figura 2.4  | Curva de demanda de una empresa de autoservicio..... 19                              |
| Figura 2.5  | Demanda de un circuito de distribución primario urbano a 13.2 kV..... 20             |
| Figura 2.6  | Grafica de la demanda diaria de una planta industrial..... 20                        |
| Figura 2.7  | Grafica de demanda mensual de una planta industrial..... 21                          |
| Figura 2.8  | Grafica de demanda anual de una planta industrial..... 21                            |
| Figura 2.9  | Grafica de consumos en kWh..... 29   |
| Figura 2.10 | Grafica de demanda máxima mediada en kW ..... 29                                     |
| Figura 2.11 | Grafica del factor de potencia..... 30   |
| Figura 2.12 | Grafica del factor de carga..... 30  |
| Figura 2.13 | Grafica de la facturación mensual de la empresa..... 31                              |
| Figura 2.14 | Grafica de demanda máxima diaria de la fabrica de hielo..... 32                      |
| Figura 3.1  | Triangulo de potencias..... 40   |
| Figura 3.2  | Periodos de demanda de energía..... 47   |
| Figura 3.3  | Grafica del costo medio de kWh en función del factor de carga..... 50                |
| Figura 4.1  | Curva de demanda eléctrica..... 62   |
| Figura 4.2  | Representación grafica del control de la demanda..... 67                             |
| Figura 4.3  | Operación del controlador de demanda..... 76   |
| Figura 4.4  | Método de carga instantánea..... 79  |

|             |   | <i>Página</i> |
|-------------|---|---------------|
| Figura 4.5  | Método de proyección de la curva de demanda.....  | 80            |
| Figura 4.6  | Método de la demanda acumulada vs. instantánea.....   | 82            |
| Figura 4.7  | Termoalmacenaje parcial.....  | 84            |
| Figura 4.8  | Termoalmacenaje total.....  | 84            |
| Figura 4.9  | Cogeneración vs. generación de energía eléctrica convencional .....                                   | 87            |
| Figura 4.10 | Sistemas de cogeneración.....   | 88            |
| Figura 5.1  | Diagrama a bloques del prototipo.....   | 91            |
| Figura 5.2  | Medidor digital.....  | 92            |
| Figura 5.3  | Reloj de tiempo real DS1307.....  | 93            |
| Figura 5.4  | Diagrama de tiempos.....  | 94            |
| Figura 5.5  | Diagrama interno a bloques.....   | 95            |
| Figura 5.6  | Transferencia de datos bus serial I <sup>2</sup> C.....   | 95            |
| Figura 5.7  | Terminales del DS1307.....  | 96            |
| Figura 5.8  | Mensaje de advertencia.....   | 98            |
| Figura 5.9  | Condiciones presentes durante el proceso.....   | 99            |
| Figura 5.10 | Diagrama a bloques de la arquitectura interna de un microcontrolador<br>de la familia de los AVR..... | 103           |
| Figura 5.11 | Diagrama a bloques del Atmega 32.....   | 106           |
| Figura 5.12 | Terminales de salida del Atmega 32.....   | 107           |
| Figura 5.13 | Microcontrolador.....   | 111           |
| Figura 5.14 | Conexión con las terminales del Atmega 32.....  | 112           |
| Figura 5.15 | Simulación de cargas con focos de 60 watts.....   | 121           |
| Figura 5.16 | Optoacoplador, vista externa.....   | 122           |
| Figura 5.17 | Optoacoplador, vista interna.....   | 122           |
| Figura 5.18 | TRIAC vista externa.....  | 123           |
| Figura 5.19 | TRIAC símbolo.....  | 123           |
| Figura 5.20 | Vista frontal del controlador.....  | 124           |
| Figura 5.21 | Vista posterior del controlador.....  | 125           |

|            |                            |     |
|------------|----------------------------|-----|
| Figura 6.1 | Carga artificial RL60..... | 127 |
|------------|----------------------------|-----|

# Lista de Tablas

|           | <i>Página</i>   |    |
|-----------|---|----|
| Tabla 1.1 | Características eléctricas del controlador DH96 CPP de la línea<br>CIRCUITOR.....                     | 5  |
| Tabla 1.2 | Características eléctricas del controlador CVM-R8 de la línea<br>CIRCUITOR.....                       | 7  |
| Tabla 1.3 | Características eléctricas del controlador CA-4 de la línea CIRCUITOR.                                | 10 |
| Tabla 1.4 | Características eléctricas del controlador MR-3 de la línea<br>CIRCUITOR.....                         | 11 |
| Tabla 2.1 | Relación de carga de un cuarto de refrigeración.....  | 23 |
| Tabla 2.2 | Relación de carga de la maquina de hielo No 1.....  | 23 |
| Tabla 2.3 | Relación de carga de la maquina de hielo No 2.....  | 24 |
| Tabla 2.4 | Relación de carga de la maquina de hielo No 3.....  | 25 |
| Tabla 2.5 | Relación de carga de la empacadora.....   | 25 |
| Tabla 2.6 | Relación de cargas individuales.....  | 26 |
| Tabla 2.7 | Relación de carga de la lavadora de botellones y embotelladoras.....                                  | 27 |
| Tabla 2.8 | Información histórica de la facturación eléctrica de la fabricación de<br>hielo.....                  | 28 |
| Tabla 3.1 | Tarifas con demanda máxima como cargo.....  | 44 |
| Tabla 3.2 | Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida según la<br>región.....                      | 45 |
| Tabla 3.3 | Costo medio del kWh en un mes de trabajo, en tarifa OM, para la<br>Región Noroeste.....               | 49 |
| Tabla 3.4 | Cargos por demanda facturable así como emergencia de punta, intermedia y<br>base según la región..... | 51 |

|            |  | <i>Página</i> |
|------------|--|---------------|
| Tabla 3.5  | Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Baja California.....                  | 52            |
| Tabla 3.6  | Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Baja California Sur.....              | 52            |
| Tabla 3.7  | Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en las regiones Central, Noreste, Norte y Sur..... | 53            |
| Tabla 3.8  | Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Noroeste.....                         | 53            |
| Tabla 3.9  | Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Peninsular.....                       | 54            |
| Tabla 3.10 | Factores de reducción.....   | 55            |
| Tabla 4.1  | Prioridad de las cargas eléctricas.....  | 68            |
| Tabla 5.1  | Funciones alternativas del puerto A.....   | 109           |
| Tabla 5.2  | Funciones alternativas del puerto B.....   | 110           |
| Tabla 5.3  | Funciones alternativas del puerto C.....   | 110           |
| Tabla 5.4  | Funciones alternativas del puerto D.....   | 111           |
| Tabla 6.1  | Carga artificial con 1 Amper.....  | 128           |
| Tabla 6.2  | Carga artificial con 2 Amperes.....  | 128           |
| Tabla 6.3  | Carga artificial con 3 Amperes.....  | 128           |
| Tabla 6.4  | Carga artificial con 4 Amperes.....  | 129           |
| Tabla 6.5  | Carga artificial con 5 Amperes.....  | 129           |

# *Capítulo*

# 1

---

---

## *Introducción*

En este capítulo se muestra una breve explicación de lo importante que es la energía eléctrica en el desarrollo de un país, además del porque se eligió desarrollar este tema de investigación, mostrando el planteamiento del problema, los antecedentes que se tienen del mismo, la justificación, hipótesis y objetivo.

## **1.1. INTRODUCCIÓN.**

El ahorro y uso racional de la energía ha adquirido actualmente grandes proporciones técnicas y económicas por razones que son del dominio de todos y el control técnico es uno de los factores más importantes en el ahorro de energéticos, incluso, considerado por muchos especialistas como factor que permite lograr los mayores resultados con los menores costos. [1] [2]

La energía se utiliza para realizar cualquier actividad o trabajo, ésta puede ser de varios tipos como calorífica, mecánica, hidráulica, eléctrica, entre otras. Si bien es cierto la energía eléctrica es una de las más conocidas en la actualidad, no es difícil poder imaginarse lo que sería del mundo sin ella. [3]

La energía eléctrica es un insumo indispensable para cualquier actividad cotidiana. Generarla, transmitirla y distribuirla dentro del país es cada día más costoso. Por ello todos los usuarios habrán de experimentar el ajuste de precios correspondiente. [4]

Un controlador de demanda máxima es básicamente un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente desconecta cargas eléctricas predeterminadas, con el propósito de mantener la demanda máxima bajo control. El controlador, establece ciclos de trabajo a las cargas cuando la demanda alcanza un valor, o crece a una tasa preseleccionada. El punto prefijado debe ser cuidadosamente seleccionado, para que no afecte la producción o necesidades de operación. [5]

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Cuando las empresas de la industria realizan su contrato con alguna empresa eléctrica (Comisión Federal de Electricidad, Luz y Fuerza del Centro) la cual será la encargada del servicio de suministro, esta lleva a cabo una solicitud de factibilidad la cual servirá para analizar la posibilidad de suministrar el servicio con la red actual. Una vez realizado esto, se tramita un certificado de autorización que acredite que las instalaciones eléctricas cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas, que expide una unidad de verificación acreditada ante la Secretaría de Energía. [6]

Una vez autorizado el certificado se realiza el contrato final con algunas especificaciones señaladas a dicha empresa así como la tarifa señalada para la misma. Generalmente son tres conceptos que se consideran para formular las facturas de consumo de energía eléctrica: la demanda máxima, la energía consumida y el factor de potencia.

Si la demanda máxima contratada por la empresa es excedida, esta recibe una multa por dicho exceso, la cual son cantidades muy grandes y considerables. Si la empresa reincide en exceder la demanda máxima la compañía hace un llamado para que la empresa contrate un nuevo servicio con una mayor cantidad de demanda, cabe mencionar que dicho servicio será de un costo mucho mayor al anterior; llevándose a cabo nuevamente todos los trámites mencionados anteriormente así como sus respectivos honorarios.

### 1.3. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.

Los controladores de demanda máxima, surgen ante la necesidad de tener un menor costo por el consumo de energía eléctrica pero a su vez, contar con el mayor número de cargas conectadas durante el proceso para con ello lograr que la producción no se vea afectada y por tanto tener un producto de alta calidad. En la actualidad existen en el mercado algunos controladores de demanda máxima, cada uno con sus respectivas características así como su propio diseño, A continuación se mencionaran algunos de ellos (CIRCUITOR). [7]

#### DH96 CPP



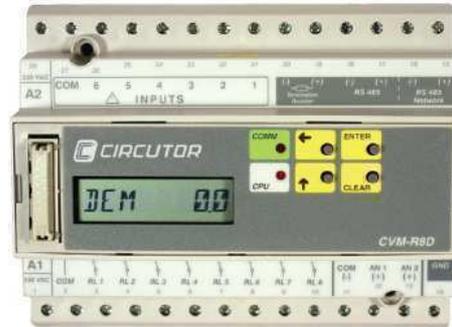
**Figura 1.1.** Controlador DH96 CPP de la línea CIRCUITOR.

- Control de hasta 4 cargas o grupos de cargas.
- Entrada de impulsos para medir la máxima demanda como la está midiendo el contador de compañía.
- Trabaja con los sistemas de máxima demanda más habituales (ventana deslizante, ventana fija, sincronización de tiempo, demanda térmica).
- Sistema de prioridades, para poder distinguir las cargas menos prioritarias que pueden ser desconectadas habitualmente y las más prioritarias que sólo deben ser desconectadas cuando sea imprescindible para evitar exceder la potencia contratada.

**Tabla 1.1.** Características eléctricas del controlador DH96 CPP de la línea CIRCUITOR.

|  |   |
|--|---|
| <b>Circuito de alimentación</b>                        | 115 / 230 V (-15% / +20%)                                   |
| Consumo  | 4 V-A (sin tarjeta) 7 V-A (con tarjeta)                     |
| Frecuencia   | 45 ... 65 Hz  |
| <b>Circuito de entrada</b>                             |   |
| Precisión sobre la lectura                             | 0.5% +/- 1 dig  |
| Resolución   | 10 bits   |
| Sobretensión<br>(permanente / durante 10s)             | $1.2 U_n / 2 U_n$   |
| Sobre carga de corriente<br>(permanente / durante 10s) | $1.2 I_n / 5 I_n$   |
| Margen de medida                                       | 2 ... 120%  |
| Nº conversiones por ciclo                              | 32  |
| <b>Visualizador</b>                                    |   |
| Dígitos  | 7 segmentos de 14mm, rojo                                   |
| Refresco visualización                                 | 4   |
| Punto decimal  | < 1s  |
| Indicador exceso escala                                | “.....”   |
| <b>Aislamiento</b>                                     | Entre la entrada, la medida y la salida de tarjeta opcional |
| Tensión de prueba                                      | 3 kV, 50 Hz, 1 min  |
| Test de impulsos                                       | 4 kV (1.2 / 50 $\mu$ s)                                     |
| <b>Relés de salida</b>                                 | 1 contacto simple   |
| Tensión de aislamiento                                 | 750 V contac – contac<br>2 000 V contac – bocina            |
| Tensión de aislamiento                                 | 750 V contac – contac<br>2 000 V contac – bocina            |
| Corriente térmica ( $I_t$ )                            | 5 A   |
| Potencia máxima maniobra                               | 750 V – A   |
| Vida mecánica  | $2 \times 10^7$ maniobras                                   |
| Vida eléctrica   | 30 000 maniobras a 5 A y 250 V                              |
| <b>Entradas digitales</b>                              | 2 entradas, contacto libres de potencial<br>(20mA – 24 Vcc) |
| <b>Condiciones ambientales</b>                         |   |
| Temperatura de almacenamiento                          | - 40 °C / +70 °C  |
| Temperatura de trabajo                                 | - 10 °C / +65 °C  |
| <b>Características constructivas</b>                   |   |
| Material caja  | ABS V0, gris antracita                                      |
| Grado protección                                       | Caja y bornes: IP 20 / Frontal : IP 54                      |
| Peso   | 550 gr  |

## CVM-R8 CPP



**Figura 1.2.** Controlador CVM-R8 de la línea CIRCUITOR.

- Control de hasta 17 cargas o grupos de cargas.
- Rapidez de respuesta en conexión / desconexión de cargas.
- Entrada de impulsos para medir la máxima demanda como la está midiendo el contador de compañía.
- Trabaja con el sistema de ventana fija.
- Sistema de prioridades, para poder distinguir las cargas menos prioritarias que pueden ser desconectadas habitualmente y las más prioritarias que sólo deben ser desconectadas cuando sea imprescindible para evitar exceder la potencia contratada.
- Offset al arranque del sistema de control de potencia para evitar el disparo intempestivo de las cargas al inicio de la jornada laboral, debido a las curvas de arranque de los motores.
- Alarma en caso de ausencia de impulso de sincronismo.
- Funcionamiento predictivo.

- Se dispone de 3 entradas más, para poder seleccionar tarifas y que el equipo actúe según la contratación de estos.

**Tabla 1.2.** Características eléctricas del controlador CVM-R8 de la línea CIRCUITOR.

|  |   |
|--|---|
| <b>Circuito de alimentación</b>        |   |
| Tensión                                | Monofásica 220 Vca (+10% / -15%)                          |
| Frecuencia                             | 50 ... 60 Hz  |
| Consumo                                | 7 V-A   |
| <b>Características relés de salida</b> |   |
| Número de relés                        | 8   |
| Tensión de aislamiento ( $U_t$ )       | 270 Vca / 125 Vcc   |
| Corriente térmica ( $I_t$ )            | 3 A   |
| C.A. $11 I_e / U_e$                    | 2 A / 250 Vca   |
| C.C. $11 I_e / U_e$                    | 2 A / 30 Vcc  |
| Potencia máxima maniobrada             | 750 V-A ca – 90 W cc                                      |
| Vida mecánica                          | $2 \times 10^7$ maniobras                                 |
| Vida eléctrica                         | $2 \times 10^5$ maniobras ( a plena carga)                |
| <b>Entradas digitales</b>              | 6 entradas, contactos libres de potencia (20 mA – 24 Vcc) |
| <b>Entradas analógicas</b>             | 2 entradas de 0 ... 2 Vcc                                 |
| <b>Visualizador</b>                    | Display alfanumérico de 1 x 8 caracteres (50 x 15 mm)     |
| <b>Condiciones ambientales</b>         |   |
| Temperatura de trabajo                 | - 10 °C / +65 °C  |
| <b>Características constructivas</b>   |   |
| Tipo caja                              | Modular de plástico autoextinguible                       |
| Conexión                               | Bornes metálicos con tornillos “posidraft”                |
| Fijación                               | Acoplable a carril DIN 46277                              |
| Carátula                               | Frontal de lexan  |
| Protección                             | Relé empostrado: IP 41<br>Bornes: IP 20                   |
| Dimensiones                            | 140 x 70 x 110 mm (8 módulos)                             |
| <b>Seguridad</b>                       | Categoría II (EN 61010)                                   |
| <b>Normas</b>                          | IEC 225, IEC 348, UNE 21 136, IEC 664, VDE 0110, UL 94    |

## CA-4 / MR-3



**Figura 1.3.** Controlador CA-4/MR-3 de la línea CIRCUITOR.

- Rapidez de respuesta en conexión / desconexión de cargas.
- Entrada de impulsos para medir la máxima demanda como la está midiendo el contador de compañía.
- Trabaja con los sistemas de máxima demanda más habituales (ventana deslizante y ventana fija).
- Con alimentación auxiliar PS12 en continua. Dispone de tiempos de seguridad para poder introducir cargas de media tensión en dicho sistema.
- Sistema de simulación, que nos permite realizar un test antes de poner en marcha el sistema y así prevenir funcionamientos no deseados.

## **Control de cargas**

- Control de hasta 128 cargas o grupos de cargas.
- Sistema de prioridades, para poder distinguir las cargas menos prioritarias que pueden ser desconectadas habitualmente, y las más prioritarias que sólo deben ser desconectadas cuando sea imprescindible para evitar exceder la potencia contratada.
- Posibilidad de crear grupos de carga con la misma prioridad y secuencias de conexión / desconexión FIFO o LIFO
- Definición de hasta 4 estados para las cargas: Activa, Inactiva, Forzada activa y Forzada inactiva (ejem. en el caso de forzada inactiva, nos permite realizar reparaciones de una carga sin necesidad de preocuparnos de que dicha carga pueda reconectarse).
- Detecta si la carga está conectada o parada.

## **Sistema modular**

- Sistema modular que se ajusta en número de cargas a cualquier instalación. Sólo se adquiere lo que se necesita.
- Dispone de un sistema modular que permite tener las conexiones / desconexiones de cargas cerca de las propias cargas para simplificar el cableado, reducir las distancias de cableado y mejorar el tiempo de respuesta.

## Software

- Con comunicaciones y *software* incluido para poder visualizarlo desde un ordenador y poder almacenar las conexiones y desconexiones que realiza nuestro control de potencia.
- Posibilidad de programación de un calendario de potencia contratada para los próximos 2 años. Tiene la posibilidad de programarle calendarios de potencias contratadas según las horas del día, tipo de día, etc.
- Dispone de calendarios individuales para las cargas no sólo para poder arrancarlas y pararlas de forma automática, sino también para poder realizar un control de potencia perfecto, conociendo de antemano las cargas que están en funcionamiento.

**Tabla 1.3.** Características eléctricas del controlador CA-4 la línea CIRCUITOR.

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Circuito de alimentación</b>      | 24 Vcc (+/- 25%)   |
| Consumo                              | 500 mA   |
| <b>Relés de salida</b>               | 4 relés  |
| Tensión de aislamiento               | 1 000 V contac – contac<br>4000 V contac - bobina                    |
| Corriente térmica (I <sub>t</sub> )  | 3 A  |
| Potencia máxima maniobrada           | 1 500 V-A  |
| Vida mecánica                        | 3 x 10 <sup>7</sup> maniobras  |
| Vida eléctrica                       | 350 maniobras / hora ( a plena carga)                                |
| <b>Entradas digitales</b>            | 4 entradas libres de potencia<br>(10 mA – 24 Vcc)                    |
| <b>Condiciones ambientales</b>       |  |
| Temperatura de trabajo               | - 10 °C / +65 °C   |
| <b>Características constructivas</b> |  |
| Fijación                             | Acoplable a carril DIN 46277   |
| Carátula                             | Frontal de lexan   |
| <b>Seguridad</b>                     | Categoría I (EN 61010)   |
| <b>Normas</b>                        | EN 50082-1, EN 50082-2,<br>EN 61000-3-2, EN 61000-3-3,<br>EN 61010-1 |

**Tabla 1.4.** Características eléctricas del controlador MR-3 de la línea CIRCUITOR.

|                                 |                          |
|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Circuito de alimentación</b> | 24 Vcc                   |
| Consumo                         | 65 mA                    |
| <b>Relés de salida</b>          | 3 relés de 10A / 250 Vca |
| <b>Entradas digitales</b>       | 3 entradas polarizadas   |
| <b>Comunicaciones</b>           | RS-485                   |
| <b>Condiciones ambientales</b>  |                          |
| Temperatura de trabajo          | - 10 °C / +65 °C         |

Por lo tanto, de las características enlistadas anteriormente de los controladores, se tomarán las más significativas y con ello proponer las que se espera que el controlador contenga.

- Control de hasta 3 cargas o grupos de cargas. (teniendo capacidad para ampliar este rango)
- Entrada de impulsos para medir la máxima demanda como la está midiendo el contador de compañía. ( K, Y, Z)
- Sistema de prioridades, para poder distinguir las cargas menos prioritarias que pueden ser desconectadas habitualmente y las más prioritarias que sólo deben ser desconectadas cuando sea imprescindible para evitar exceder la potencia contratada.
- Sistema con dos alarmas; visual la cual indica que al menos una de las cargas fue separada del proceso, auditiva la cual indica que las tres cargas a controlar fueron separadas del proceso y la demanda sigue en incremento por lo cual, las demás cargas a desconectar se realizara en forma manual.
- Reincorporación de las cargas al proceso en forma manual.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN.**

La industria tiene gran presencia en el consumo total generado de energía eléctrica, esto debido a la gran cantidad de cargas con las que se cuenta; formadas principalmente por motores eléctricos utilizados para la generación de recursos como el aire comprimido, vapor, compresión de amoníaco para refrigeración, sistemas de enfriamiento, bombeo de agua, etc. [3]

Otra proporción aceptable de consumo eléctrico lo llevan a cabo los equipos electrónicos de control y comunicación. El conjunto de equipos antes mencionados conduce a pagos altos debido a la alta facturación de consumo y también a cobros elevados por demanda máxima. [3]

Una de las estrategias más recomendables para ahorrar en la facturación de energía con el menor costo es el control de la demanda.

El controlador de demanda máxima es un aparato electrónico que tiene la función de estar monitoreando constantemente la potencia eléctrica, esto con el fin de que la potencia no se incremente más de lo fijado por el usuario de energía eléctrica. Cuando la demanda de potencia eléctrica se incrementa y tiende a rebasar el límite establecido, el controlador actúa automáticamente realizando la acción de desconexión de cargas que no son prioritarias o que no son necesarias en ese momento, con esto da oportunidad a que otro tipo de cargas de mayor prioridad sigan en funcionamiento. [5]

Actualmente los equipos de esta índole son muy costosos, por lo que las empresas medianas y pequeñas no podrían solventar este tipo de gastos ya que saldrían de su presupuesto disponible. Además con su diseño, se eliminan los picos de demanda dejando de operar algunas o todas las cargas sin afectar la producción en una industria ya sea en el horario de las horas pico o en horas donde la carga demandada se acerque a la preestablecida. [8]

## **1.5. HIPÓTESIS.**

H1. ¿Es posible el diseño y construcción de un prototipo que esté monitoreando el nivel de demanda máxima actual y esté actuando sobre la carga, para evitar que se exceda un valor de demanda máxima previamente establecido?

H2. ¿Es posible utilizar el medidor proporcionado por Comisión Federal de Electricidad para un mejor monitoreo y control de la demanda máxima?

H3. ¿Es posible desconectar hasta tres cargas por medio de una consulta a una tabla de prioridades, decidiendo desconectar las cargas en orden de prioridad, para evitar que se exceda la demanda máxima contratada?

## **1.6. OBJETIVO.**

Diseñar y construir un equipo que monitoree y controle la demanda existente en equipos o cargas para con ello desconectar las cargas que no sean prioritarias cuando se prevé que va a superar el valor de demanda máxima previamente establecido.

Con la elaboración de este prototipo se pretende reducir las multas debido al exceso de demanda máxima por parte de la Comisión Federal de Electricidad que se encarga del suministro de energía en nuestro país.

# *Capítulo*

# 2

---

---

## *La Demanda Eléctrica*

En este capítulo se describe un poco el concepto de demanda así como los diferentes tipos de demanda existentes y presentes durante un proceso productivo; además de los diagnósticos para una eficiente utilización en la energía.

**Demanda:** La demanda de una instalación o sistema, es su carga promediada sobre un intervalo de tiempo específico. La carga puede expresarse en potencia activa, reactiva o en amperes.

El intervalo de tiempo es el intervalo del mecanismo de la demanda y puede ser de 15, 30 o 60 minutos. El más utilizado es el de 15 minutos en mecanismos acoplados a wattorímetros de inducción, para obtener lecturas de kW, kVAr o amperes.

**Demanda máxima:** La demanda máxima de una instalación o sistema, es la mayor de todas las demandas que han ocurrido durante un periodo específico. Se expresa en las mismas unidades que la demanda y es la de mayor interés porque impone condiciones más severas al sistema eléctrico, principalmente a la carga y en caída de voltaje.

**Demanda coincidente:** Es la demanda de un grupo de cargas sobre un intervalo particular y único. Es la suma de las demandas impuestas por las cargas en el mismo intervalo de tiempo. La máxima demanda coincidente es la de mayor interés.

$$\text{Demanda coincidente} = \Sigma \text{Demandas individuales} \\ \text{(en el mismo intervalo de tiempo)}$$

**Demanda no coincidente:** Es la suma de las demandas de un grupo de cargas sin importar el intervalo de tiempo de cada una de ellas. Esa demanda es en si, las demandas individuales obtenidas en intervalos diferentes. La demanda no coincidente, es la suma de las demandas individuales y es la de mayor interés.

$$\text{Demanda no coincidente} = \Sigma \text{Demandas individuales} \\ \text{(a diferentes intervalos de tiempo)}$$

Y por lo tanto:

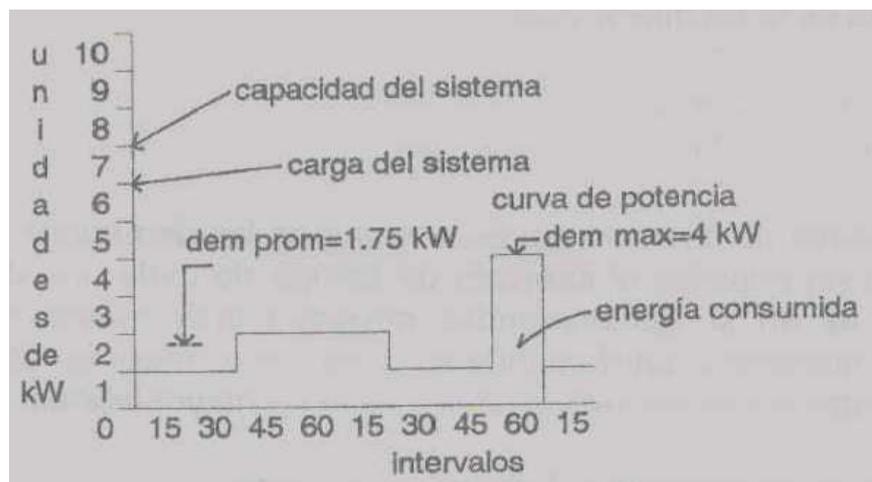
$$\text{Demanda no coincidente máxima} = \Sigma \text{Demandas máximas individuales}$$

**Demanda máxima diversificada promedio:** Si la demanda de un sistema se obtiene de las sumas, para un mismo intervalo, de las demandas de los distintos elementos que lo constituyen, la demanda máxima diversificada promedio es, la demanda máxima del sistema entre el número de elementos que lo compone. Es decir la demanda máxima coincidente entre el número de cargas que la conforman. Esta demanda se expresa generalmente en kW/lote, kW/casa, kW/departamento, etc.

Por lo tanto:

$$\text{Dem. máx. diversificada prom.} = \text{Dem. máx. coincidente} / n^{\circ} \text{ de cargas.}$$

Las gráficas que se obtengan de las mediciones hechas a la carga conforman el perfil de la curva de potencia. Estas gráficas son un auxiliar importante para el análisis de la operación de los sistemas eléctricos. Al dibujarse, los ejes deben tener escalas bien proporcionadas a los parámetros medidos y deben indicarse las constantes de multiplicación y las anotaciones pertinentes, para que ayuden a una interpretación correcta de la misma grafica, y evitar así errores posteriores.



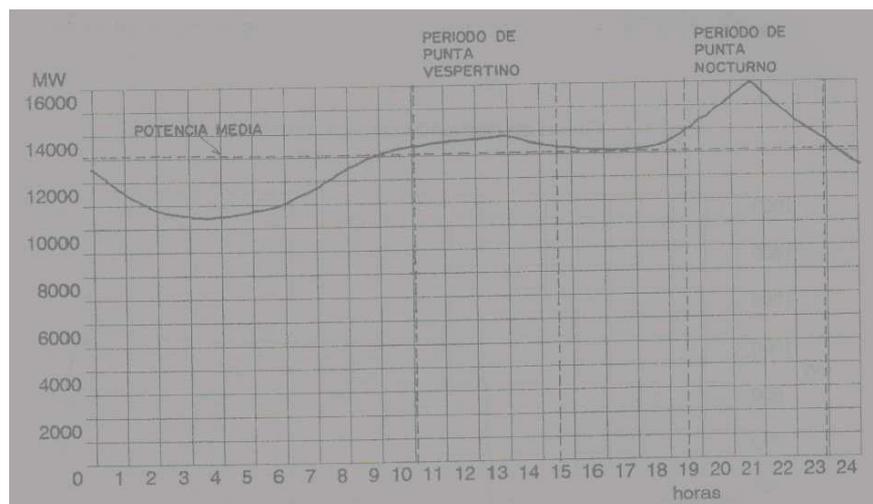
**Figura 2.1.** Curva de potencia y características de la carga en una instalación eléctrica.

Es importante seleccionar el período de medición, para obtener una curva de potencia representativa del proceso productivo que alimenta el sistema eléctrico. Pueden ser ocho horas, que es un tiempo suficiente para analizar el comportamiento de la carga durante la jornada laboral. En un período de 24 horas se puede analizar la carga en función a los turnos de trabajo.

Si la gráfica es semanal, se puede obtener datos del perfil de la curva los días laborales y de descanso, así como el día de la semana de mayor actividad productiva.

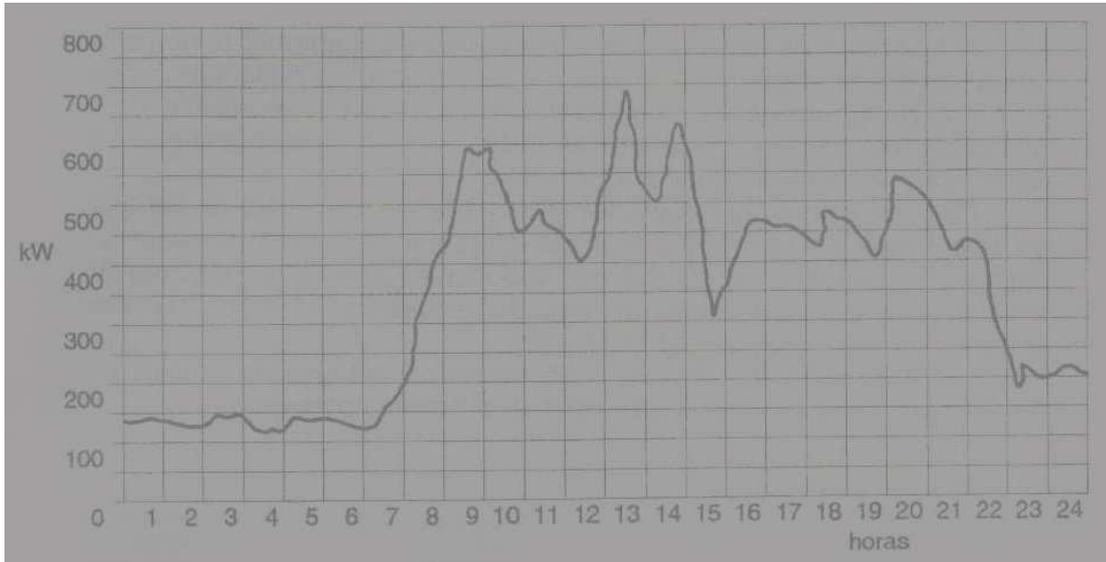
Una gráfica mensual, proporciona datos que se pueden utilizar, par determinar costos y consumos de energía, así como factores de eficiencia productiva.

Para dichas gráficas (semanal y mensual), las demandas, las energías y los periodos van a ser diferentes, aun tratándose de un mismo sistema eléctrico; es por ello importante, el estudio particular de cada grafica y la aplicación correcta de resultados y de los factores eléctricos que se obtengan en casa caso. Las figuras 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, muestran gráficas de perfiles de demanda de varios sistemas eléctricos en diferentes periodos.



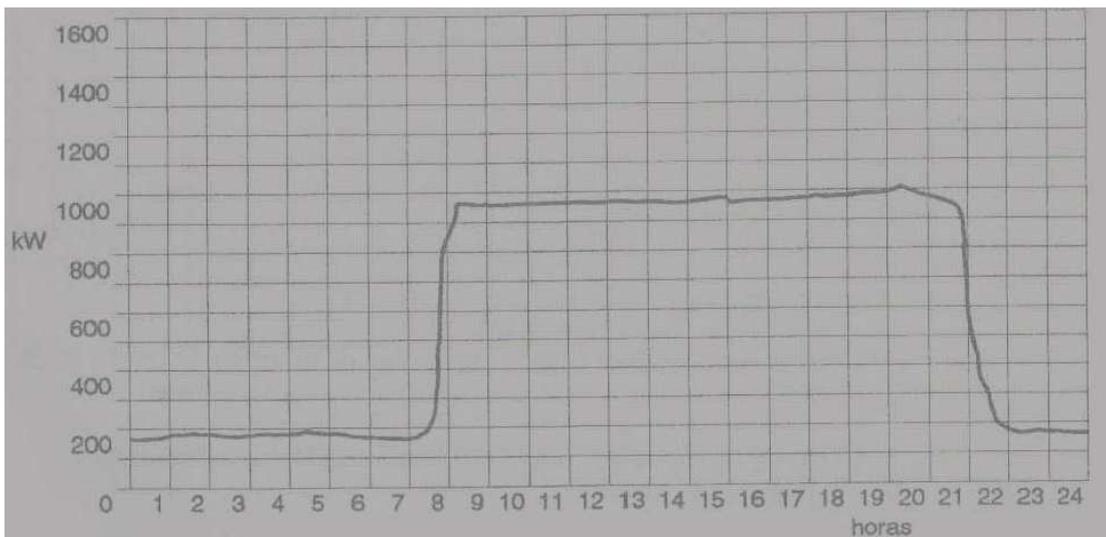
**Figura 2.2.** *Curva de la demanda diaria del Sistema Eléctrico Nacional.*

La siguiente figura, muestra la curva de demanda diaria dentro de una empresa industrial, como se puede observar tiene fuertes variaciones en la misma por lo cual el pago por este concepto es considerable.

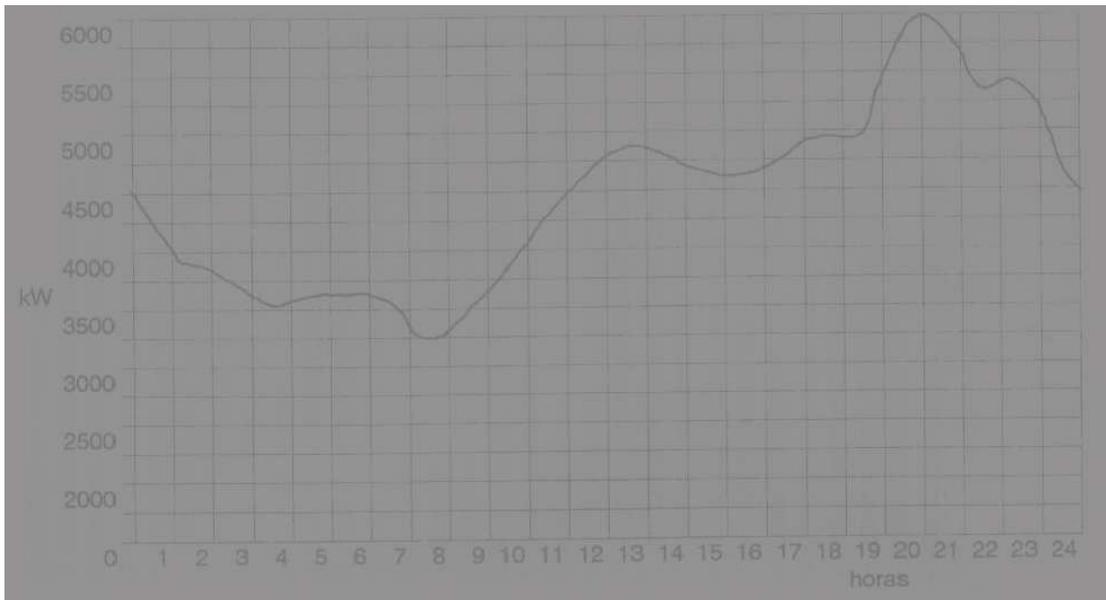


**Figura 2.3.** Curva de demanda de una empresa industrial.

En la siguiente figura se muestra el perfil de demanda de una empresa de autoservicio, en esta una vez que la demanda varia se mantiene constante durante todo el periodo de trabajo.



**Figura 2.4.** Curva de demanda de una empresa de autoservicio.



**Figura 2.5.** *Demanda de un circuito de distribución primario urbano a 13.2 kV.*

Las figuras 2.6, 2.7, 2.8 son las graficas de demanda diaria, mensual y anual respectivamente de una planta industrial de químicos; con este tipo de información la planta industrial conoce en que día o mes se obtiene la mayor cantidad de demanda y por lo tanto el día o mes mas productivo para la planta industrial

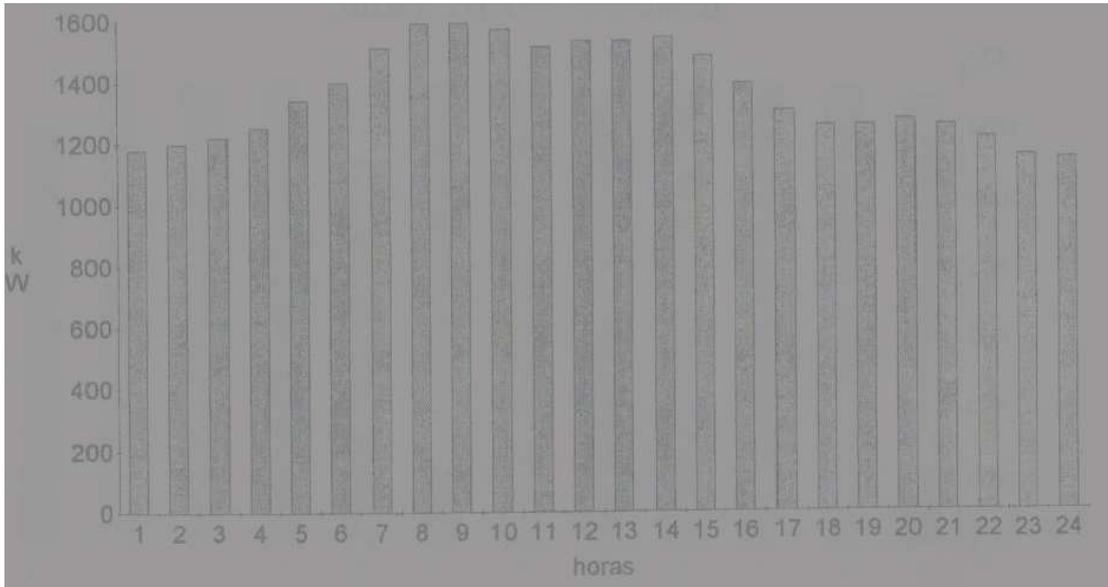


Figura 2.6. Gráfica de demanda diaria de una planta industrial.

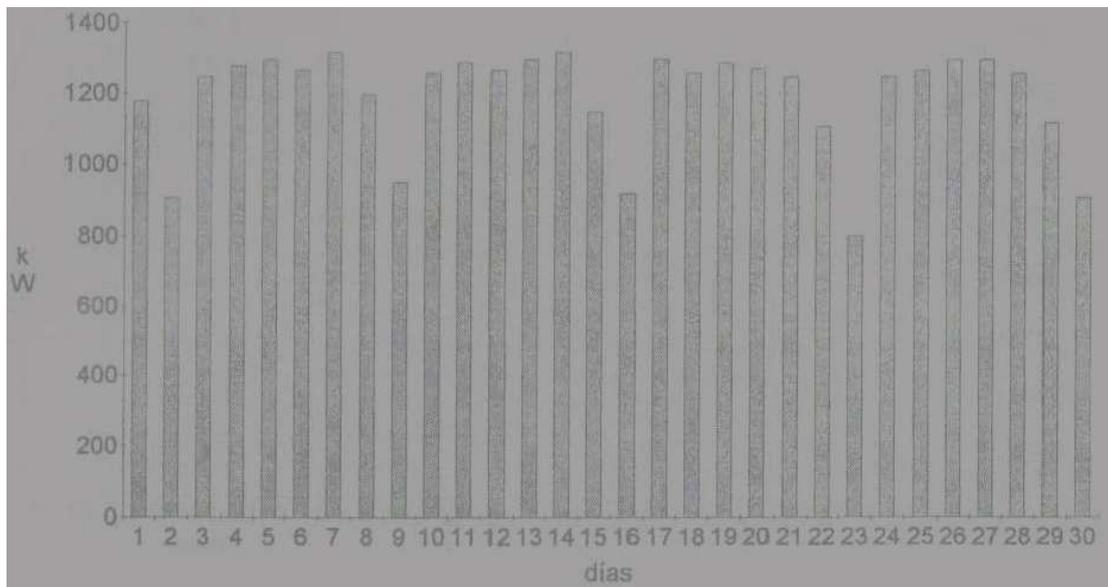
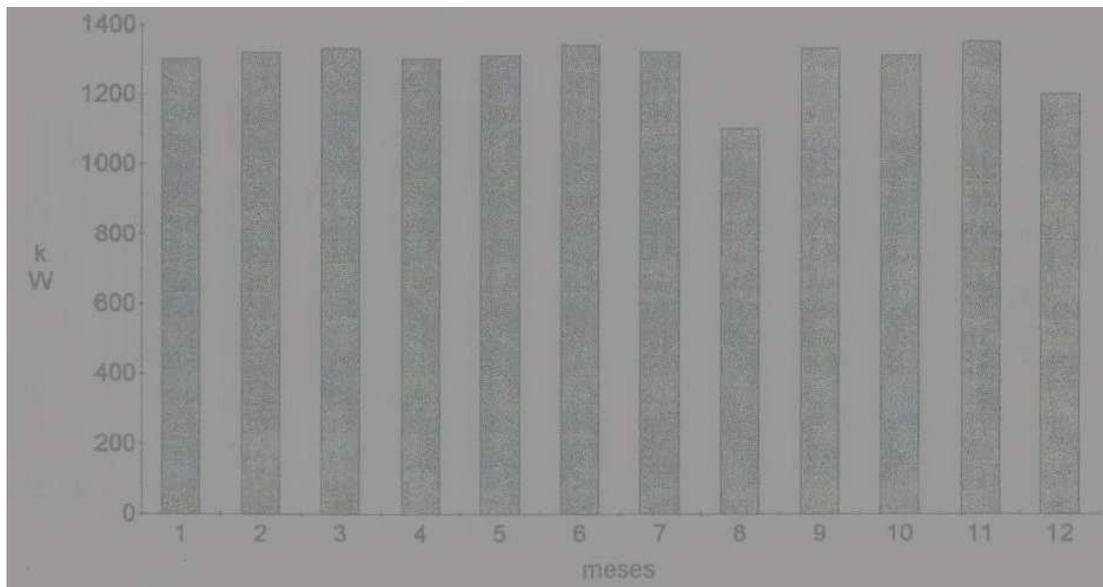


Figura 2.7. Gráfica de demanda mensual de una planta industrial.



**Figura 2.8.** Gráfica de demanda anual de una planta industrial.

## 2.1. LA DEMANDA Y EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA. [10]

Como el consumo de energía está más ligado a la producción de bienes y a la presentación de servicios, es necesario que, al administrar la demanda, no se afecte ni la producción ni los servicios, y si se aumenta la eficiencia en el uso de la maquinaria, equipos e inmuebles.

Para encontrar las áreas de oportunidad y definir las modificaciones a los procesos que lleven a la administración de la demanda, es necesario elaborar antes un diagnóstico de la operación de la carga.

El diagnóstico puede consistir de las siguientes actividades:

- 1.- Levantamiento del censo de carga.
- 2.- Obtención de datos históricos del consumo de energía
- 3.- Mediciones y gráficas del perfil de la demanda.
- 4.- Información sobre el proceso de fabricación.
- 5.- Determinación de los índices energéticos.

### **2.1.1. Censo de carga.**

Es el registro del equipo eléctrico instalado, con datos de: capacidad, horario de uso diario, cantidad de carga con que opera y el consumo de energía, real o estimado. El censo de carga aporta información sobre la capacidad instalada y la coincidencia en su operación, cuya suma se aproxima, en una hora dada, a la demanda medida.

Es necesario elaborar el registro por áreas o departamentos, haciendo especial énfasis en las cargas grandes y en las de uso prioritario, y determinar la aportación a la demanda máxima de cada una de ellas.

Como ejemplo, se muestran en las tablas de la 2.1 a la 2.6, un censo que corresponde a la carga instalada en una fábrica de hielo.

**Tabla 2.1.** Relación de carga de un cuarto de refrigeración.

| Cuarto frío                                   |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
|---|-----|-------|---------|-----|------------|-----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 11 horas diarias |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
| Máquina                                       | Can | Fases | Volts   | Amp | Amp x fase |     |     | f.p. | Potencia |      |
|   |     |       |         |     | A          | B   | C   |      | watts    | HP   |
| Compresor                                     | 1   | 3     | 208/230 | 17  | 17         | 17  | 17  | 0.85 | 5765.3   | 7.73 |
| Condensador                                   | 1   | 2     | 208/230 | 4.2 | 4.2        | 4.2 |     | 0.85 | 785.4    | 1.05 |
| Evaporador                                    | 1   | 2     | 208/230 | 4.2 |            | 4.2 | 4.2 | 0.85 | 785.4    | 1.05 |
| Potencia                                      |     |       |         |     |            |     |     |      | 7336.10  |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida en un cuarto frío, en el cual se encuentra instalado un compresor, un condensador y un evaporador, estas tres cargas juntas generan una potencia de 7336.10 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 11 horas diarias.

**Tabla 2.2.** Relación de carga de la maquina de hielo No 1.

| Máquina de hielo automática No. 1            |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
|--|-----|-------|---------|-----|------------|-----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 7 horas diarias |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
| Máquina                                      | Can | Fases | Volts   | Amp | Amp x fase |     |     | f.p. | potencia |      |
|  |     |       |         |     | A          | B   | C   |      | watts    | HP   |
| Compresor                                    | 1   | 3     | 208/230 | 28  | 28         | 28  | 28  | 0.85 | 9263.3   | 12.4 |
| Bomba de agua                                | 1   | 2     | 208/230 | 5.5 | 5.5        | 5.5 |     | 0.85 | 1028.5   | 1.38 |
| Cortador                                     | 1   | 2     | 208/230 | 4.6 | 4.6        |     | 4.6 | 0.85 | 860.2    | 1.15 |
| Ventilador                                   | 3   | 2     | 208/230 | 4.6 | 7.9        | 7.9 | 7.9 | 0.85 | 860.2    | 1.15 |
| Potencia                                     |     |       |         |     |            |     |     |      | 12012.2  |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida en la maquina de hielo automática No 1, en la cual se encuentra instalado un compresor, una bomba de agua, un cortador y un ventilador, estas cuatro cargas juntas generan una potencia de 12012.2 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 7 horas diarias.

**Tabla 2.3. Relación de carga de la maquina de hielo No 2.**

| Máquina de hielo automática No. 2            |     |       |         |     |            |    |     |      |          |      |
|--|-----|-------|---------|-----|------------|----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 9 horas diarias |     |       |         |     |            |    |     |      |          |      |
| Máquina                                      | Can | Fases | Volts   | Amp | Amp x fase |    |     | f.p. | potencia |      |
|  |     |       |         |     | A          | B  | C   |      | watts    | HP   |
| Compresor                                    | 1   | 3     | 208/230 | 31  | 31         | 31 | 31  | 0.85 | 10105    | 13.5 |
| Bomba de agua                                | 1   | 2     | 208/230 | 6   | 6          | 6  |     | 0.85 | 1122     | 1.5  |
| Cortador                                     | 1   | 2     | 208/230 | 5.1 | 5.1        |    | 5.1 | 0.85 | 953.7    | 1.28 |
| Ventilador                                   | 3   | 2     | 208/230 | 5.2 | 9          | 9  | 9   | 0.85 | 972.4    | 1.3  |
| Potencia                                     |     |       |         |     |            |    |     |      | 13153.1  |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida en la maquina de hielo automática No 2, en la cual se encuentra instalado un compresor, una bomba de agua, un cortador y un ventilador, estas cuatro cargas juntas generan una potencia de 13153.1 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 9 horas diarias.

**Tabla 2.4. Relación de carga de la maquina de hielo No 3.**

| Máquina de hielo automática No. 3             |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
|---|-----|-------|---------|-----|------------|-----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 10 horas diarias |     |       |         |     |            |     |     |      |          |      |
| Máquina                                       | Can | Fases | Volts   | Amp | Amp x fase |     |     | f.p. | potencia |      |
|   |     |       |         |     | A          | B   | C   |      | watts    | HP   |
| Compresor                                     | 1   | 3     | 208/230 | 32  | 32         | 32  | 32  | 0.85 | 10364    | 13.9 |
| Bomba de agua                                 | 1   | 2     | 208/230 | 6.2 | 6.2        | 6.2 |     | 0.85 | 1159.4   | 1.55 |
| Cortador                                      | 1   | 2     | 208/230 | 5.3 | 5.3        |     | 5.3 | 0.85 | 991.1    | 1.33 |
| Ventilador                                    | 3   | 2     | 208/230 | 5.4 | 9.3        | 9.3 | 9.3 | 0.85 | 1009.8   | 1.35 |
| Potencia                                      |     |       |         |     |            |     |     |      | 13524.3  |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida en la maquina de hielo automática No 3, en la cual se encuentra instalado un compresor, una bomba de agua, un cortador y un ventilador, estas cuatro cargas juntas generan una potencia de 13524.3 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 10 horas diarias.

**Tabla 2.5. Relación de carga de la empacadora.**

| Empaquetadora                                |     |       |       |     |            |     |     |      |          |      |
|--|-----|-------|-------|-----|------------|-----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 8 horas diarias |     |       |       |     |            |     |     |      |          |      |
| Máquina                                      | Can | Fases | Volts | Amp | Amp x fase |     |     | f.p. | potencia |      |
|  |     |       |       |     | A          | B   | C   |      | watts    | HP   |
| Compresor                                    | 1   | 2     | 220   | 6.6 |            | 6.6 | 6.6 | 0.85 | 1234.2   | 1.65 |
| Condensador                                  | 1   | 2     | 230   | 4.1 | 4.1        | 4.1 |     | 0.85 | 766.7    | 1.03 |
| Evaporador                                   | 1   | 2     | 230   | 5.2 | 5.2        |     | 5.2 | 0.85 | 972.4    | 1.3  |
| Potencia                                     |     |       |       |     |            |     |     |      | 2973.3   |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida en la empaquetadora, en la cual se encuentra instalado un compresor, un condensador, un evaporador, estas tres cargas juntas generan una potencia de 2973.3 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 8 horas diarias.

**Tabla 2.6. Relación de cargas individuales.**

| Cargas individuales                          |     |       |       |      |            |     |     |      |          |      |
|--|-----|-------|-------|------|------------|-----|-----|------|----------|------|
| Tiempo de trabajo efectivo = 7 horas diarias |     |       |       |      |            |     |     |      |          |      |
| Máquina                                      | Can | Fases | Volts | Amp  | Amp x fase |     |     | f.p. | potencia |      |
|  |     |       |       |      | A          | B   | C   |      | watts    | HP   |
| Bomba 1                                      | 1   | 2     | 220   | 5.2  | 5.2        |     | 5.2 | 0.85 | 972.4    | 1.3  |
| Bomba 2                                      | 1   | 2     | 220   | 5.1  |            | 5.1 | 5.1 | 0.85 | 953.7    | 1.28 |
| Bomba 3                                      | 1   | 2     | 220   | 5.3  |            | 5.3 | 5.3 | 0.85 | 991.1    | 1.33 |
| Aire acond.                                  | 1   | 2     | 220   | 13   | 13         |     | 13  | 0.85 | 2580.6   | 3.46 |
| Contactos                                    | 6   | 1     | 127   | 2    |            | 6   | 6   | 1    | 15000    |      |
| Alumbrado                                    | 18  | 1     | 127   | 0.84 | 7.6        | 7.5 |     | 0.9  | 1727.8   |      |
| Potencia                                     |     |       |       |      |            |     |     |      | 22225.6  |      |

En la tabla anterior, se muestra la potencia consumida por las cargas individuales durante el proceso en la fabricación de hielo, dichas cargas son: tres bombas, un aire acondicionado, seis contactos y dieciocho sistemas de alumbrado, estas cargas juntas generan una potencia de 22225.6 watts; además de esto el tiempo de trabajo efectivo en el cual se mantiene en funcionamiento dichas cargas es de 7 horas diarias.

En la tabla 2.7 se muestra las cargas instaladas en el proceso de lavado de botellones y embotelladoras; dichas cargas son: dos bandas transportadoras, dos revolver, dos bombas, una turbina, una bomba de retorno, una bomba de ozono y una bomba de lavado.

**Tabla 2.7.** Relación de carga de la lavadora de botellones y embotelladoras.

| Lavadora de botellones y embotelladora       |     |       |       |     |            |     |     |      |          |     |
|--|-----|-------|-------|-----|------------|-----|-----|------|----------|-----|
| Tiempo de trabajo efectivo = 8 horas diarias |     |       |       |     |            |     |     |      |          |     |
| Máquina                                      | Can | Fases | Volts | Amp | Amp x fase |     |     | f.p. | Potencia |     |
|  |     |       |       |     | A          | B   | C   |      | watts    | HP  |
| Banda 1                                      | 1   | 3     | 220   | 6.2 | 6.2        | 6.2 | 6.2 | 0.85 | 1492     | 2   |
| Banda 2                                      | 1   | 3     | 220   | 6.2 | 6.2        | 6.2 | 6.2 | 0.85 | 1492     | 2   |
| Revolver 1                                   | 1   | 3     | 220   | 3.2 | 3.2        | 3.2 | 3.2 | 0.85 | 746      | 1   |
| Revolver 2                                   | 1   | 3     | 220   | 3.2 | 3.2        | 3.2 | 3.2 | 0.85 | 746      | 1   |
| Bomba 1                                      | 1   | 3     | 220   | 6.2 | 6.2        | 6.2 | 6.2 | 0.85 | 1492     | 2   |
| Bomba 2                                      | 1   | 2     | 220   | 4.2 | 4.2        |     | 4.2 | 0.85 | 373      | 0.5 |
| Turbina                                      | 1   | 2     | 220   | 4.2 |            | 4.2 | 4.2 | 0.85 | 373      | 0.5 |
| Bomba retorno                                | 1   | 3     | 220   | 1.6 | 1.6        | 1.6 | 1.6 | 0.85 | 373      | 0.5 |
| Bomba ozono                                  | 1   | 2     | 220   | 7.4 |            | 7.4 | 7.4 | 0.85 | 746      | 1   |
| Bomba lavado                                 | 1   | 2     | 220   | 7.4 | 7.4        | 7.4 |     | 0.85 | 746      | 1   |
| Potencia                                     |     |       |       |     |            |     |     |      | 8579     |     |

### 2.1.2. Obtención de datos históricos.

Esta parte del diagnóstico, se refiere a la información que es necesaria recabar de un año atrás, sobre los consumos de energía que tuvo la empresa. Este registro, presenta un panorama completo, sobre la forma en que se usó la energía de la empresa a lo largo de ese tiempo. Como es anual, permite observar el comportamiento de la estación, por temporada, por períodos de alta producción o de paro. Se incluyen: el consumo de energía, la demanda máxima, el factor de potencia y el monto de la factura. La siguiente tabla muestra la información mencionada y contenida en los recibos mensuales, que deben ser localizados en los archivos de la empresa dichos datos son: el consumo de kWh por mes, las lecturas del medidor mes con mes, consumo promedio de kWh, el factor de potencia así como el factor de carga, y el dato más importante y que más interesa a la empresa la facturación de energía eléctrica.

**Tabla 2.8.** Información histórica de la facturación eléctrica de la fábrica de hielo.

| INFORMACION HISTORICA DE LA FACTURACIÓN ELECTRICA |        |             |                |                  |                |           |           |               |
|---|--------|-------------|----------------|------------------|----------------|-----------|-----------|---------------|
| DESDE   | HASTA  | DIAS<br>MES | CONSUMO<br>kWh | CONSUMO<br>PROM. | DEMANDA<br>kWh | F.P.<br>% | F.C.<br>% | FACTURA<br>\$ |
| 930720  | 930820 | 31          | 17721          | 571.645          | 46             | 79.01     | 0.518     | 4293.00       |
| 930820  | 930922 | 33          | 16812          | 509.455          | 46             | 63.21     | 0.462     | 4872.00       |
| 930922  | 931021 | 29          | 12955          | 446.724          | 49             | 78.10     | 0.380     | 3475.00       |
| 931021  | 931119 | 29          | 8722           | 300.758          | 42             | 78.15     | 0.298     | 2613.00       |
| 931119  | 931220 | 31          | 8553           | 275.903          | 43             | 80.51     | 0.267     | 2614.00       |
| 931220  | 940119 | 30          | 7791           | 259.700          | 44             | 80.10     | 0.246     | 2439.00       |
| 940119  | 940218 | 30          | 7593           | 253.100          | 44             | 84.87     | 0.249     | 2395.00       |
| 940218  | 940322 | 32          | 9139           | 285.594          | 44             | 98.67     | 0.270     | 2550.00       |
| 940322  | 940419 | 28          | 11022          | 393.643          | 44             | 97.25     | 0.373     | 2703.00       |
| 940419  | 940518 | 29          | 14422          | 497.310          | 49             | 96.49     | 0.423     | 3432.00       |
| 940518  | 940617 | 30          | 20106          | 670.200          | 57             | 95.17     | 0.489     | 4608.00       |
| 940617  | 940718 | 31          | 20095          | 648.226          | 56             | 94.64     | 0.482     | 4692.00       |
| 940718  | 940817 | 30          | 20981          | 699.367          | 53             | 94.42     | 0.594     | 4773.00       |
| PROMEDIOS   |        |             | 13531.7        | 447.050          | 47.46          |           |           | 3496.85       |

La siguiente figura muestra el consumo de kWh de una fábrica de hielo mes con mes durante todo un año, este tipo de graficas son indispensables para las empresas ya que en base a estas se puede observar en que mes se realizo el mayor consumo así como en cual se obtuvo el menor consumo.

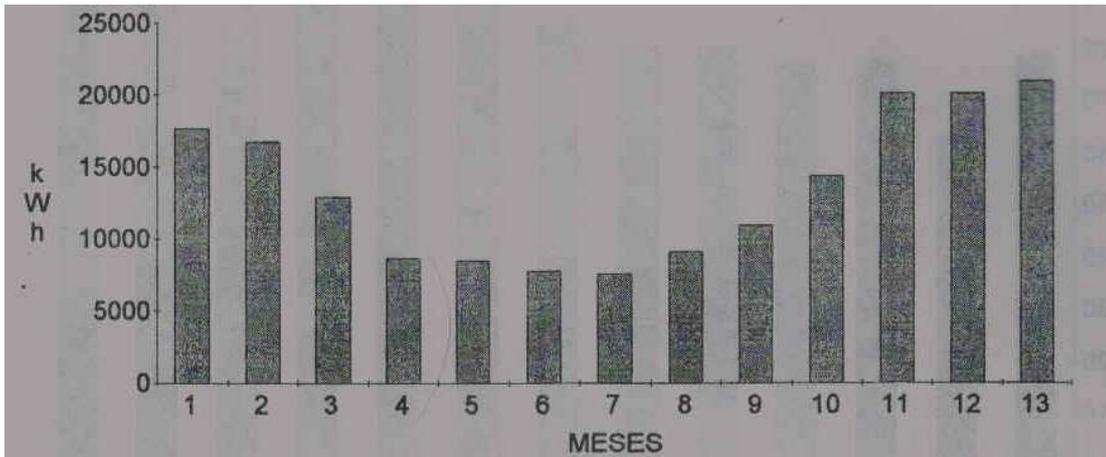


Figura 2.9. Gráfica de consumos en kWh.

La siguiente figura muestra la demanda máxima medida dentro de la fabrica de hielo mes con mes durante todo un año, y se observa que los meses que mas actividad hubo dentro de la misma fueron los últimos tres meses Octubre, Noviembre, Diciembre).

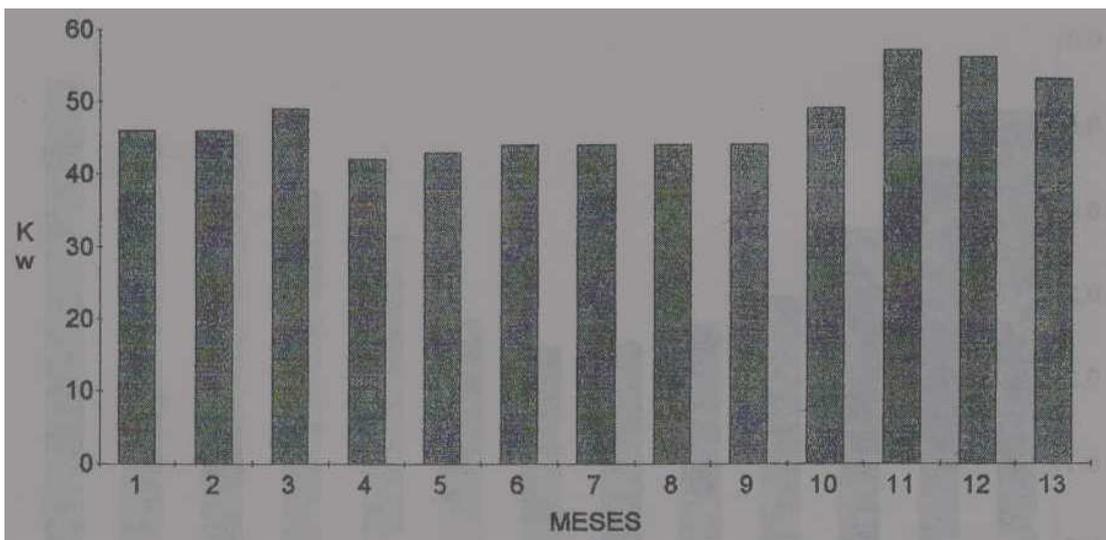


Figura 2.10. Gráfica de demanda máxima medida en kW.

En las figuras 2.11 y 2.12 se muestra el factor de potencia y el factor de carga respectivamente, dentro de la fabrica de hielo mes con mes durante todo un año, y se observa que el mes de Febrero es en el que se obtuvo el mas bajo factor de potencia y el mes de Agosto el mas alto factor; a su ves se observa que los meses centrales (Junio y Julio) tienen el valor mas bajo de factor de carga.

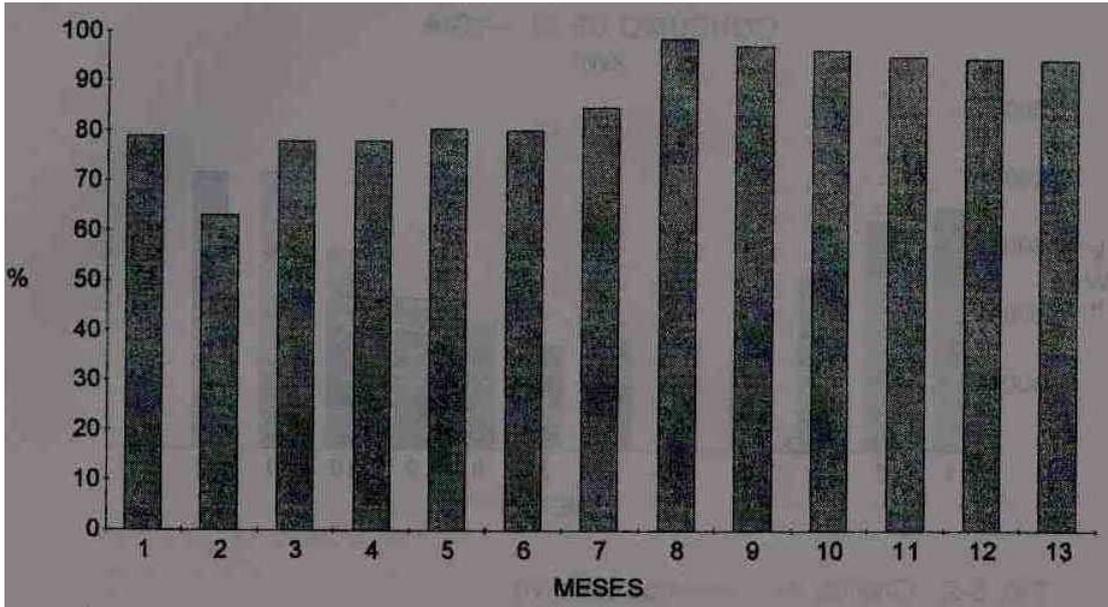


Figura 2.11. Gráfica del factor de potencia.

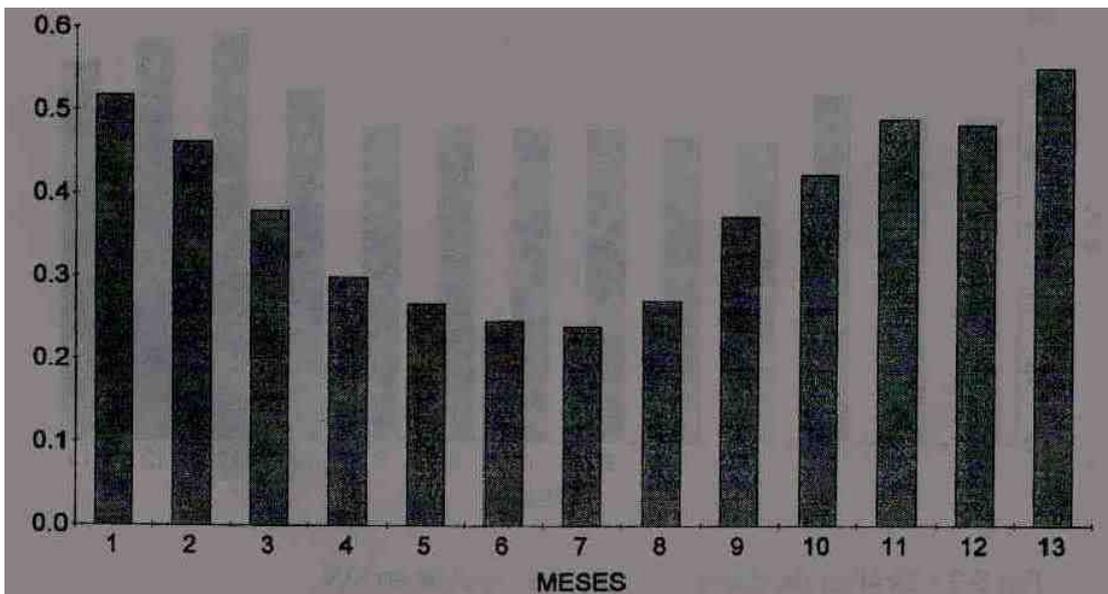


Figura 2.12. Gráfica del factor de carga.

Todos los datos analizados en las figuras anteriores (consumo de kWh, demanda máxima, factor de potencia y factor de carga) son parámetros que con llevan a la facturación, y la siguiente figura muestra la grafica de facturación para la fabrica de hielo.

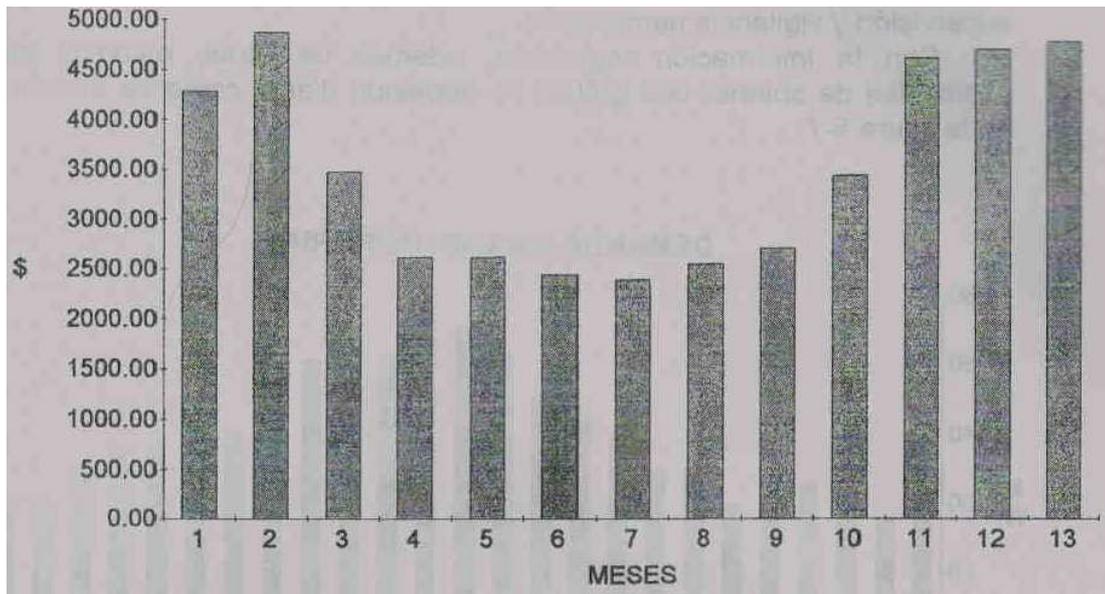


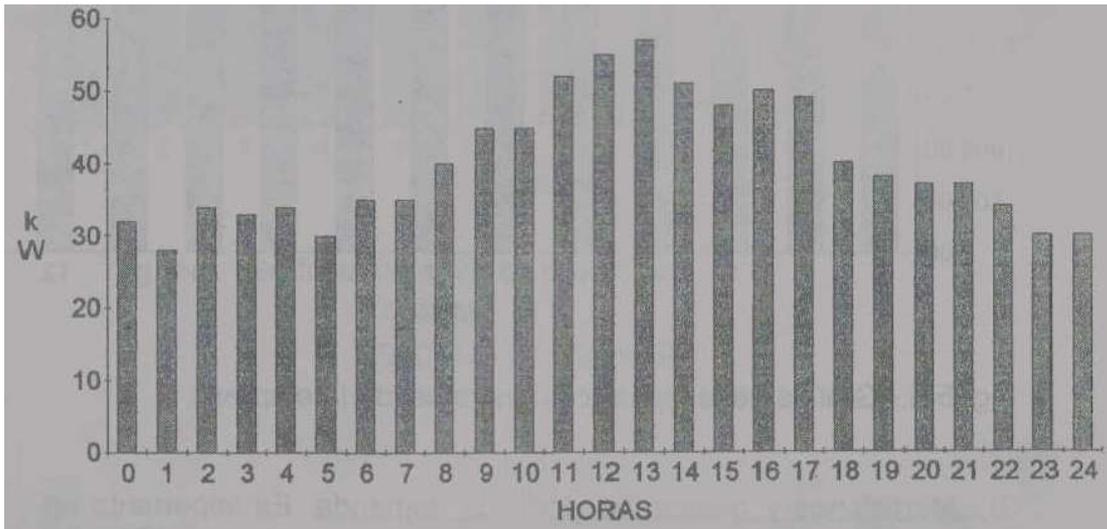
Figura 2.13. Gráfica de la facturación mensual de la empresa.

### 2.1.3. Mediciones y gráfica del perfil de demanda.

Es importante en esta parte del diagnóstico, efectuar mediciones de magnitudes eléctricas, tales como: volts, amperes, potencias y factor de carga en el circuito principal y en los circuitos derivados; en los motores y equipos de aire acondicionado, así como en las cargas particulares y que se consideren importantes.

Además de las mediciones de campo, una buena referencia es el equipo de medición instalado por la compañía suministradora en el punto de conexión, en el cual, únicamente se pueden obtener lecturas, que servirán de referencia a las mediciones de campo.

En el caso de usuarios contratados en tarifas horarias, estos, pueden disponer de la información que procesan los medidores de la compañía suministradora, para conocer al instante, los consumos, las demandas y el factor de potencia.



**Figura 2.14.** *Gráfica de demanda máxima diaria de la fábrica de hielo.*

La figura anterior muestra la demanda máxima diaria medida dentro de la fábrica de hielo, y se observa que las horas pico en las cuales la fábrica tiene el mayor consumo de la misma son entre las 11 y 13 horas

A partir del perfil de demanda, se obtiene la información importante sobre la operación de la carga, que conforma entre otros, la de los siguientes puntos:

- 1.- Demanda por hora, durante el día.
- 2.- Patrones de demanda diario y semanal.
- 3.- Demanda máxima y la hora en que se presenta.
- 4.- Demanda promedio y factor de carga.

#### **2.1.4. Proceso de fabricación.**

Además de las actividades mencionadas anteriormente, es necesario conocer los procesos de fabricación que tiene la empresa, ya que estos, definen la secuencia de operaciones involucradas en la elaboración del producto y la cantidad de carga eléctrica que interviene, en cada paso del mismo.

Es necesario analizar los procesos, sobre todo, aquellos que son simultáneos, para ver la cantidad de carga involucrada y el impacto que ésta tiene en la demanda.

#### **2.1.5. Determinación de los índices energéticos.**

Como parte del diagnóstico, es importante calcular estos índices, que son el resultado de la eficiencia con que trabaja el equipo, la maquinaria y los sistemas de producción. Como consecuencia de ello, nos dicen en forma global, el potencial de ahorro de energía en las instalaciones diagnosticadas, ya sea porque se obtienen en los estudios efectuados, costos de producción muy elevados o porque tenemos la referencia de los índices manejados en otras empresas del mismo ramo.

# Capítulo

# 3

---

---

## *Costos de la Energía, Facturación y Tarifas Eléctricas*

En este capítulo se hace mención de los conceptos que se toman en cuenta para estructurar el costo por energía eléctrica por parte de la compañía suministradora de electricidad, las diferentes tarifas que existen (cabe hacer mención que estas varían de acuerdo a la región en que se encuentran así como también si se está o no en horario de verano), además de la facturación y los cargos en la misma.

**Potencia:** La potencia se define como la rapidez con que se efectúa un trabajo; también se define como, la capacidad que tiene una máquina para desarrollar un trabajo a lo largo del tiempo. [10]

**Energía:** La energía se define como el trabajo hecho a lo largo del tiempo, por una carga de capacidad determinada. [10]

**Capacidad:** Se define como la potencia con que se diseña y construye un equipo eléctrico. Las unidades más comunes son el kVA cuando se habla de transformadores y motores; en kW, si se trata de elementos resistivos y en Kva., si se refiere a condensadores electrostáticos o capacitores. Todo el equipo eléctrico conectado a un circuito, conforma la capacidad instalada. [10]

**Carga:** Es el equipo eléctrico conectado a una instalación y potencialmente utilizable; es la cantidad de equipo eléctrico que se encuentra funcionando al mismo tiempo y por lo tanto, es la que define el perfil de la curva de potencia a lo largo del periodo. Tratándose de sistemas de distribución, el perfil de la curva de potencia queda definido por el comportamiento de la carga, y presenta características que están en función de los procesos industriales, el horario de la venta en los comercios y las costumbres regionales, el nivel económico y el clima si se trata del sector residencial. [10]

Las plantas generadoras, en su calidad de productoras de energía eléctrica, manejan dos parámetros: la potencia y la energía. La relación entre estas magnitudes, es una relación de tiempo, ya que la potencia equivale a la energía dividida por el tiempo o bien la energía equivale a la potencia multiplicada por el tiempo.

La potencia eléctrica no puede almacenarse, pues tiene que usarse en el momento de su generación. Al hacerlo durante un determinado tiempo, transforma energía y desarrolla trabajo. Esto hace muy especial el comportamiento de los sistemas eléctricos, porque la generación se modifica conforme lo solicita la carga conectada.

La utilización de energía eléctrica requiere de pequeñas cantidades de potencia de uso continuo o de grandes cantidades de potencia en periodos cortos de tiempo.

### **3.1. ESTRUCTURA DE LAS TARIFAS. [11]**

Actualmente en México existen 33 tarifas eléctricas, las cuales se pueden clasificar en:

- ❖ Domésticas
- ❖ Servicio público
- ❖ Riego agrícola
- ❖ Servicios generales

Dentro de las tarifas de servicios generales se dividen en: alta, media y baja tensión.

La estructura de las tarifas por consumo de energía eléctrica se basa en los costos de suministro a los usuarios, por lo cual se han tomado en cuenta las diferencias regionales, estaciones del año, horarios de consumo, nivel de la tensión de suministro y la demanda.

Generalmente son tres conceptos que se consideran para formular las facturas de consumo de energía eléctrica: **la demanda máxima, la energía consumida y el factor de potencia.**

#### **3.1.1. Cargos por Demanda Máxima.**

Entre mayor sea la demanda de energía en un momento dado por un periodo de 15 minutos, más alto será también el cargo por demanda. Entre más uniforme se pueda repartir el consumo de energía eléctrica en una planta, más bajo será el cargo por demanda.

### **3.1.2. Cargos por Energía Consumida.**

Los costos de operación de la parte de la factura de consumo de energía eléctrica se basan en el número de Kwh registrados en término de cierto periodo.

### **3.1.3. Cargos por Bajo Factor de Potencia.**

Debido a que la compañía suministradora tendrá que transmitir una corriente mayor a un sistema con bajo factor de potencia, que a uno cuyo factor de potencia sea alto, se ha introducido una cláusula, dicha la cual ofrece una reducción en las cuotas de consumo para cargas con factor de potencia alto, o impone una multa si el factor de potencia es bajo.

Dentro de los recibos de la facturación eléctrica en las tarifas horarias, existen algunos conceptos que el usuario debe conocer a efecto de entender y aplicar las alternativas que ofrecen este tipo de tarifas.

## **3.2. FACTOR DE CARGA. [11]**

Es un indicador de la forma en que se usa la energía eléctrica en una instalación, y se puede interpretar como una medida de aprovechamiento de la energía consumida con relación a la demanda máxima.

El factor de carga (F.C.) también se define como la razón de demanda promedio a la demanda máxima, o bien, la razón entre el consumo eléctrico de un periodo y el producto de la demanda máxima medida por el número de horas del periodo de facturación.

Este parámetro es útil para evaluar la oportunidad de mejorar el uso de la energía eléctrica y se calcula como sigue:

$$\text{F.C.} = \frac{\text{Demanda media (kW)}}{\text{Demanda máxima (kW)}} \times 100 \text{ [\%]}$$

También se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{F.C.} = \frac{\text{Consumo de energía del periodo de facturación (kWh)}}{\text{Demanda máxima (kW)} \times \text{horas del periodo de facturación}} \times 100 \text{ [\%]}$$

### **3.3. FACTOR DE POTENCIA. [11]**

Es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. El factor de potencia toma valores entre 0 y 1.

En los artefactos tales como lámparas incandescentes, planchas y estufas eléctricas, toda la energía que requieren para funcionar es transformada en energía lumínica o energía calorífica, en cuyo caso el Factor de Potencia toma valor de 1.

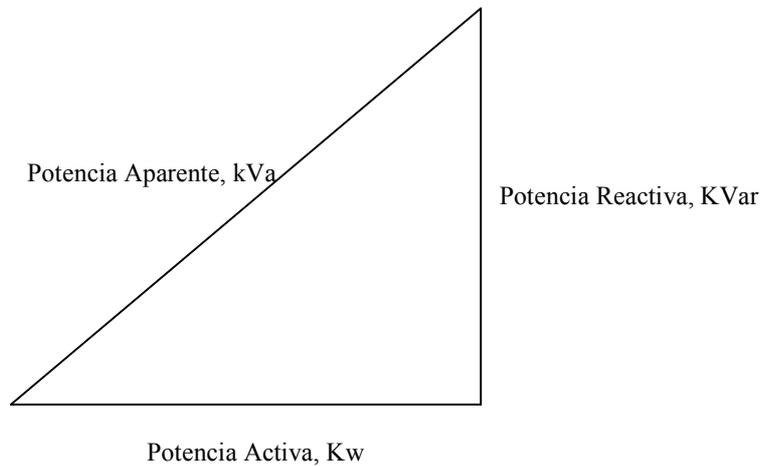
Los artefactos del tipo electromecánicos, como por ejemplo: lavadoras, heladeras, equipos de aire acondicionado, y ventiladores entre otros, además de la energía que se transforma en energía mecánica, energía térmica, etc., requieren energía para su propio funcionamiento, en cuyo caso, el factor de potencia toma valores menores a 1.

A la energía que se transforma en trabajo, se denomina energía activa, mientras que aquella utilizada para el propio funcionamiento del artefacto, se llama energía reactiva (véase figura 3.1)

El factor de potencia (FP) es la relación entre la potencia activa en kW y la potencia aparente en kilovolts-amperes kVA, y está definido por la siguiente ecuación:

$$\text{FP} = \cos \theta = \frac{\text{Potencia activa (kW)}}{\text{Potencia aparente (kVA)}}$$

Donde el FP es adimensional, o bien se puede expresar en forma de porcentaje. Esta relación también se expresa por el triángulo de potencias en donde se ve la relación entre estas dos energías.



**Figura 3.1.** Triangulo de potencias.

### **3.3.1. Causas y Consecuencias del Bajo Factor de Potencia.**

**Causas.-** En los circuitos eléctricos se distinguen dos tipos básicos de cargas: cargas resistivas y cargas reactivas, estas últimas a su vez se dividen en inductivas y capacitivas. La mayoría de las cargas en las instalaciones eléctricas son una combinación de los dos tipos básicos, predominando las de naturaleza inductiva como: motores de inducción, balastos, transformadores, etc., cuyo factor de potencia es bajo, por el atraso de la corriente con relación al voltaje. Precisamente las cargas inductivas, son el origen de un bajo factor de potencia.

**Consecuencia.-** Para una potencia constante, la cantidad de corriente de la red se incrementará en la medida que el factor de potencia disminuya.

La influencia que tiene el factor de potencia sobre el valor de la corriente demandada en el sistema, ocasiona pérdidas entre las que destacan:

a) Aumento de las pérdidas por efecto Joule, las cuales son en función del cuadrado de la corriente; estas pérdidas se manifestarán en:

- los cables entre el medidor y el usuario
- los embobinados de los transformadores de distribución
- dispositivos de operación y protección

b) Un aumento en la caída de voltaje resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas (motores, lámparas, etc.); estas cargas sufren una reducción en su potencia de salida. Esta caída de voltaje afecta a:

- los embobinados de los transformadores de distribución
- los cables de alimentación
- sistemas de protección y control

c) Incremento de la potencia aparente, con lo que se reduce la capacidad de carga instalada.

Esto es importante en el caso de los transformadores de distribución. Un bajo factor de potencia implica pérdidas que afectan al productor y al distribuidor de energía eléctrica, por lo que se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

### **3.3.2. Cargos por factor de potencia.**

En México, de acuerdo a la tarifa y al Diario Oficial de la Federación, cuando el factor de potencia tenga un valor inferior a 0.9, el suministrador de energía eléctrica tendrá derecho a cobrar al usuario una penalización o cargo por la cantidad que resulte de aplicar al monto de la facturación el porcentaje de recargo que se determine según la siguiente fórmula:

*Fórmula para calcular la penalización por bajo factor de potencia (FP<0.9)*

$$\text{Penalización (\%)} = \frac{3}{5} \times \left( \frac{0.9}{FP} - 1 \right) \times 100$$

En el caso de que el factor de potencia tenga un valor superior de 90%, el suministrador tendrá la obligación de bonificar al usuario la cantidad que resulte de aplicar a la factura el porcentaje de bonificación según la fórmula:

*Fórmula para calcular la bonificación por alto factor de potencia (FP>0.9)*

$$\text{Bonificación (\%)} = \frac{1}{4} \times \left( 1 - \frac{0.9}{FP} \right) \times 100$$

Los valores resultantes de la aplicación de estas fórmulas se redondearán a un solo decimal, por defecto o por exceso, según sea o no menor que 5 el segundo decimal. En ningún caso se aplicarán porcentajes de penalización superiores a 120%, ni porcentajes de bonificación superiores a 2.5%.

### **3.4. TARIFAS ELÉCTRICAS. [10]**

La estructura tarifaria a nivel nacional se ha venido modificando para dar una mayor gama de opciones a los diferentes segmentos de consumidores y establecer el precio a cada usuario en función de la energía demandada, tensión, temperatura, tipo y garantía de servicio, además de permitir una mejor administración de la demanda de electricidad.

A partir del 11 de noviembre de 1991, y por medio del Diario Oficial de la Federación, se autorizan las tarifas a ser aplicadas por la Comisión Federal de Electricidad y demás compañías suministradoras de energía de la República Mexicana. La denominación de ellas quedan como sigue: 1, 1A, 1B, 1C, 2, 3, 5, 5A, 6, 7, 9, OM, HM, HS, HT.

El 30 de abril de 1992, se publica en el Diario oficial la creación de las tarifas H-TL, HS-L e I-30. Por el mismo conducto, pero con fecha 4 de octubre de 1993, se incorpora la tarifa I-15. Así mismo, el 13 de mayo de 1994 se establecen las tarifas para servicio de respaldo en alta tensión a productores externos, denominándose de acuerdo al nivel de voltaje como: HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF y HT-RM y el 30 de septiembre del mismo año se adicionan las tarifas HM-R, HM-RF y HM-RM.

La tarifa 1E para servicio doméstico se incorpora a las ya existentes, publicándose su estructura el 26 de mayo de 1995 y con fecha 15 de noviembre de 1996, se publican en el Diario Oficial, modificaciones de aplicación a las tarifas vigentes.

También, el 30 de diciembre de 1997 se publican en el Diario Oficial la modificación al límite en la demanda en las tarifas OM y HM, para quedar en 300 kW, en lugar de los 500 kW anteriores, y el 29 de diciembre de 1998 se publica por la misma fuente oficial un nuevo límite entre estas dos, y tarifas para quedar en 100 kW, y fija como mínimo de la demanda contratada de 10kW para la tarifa OM en lugar de los 20 kW anteriormente establecidos.

Las tarifas que tienen en su estructura a la demanda máxima como cargo, además de la energía consumida son:

**Tabla 3.1.** *Tarifas con demanda máxima como cargo.*

| <b>Tarifa</b> | <b>Denominación</b>   |
|---------------|---|
| 3             | Servicio general para más de 25 kW de demanda.  |
| 7             | Servicio temporal.  |
| O-M           | Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW.                  |
| H-M           | Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más.                 |
| H-S           | Tarifa ordinaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión.                         |
| H-SL          | Tarifa ordinaria para servicio general en alta tensión, nivel subtransmisión, para larga utilización. |
| H-T           | Tarifa ordinaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión.                            |
| H-TL          | Tarifa ordinaria para servicio general en alta tensión, nivel transmisión, para larga utilización.    |
| I-15          | Tarifa para servicio interrumpible.   |
| I-30          | Tarifa para servicio interrumpible.   |

Además, todas las tarifas horarias para servicio de respaldo.

A continuación se describe un poco la tarifa OM así como de la tarifa HM para comprender la aplicación de la demanda a la venta de energía.

Tarifa O-M.- Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda menor a 100 kW.

1.- Aplicación.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda menor a 100 kW.

2.- Cuotas aplicables mensualmente.

Se aplicarán los siguientes cargos por la demanda máxima medida y por la energía consumida.

**Tabla 3.2.** Cargos por demanda máxima medida y por energía consumida según la región.

| Región                                | Cargo por kW de<br>demanda<br>máxima medida \$ | Cargo por kW de<br>energía<br>Consumida \$ |
|---------------------------------------|--|--|
| Baja California (verano)              | 35.312   | 0.29808                                    |
| Baja California (fuera de verano)     | 32.004   | 0.24395                                    |
| Baja California Sur (verano)          | 39.085   | 0.40043                                    |
| Baja California Sur (fuera de verano) | 34.815   | 0.29717                                    |
| Central                               | 39.950   | 0.29866                                    |
| Noroeste                              | 36.719   | 0.27604                                    |
| Noroeste (verano)                     | 42.747   | 0.29294                                    |
| Noroeste (fuera de verano)            | 35.660   | 0.27042                                    |
| Norte                                 | 36.886   | 0.27811                                    |
| Peninsular                            | 42.251   | 0.30052                                    |
| Sur                                   | 39.950   | 0.28735                                    |

3.- Mínimo mensual.

El importe que resulta de aplicar diez veces el cargo por kilowatt de demanda máxima medida.

#### 4.- Demanda Contratada.

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del sesenta por ciento (60%) de la carga total conectada, ni menor a los diez kilowatts o la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

En el caso de que el sesenta por ciento de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, solo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de noventa por ciento (90%).

#### 5.- Temporadas de verano y fuera de verano.

Para aplicar las cuotas correspondientes en las regiones Baja California, Baja California Sur y Noroeste se definen las siguientes temporadas:

Verano:

Región Baja California: del 1° de mayo, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Región Baja California Sur: del 1er domingo de abril, al sábado anterior del último domingo de octubre.

Noroeste: del 16 de mayo, al sábado anterior al último domingo de octubre.

Fuera de verano:

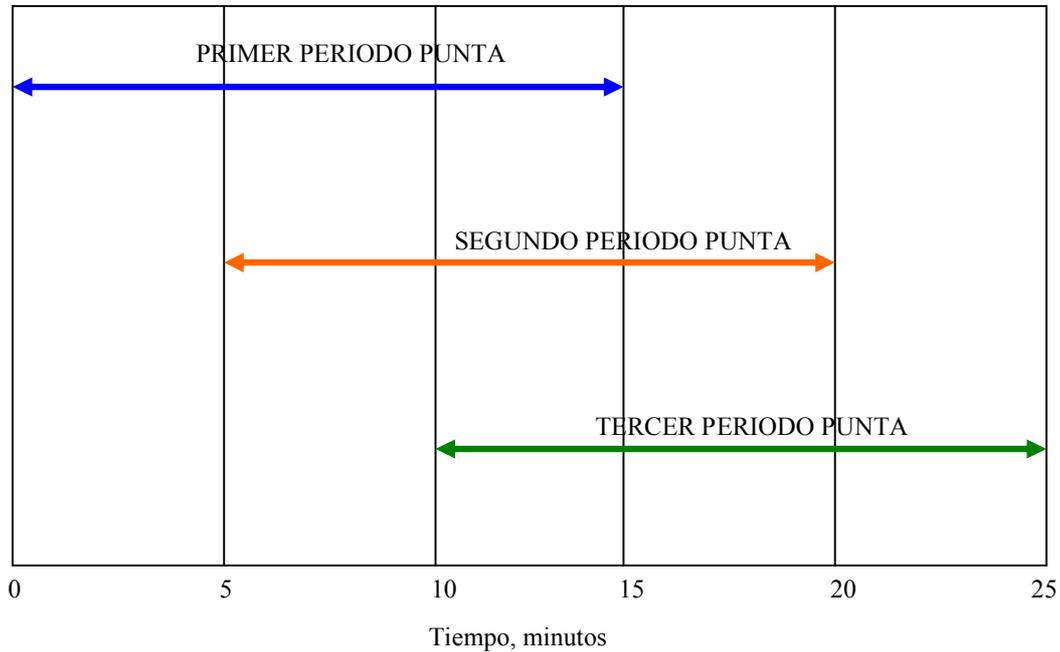
Región Baja California: del último domingo de octubre al 30 de abril.

Región Baja California Sur: del último domingo de octubre, al 15 de mayo.

Noroeste: del último domingo de octubre, al 15 de mayo.

#### 6.- Demanda Máxima Medida.

La demanda máxima medida se determinará mensualmente por medio de instrumentos de medición, que indican la demanda medida en kilowatts, durante cualquier intervalo de quince minutos, en el consumo de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de quince minutos en el período de facturación.



**Figura 3.2.** *Periodos de Demanda de Energía.*

En la figura 3.2 se observa los periodos de trabajo, comprendidos cada uno de quince minutos, entre el primer periodo y el segundo existe una diferencia de cinco minutos así mismo entre el segundo y el tercero; sin embargo entre el primer periodo y tercer periodo existe una diferencia de diez minutos.

Cualquier fracción de kilowatt de Demanda Máxima Medida se tomará como kilowatt completo.

Cuando la Demanda Máxima Medida exceda de 100 kW, el usuario deberá de solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa H-M. de no hacerlo, al tercer mes consecutivo en que exceda la demanda de 100 kilowatts, será reclasificado por el suministrador en al tarifa H-M modificándose el usuario.

7.- Depósito de garantía.

Dos veces el importe que resulte de aplicar el cargo por demanda máxima medida a la demanda contratada.

Nota: Las cuotas indicadas corresponden al día 1° del mes de diciembre de 1996 y estarán sujetas a un ajuste automático en los términos de los resolutivos quinto y séptimo transitorio del Acuerdo de Autorización de ajuste del 15 de noviembre de 1996.

Por lo anterior, a los servicios contratados en esta tarifa se les debe medir el consumo de energía en kWh, la demanda en kW y el consumo de energía reactiva en kVArh, este último para calcular el factor de potencia promedio a que trabaje la carga.

Tratándose de un período de facturación mensual, la demanda máxima es la mayor de todas las demandas y las energías consumidas son la diferencia entre las lecturas final e inicial tomadas a los medidores de kWh y kVArh: Así la demanda máxima medida se convierte en la demanda de facturación.

La estructura de la tarifa O-M al igual que todas las que incorporan la demanda como elemento de facturación, es resultado de la combinación de las antiguas tarifas Hopkinson y Wright, llamadas así porque el primero inventó la tarifa con un cargo por demanda, mientras el segundo diseñó una estructura que reconoce el factor de carga del equipo eléctrico en su conjunto, de manera que conforme éste se aproxima a la unidad, el precio medio por kWh disminuye.

El termino “**demanda base de facturación**” se empleó en la estructura de las tarifas hasta el mes de agosto de 1982 y era el valor en kW, que resultara mayor entre la demanda contratada y la demanda medida; de tal manera, que no había interés en el usuario para controlar el uso del equipo, ya que la demanda contratada, se convertía en demanda base para su facturación. La demanda medida, generalmente es menor a la demanda base contratada y cuando la superaba, intervenía como demanda base de facturación por mes.

Si continuaba arriba, el nuevo valor de la demanda base de facturación, era el resultado del promedio de las tres demandas medidas consecutivas mayores.

A partir de esa fecha, el término se sustituyó por el de demanda máxima medida como base de facturación, de tal manera que se presenta una relación directa entre la demanda máxima y el monto de la factura. Esto trae como consecuencia, un atractivo por el ahorro de energía, con la administración de la demanda.

El comportamiento del costo medio del kWh consumido, en función del factor de carga, se observa en la tabla 3.3 y nos dice que este costo es menor a mayores factores de carga.

En este orden, cada usuario debe buscar el menor costo de energía mejorando el factor de carga de su instalación a valores que se actividad productiva se lo permita. Por lo tanto, es importante determinar el factor de carga, ya que su valor representa la relación demanda-energía y depende, básicamente, de la capacidad y carga del equipo instalado, el proceso productivo involucrado y las horas de trabajo.

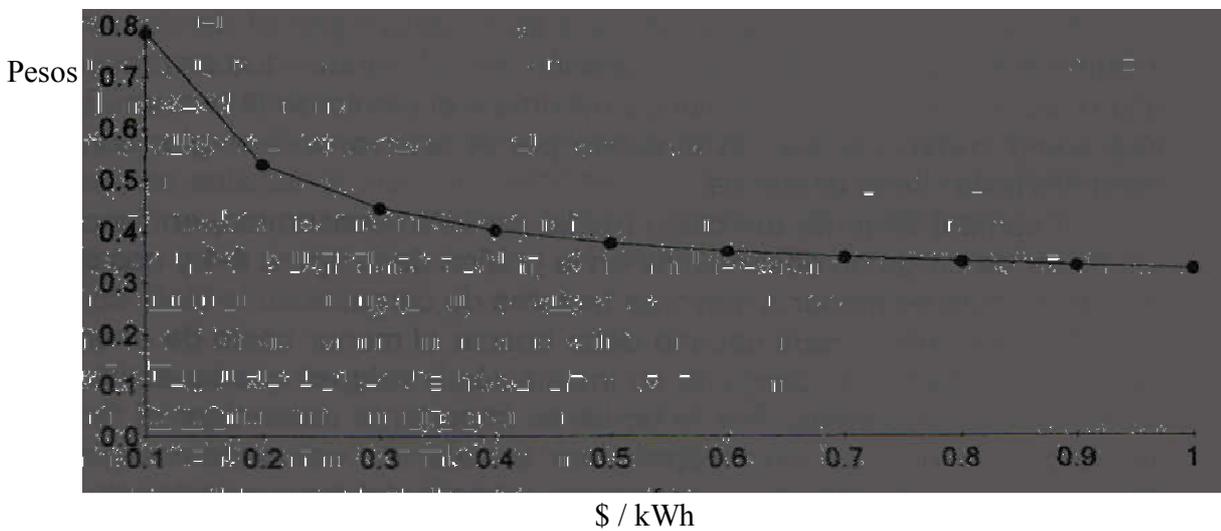
Si el f.c.  $\longrightarrow$  1, la demanda máxima  $\longrightarrow$  a la demanda promedio.

El costo medio del kWh a diferentes factores de carga y aplicando los costos de la tarifa OM se muestra a continuación.

**Tabla 3.3.** Costo medio del kWh en un mes de trabajo, en tarifa OM, para la Región Noroeste.

| COSTO MEDIO DEL kWh EN LA TARIFA O-M |      |     |          |          |          |         |
|--------------------------------------|------|-----|----------|----------|----------|---------|
| Valores                              |      |     | Costos   |          |          |         |
| kW                                   | f.c. | kWh | Demanda  | Energía  | Total    | \$/ kWh |
| 1                                    | 0.1  | 72  | \$36.719 | \$19.87  | \$56.59  | 0.7859  |
| 1                                    | 0.2  | 144 | \$36.719 | \$39.75  | \$76.47  | 0.5310  |
| 1                                    | 0.3  | 216 | \$36.719 | \$59.62  | \$96.34  | 0.4460  |
| 1                                    | 0.4  | 288 | \$36.719 | \$79.50  | \$116.22 | 0.4035  |
| 1                                    | 0.5  | 360 | \$36.719 | \$99.37  | \$136.01 | 0.3778  |
| 1                                    | 0.6  | 432 | \$36.719 | \$119.25 | \$155.97 | 0.3610  |
| 1                                    | 0.7  | 504 | \$36.719 | \$139.12 | \$175.84 | 0.3489  |
| 1                                    | 0.8  | 576 | \$36.719 | \$159.00 | \$195.72 | 0.3398  |
| 1                                    | 0.9  | 648 | \$36.719 | \$178.90 | \$215.62 | 0.3327  |
| 1                                    | 1.0  | 720 | \$36.719 | \$198.74 | \$235.46 | 0.3270  |

Una vez analizado el costo medio del kWh en función del factor de carga se procede a graficar dichos valores para observar la tendencia en cuanto a lo económico (Véase figura 3.3).



**Figura 3.3.** Grafica del costo medio del kWh en función del factor de carga. Datos de la tabla 3.3.

Tarifa H-M.- Tarifa ordinaria para servicio general en media tensión, con demanda de 100 kW o más.

1.- Aplicación.

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kW o más.

2.- Cuotas aplicables mensualmente.

Se aplicarán los siguientes cargos por la demanda facturable, por la energía de punta, por la energía intermedia y por la energía de base (Véase tabla 3.4).

**Tabla 3.4.** *Cargos por demanda facturable así como energía de punta, intermedia y base según la región.*

| <b>Región</b>       | <b>Cargo por kW<br/>de demanda<br/>facturable<br/>\$</b> | <b>Cargo por kWh<br/>de energía<br/>de punta<br/>\$</b> | <b>Cargo por kWh<br/>de energía<br/>intermedia<br/>\$</b> | <b>Cargo por kW<br/>de energía<br/>de base<br/>\$</b> |
|---------------------|--|---|---|---|
| Baja California     | 59.709   | 0.81601   | 0.22580   | 0.17774   |
| Baja California Sur | 57.354   | 0.65485   | 0.31326   | 0.22186   |
| Central             | 41.399   | 0.78198   | 0.25020   | 0.20897   |
| Noreste             | 38.051   | 0.72250   | 0.23236   | 0.19026   |
| Noroeste            | 71.886   | 0.69224   | 0.24799   | 0.19946   |
| Norte               | 38.224   | 0.72229   | 0.23447   | 0.19077   |
| Peninsular          | 42.747   | 0.81806   | 0.26215   | 0.20101   |
| Sur                 | 41.399   | 0.76585   | 0.23924   | 0.19873   |

3.- Mínimo mensual.

El importe que resulta de aplicar el cargo por kilowatt de demanda facturable al diez por ciento de la demanda contratada.

4.- Demanda Contratada.

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del sesenta por ciento (60%) de la carga total conectada, ni menor de cien kilowatts o de la capacidad del mayor motor o aparato instalado.

En el caso de que el sesenta por ciento de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, solo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de noventa por ciento (90%).

5.- Horario.

Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX, así como los que se establezcan por Acuerdo Presidencial.

6.- Periodos de Punta, Intermedio y Base.

Estos periodos se definen en cada una de las regiones tarifarias para las distintas temporadas del año, como se describe a continuación. (Véase tablas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9)

**Tabla 3.5.** *Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Baja California.*

| <b>Región</b>   | <b>Periodo estacional (verano/fuera de verano)</b>              | <b>Periodo Tarifario</b> | <b>Lunes a Viernes</b>        | <b>Sábados</b>                | <b>Domingos</b> |
|-----------------|---|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| Baja California | Del 1° de mayo, al sábado anterior al último domingo de octubre | Intermedio               | 0:00 a 12:00<br>18:00 a 24:00 | 0:00 a 24:00                  | 0:00 a 24:00    |
|                 |   | Punta                    | 12:00 a 18:00                 |                               |                 |
| Baja California | Del ultimo domingo de octubre al 30 de abril                    | Base                     | 0:00 a 17:00<br>22:00 a 24:00 | 0:00 a 18:00<br>21:00 a 24:00 | 0:00 a 24:00    |
|                 |   | Intermedio               | 17:00 a 22:00                 | 18:00 a 21:00                 |                 |

**Tabla 3.6.** *Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Baja California Sur.*

| Región              | Periodo estacional (verano/fuera de verano)                               | Periodo Tarifario | Lunes a Viernes               | Sábados                       | Domingos                      |
|---------------------|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Baja California Sur | Del 1er domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre | Intermedio        | 0:00 a 12:00<br>22:00 a 24:00 | 0:00 a 19:00<br>22:00 a 24:00 | 0:00 a 24:00                  |
|                     |   | Punta             | 12:00 a 22:00                 | 19:00 a 22:00                 |                               |
| Baja California Sur | Del último domingo de octubre al sábado anterior al 1er domingo de abril  | Base              | 0:00 a 18:00<br>22:00 a 24:00 | 0:00 a 18:00<br>21:00 a 24:00 | 0:00 a 19:00<br>21:00 a 24:00 |
|                     |   | Intermedio        | 18:00 a 22:00                 | 18:00 a 21:00                 | 19:00 a 21:00                 |

**Tabla 3.7.** *Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en las regiones Central, Noreste, Norte y Sur.*

| Región                        | Periodo estacional (verano/fuera de verano)                               | Periodo Tarifario | Lunes a Viernes               | Sábados                       | Domingos      |
|-------------------------------|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Central, Noreste, Norte y Sur | Del 1er domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre | Base              | 0:00 a 6:00                   | 0:00 a 7:00                   | 0:00 a 19:00  |
|                               |   | Intermedio        | 6:00 a 20:00<br>22:00 a 24:00 | 7:00 a 24:00                  | 19:00 a 24:00 |
|                               |   | Punta             | 20:00 a 22:00                 |                               |               |
| Central, Noreste, Norte y Sur | Del último domingo de octubre al sábado anterior al 1er domingo de abril  | Base              | 0:00 a 6:00                   | 0:00 a 8:00                   | 0:00 a 18:00  |
|                               |   | Intermedio        | 6:00 a 18:00<br>22:00 a 24:00 | 8:00 a 19:00<br>21:00 a 24:00 | 18:00 a 24:00 |
|                               |   | Punta             | 18:00 a 22:00                 | 19:00 a 21:00                 |               |

**Tabla 3.8.** *Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Noroeste.*

| Región   | Periodo estacional (verano/fuera de verano)                     | Periodo Tarifario | Lunes a Viernes                                | Sábados                       | Domingos                      |
|----------|---|-------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|
| Noroeste | Del 16 de mayo, al sábado anterior al último domingo de octubre | Intermedio        | 0:00 a 13:00<br>17:00 a 20:00<br>23:00 a 24:00 | 0:00 a 24:00                  | 0:00 a 24:00                  |
|          |   | Punta             | 13:00 a 17:00<br>20:00 a 23:00                 |                               |                               |
| Noroeste | Del último domingo de octubre al 15 de mayo                     | Base              | 0:00 a 17:00<br>22:00 a 24:00                  | 0:00 a 18:00<br>22:00 a 24:00 | 0:00 a 19:00<br>21:00 a 24:00 |
|          |   | Intermedio        | 17:00 a 22:00                                  | 18:00 a 22:00                 | 19:00 a 21:00                 |

**Tabla 3.9.** *Periodos base, intermedio y punta de las tarifas H-M, HM-R, HM-RF Y HM-RM en la región Peninsular.*

| Región     | Periodo estacional (verano/fuera de verano)                               | Periodo Tarifario | Lunes a Viernes               | Sábados       | Domingos                      |
|------------|---|-------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| Peninsular | Del 1er domingo de abril, al sábado anterior al último domingo de octubre | Base              | 0:00 a 8:00                   | 0:00 a 9:00   | 0:00 a 18:00                  |
|            |   | Intermedio        | 8:00 a 19:00<br>22:00 a 24:00 | 9:00 a 24:00  | 18:00 a 24:00                 |
|            |   | Punta             | 19:00 a 22:00                 |               |                               |
| Peninsular | Del último domingo de octubre, al sábado anterior al 1er domingo de abril | Base              | 0:00 a 9:00<br>23:00 a 24:00  | 0:00 a 17:00  | 0:00 a 18:00<br>23:00 a 24:00 |
|            |   | Intermedio        | 9:00 a 18:00<br>21:00 a 23:00 | 17:00 a 24:00 | 18:00 a 23:00                 |
|            |   | Punta             | 18:00 a 21:00                 |               |                               |

7.- Demanda Facturable.

La demanda facturable se define como se establece a continuación.

$$DF = DP + FRI \times \max (DI-DP, 0) + FRB \times \max (DB-DPI, 0)$$

Donde:

- DF** Demanda Facturable.
- DP** Demanda Máxima Medida en el Periodo de Punta.
- DI** Demanda Máxima Medida en el Periodo Intermedio.
- DB** Demanda Máxima Medida en el Periodo de Base.
- DPI** Demanda Máxima Medida en el Periodo de Punta e Intermedio.
- max** Significa máximo, es decir, que cuando la diferencia de demandas entre paréntesis sea negativa, ésta tomará el valor cero.
- FRI Y FRB** Son factores de reducción, los cuales dependerán de la tarifa y región a la que se haga referencia. Los valores de los factores de reducción se presentan en la tabla 3.10

**Tabla 3.10. Factores de reducción.**

| Región              | Tarifa H-M |       | Tarifa H-S y H-SL |       | Tarifa H-T y H-TL |       |
|---------------------|------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
|                     | FRI        | FRB   | FRI               | FRB   | FRI               | FRB   |
| Baja California     | 0.141      | 0.070 | 0.066             | 0.033 | 0.066             | 0.033 |
| Baja California Sur | 0.195      | 0.097 | 0.124             | 0.062 | 0.104             | 0.052 |
| Central             | 0.300      | 0.150 | 0.200             | 0.100 | 0.100             | 0.050 |
| Noreste             | 0.300      | 0.150 | 0.200             | 0.100 | 0.100             | 0.050 |
| Noroeste            | 0.162      | 0.081 | 0.101             | 0.050 | 0.048             | 0.240 |
| Norte               | 0.300      | 0.150 | 0.200             | 0.100 | 0.100             | 0.050 |
| Peninsular          | 0.300      | 0.150 | 0.200             | 0.100 | 0.100             | 0.050 |
| Sur                 | 0.300      | 0.150 | 0.200             | 0.100 | 0.100             | 0.050 |

Las demandas máximas medidas en los distintos periodos de las tarifas horarias son obtenidas de la demanda instantánea integrada por el medidor de la compañía eléctrica sobre cualquier intervalo de 15 minutos (véase figura 3.2), en el cual la demanda de energía eléctrica sea mayor que en cualquier otro intervalo de 15 minutos en el periodo de facturación.

Para las regiones de Baja California, Baja California Sur y Noroeste, DP tomará el valor cero durante la temporada que no tiene periodo de punta.

Cualquier fracción de kilowatt de demanda facturable se tomará como kilowatt completo. Cuando el usuario mantenga durante 6 meses consecutivos valores de DP, DI, DB inferiores a 100 kW, podrá solicitar al suministrador su incorporación a la tarifa O-M.

#### 8.- Energía de punta, intermedia y de base.

Energía de punta es la energía consumida durante el periodo de punta.

Energía de intermedia es la energía consumida durante el periodo intermedio.

Energía de base es la energía consumida durante el periodo de base.

#### 9.- Depósito de garantía.

Dos veces el importe que resulte al aplicar el cargo por demanda facturable a la demanda contratada.

Nota: Las cuotas indicadas corresponden al día 1° del mes de diciembre de 1996 y estarán sujetas a un ajuste automático en los términos de los resolutivos quinto y séptimo transitorio del Acuerdo de Autorización de ajuste del 15 de noviembre de 1996.

### **3.5. FUNCIONES DE LAS TARIFAS. [11]**

Las tarifas tienen tres funciones principales: la financiera, la económica y la política y social.

#### **3.5.1. Función financiera.**

Se refiere al nivel tarifario que permite asegurar el financiamiento de los costos de explotación y de inversión, así como la realización de los objetivos financieros, por ejemplo el equilibrio presupuestario y la obtención de una cierta tasa de autofinanciamiento o de rentabilidad de capital.

#### **3.5.2. Función económica.**

Se relaciona con la estructura tarifaria. Se habla de estructura y no simplemente de un precio uniforme del KWh. Señal de costo marginal para influir en el perfil de la demanda, y promover la eficiencia económica.

El suministro de un KWh a un cliente es un servicio que se valoriza a lo largo de su cadena de producción-transporte-distribución.

Los costos de abastecimientos están relacionados con el nivel de tensión del consumidor. Resulta mucho más caro suministrar a los clientes de baja y mediana tensión que a los de alta. Ello se debe a que estos últimos solo requieren de los equipos de producción y de una red de transmisión para ser alimentados con la electricidad, contra las necesidades de una red de distribución (de tensión mediana y baja) y de transformadores (para el paso de alta tensión a mediana y de ésta a baja) que son adicionalmente necesarios en los clientes de mediana y baja tensión.

Además, el nivel de pérdidas son diferentes en ambos casos; en el suministro a los clientes de alta tensión solo se tiene pérdidas por generación y transmisión, mientras que en los de baja y mediana hay que afrontar también las de distribución y las de transformación.

El costo del KWh no es uniforme en el tiempo, esto se debe a las variaciones diarias, semanales y mensuales de la demanda, lo que deriva en que, la venta de la electricidad sea en realidad la venta de una curva de carga. Dicha curva presenta una sucesión de “picos” y de “valles” cuyo costo de generación es diferente en cada uno de estos casos. Resulta más caro satisfacer la demanda pico, porque para ello se requieren equipos de producción que son poco utilizados a lo largo del año y, de una red cuya carga es irregular en este mismo periodo.

Los objetivos dictados por la teoría económica son: satisfacción de la demanda, minimización del costo de producción y venta a costos marginales.

Debe asegurar la coordinación entre las decisiones de la empresa y la de los clientes; es decir, debe efectuar una regulación del sistema oferta-demanda, tanto para la planificación como para la facturación.

Para la facturación, la coordinación se realiza determinando el conjunto de los equipos, cuyo nivel (componente financiera) y estructura (componente económica) satisfaga la demanda al mínimo costo para una cantidad de servicio dado (regulación de la oferta a través de la demanda).

Esto significa transmitir las señales de costo que van a afectar el comportamiento de los clientes, o sea, los cambios en el nivel y en la estructura de la demanda; esto es, la regulación de la demanda a partir de la oferta, mediante una tarifa.

La elaboración de una estructura tarifaria se basa, por lo tanto en dos principios:

- La *neutralidad*, es decir, la igualdad de tratamiento entre los clientes (cuando las características de los costos son las mismas para el productor y para el distribuidor de la electricidad).
  
- El *costo marginal*, que refleja el costo adicional de producción cuando los usuarios demandan una unidad adicional del bien. Se trata de un cálculo enfocado a valorar los costos reales, que generan picos reales. Si el costo marginal se refleja fielmente en la tarifa, informa al usuario del costo adicional soportado por el productor y distribuidor de la electricidad, derivado en cualquier cambio en su estructura de consumo. Esta referencia permite orientar los consumos de energía hacia horarios donde se tengan tarifas más económicas.

### **3.5.3. Función política y social.**

Esta es consecuencia de la importancia del sector eléctrico dentro de la economía nacional y, del carácter de servicio público de la distribución eléctrica. La determinación y aplicación de una estructura tarifaria no es, en general, de la competencia exclusiva de la empresa eléctrica. La tarifa es, a menudo un instrumento utilizado por los poderes públicos para acompañar a las políticas industriales o para efectuar la redistribución del ingreso.

Este tipo de intervenciones introduce deformaciones de la tarifa con relación a los costos, tanto en la estructura (distorsión de señal tarifaria) como en su nivel (desequilibrio financiero). Por ello se hace necesario tratar de minimizarlas, desproporcionando lo menos posible la estructura tarifaria de los suministros que tienen el potencial de desarrollo mas importante.

### **3.6. ETAPAS PARA LA ELABORACION DE UNA TARIFA. [11]**

Para que la tarifa pueda asumir su triple función financiera, económica y político-social, su elaboración debe considerar, necesariamente, el conjunto de estos aspectos, lo que se traduce en tres etapas.

**Etapa 1.** Análisis del sistema eléctrico existente. Son tres aspectos los que se analizan en esta fase:

- La demanda, que se determina tanto en términos energéticos como de potencia. Se descompone por sectores de actividad, por nivel de tensión y por tipo de cliente.
- La oferta, en la que se definen las características técnico económicas de los equipos de producción, de transporte y de distribución, así como su adaptación a las estructura de la demanda.
- La situación financiera y estructural y los niveles tarifarios existentes.

**Etapa 2.** Las proyecciones a mediano plazo y la determinación de las componentes económicas (estructura) y financiera (nivel) de las tarifas. En esta fase se atienden cuatro rubros.

- La previsión de la demanda tanto en energía como en potencia, y de la evolución de las estructuras de consumo de los diferentes tipos de clientes.
- La determinación de los programas de inversión en los equipos de producción y en redes de transporte y de distribución para satisfacer la demanda a un menor costo.

- La optimización de la gestión del sistema eléctrico futuro.
  
- Las proyecciones financieras a mediano plazo, que permiten determinar a su vez:
  - La estructura tarifaria, en función de los costos marginales de la oferta futura y de las estructuras de consumo de los diferentes usuarios.
  - El nivel tarifario, en función de los gastos futuros de explotación y de inversión y de sus objetivos financieros.

**Etapa 3.** Elaboración de las tarifas objetivo y de las de transición.

Esta etapa es una fase de síntesis, durante la cual se efectúa el ajuste de la estructura tarifaria, en consideración de las restricciones políticas y sociales.

# *Capítulo*

# 4

---

---

## *Control de la Demanda*

En este capítulo se define qué es la demanda máxima, las estrategias que existen para el control de la misma, así como también los sistemas de control para la demanda además de los métodos tradicionales empleados para dicho propósito, algunas alternativas tecnológicas y la experiencia que se tiene en algunos sectores de la industria que ya emplean dentro de sus procesos productivos el control de la demanda.

#### 4.1. ¿QUÉ ES LA DEMANDA MÁXIMA?

La demanda máxima es la potencia acumulada durante un determinado período que generalmente es de 15 minutos. (Véase figura 4.1)

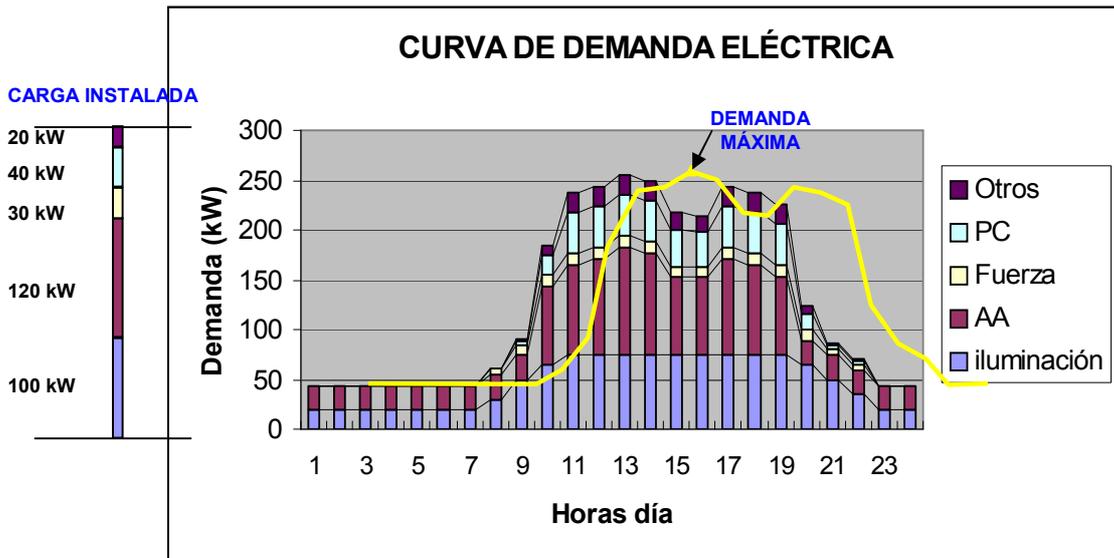


Figura 4.1. Curva de demanda eléctrica.

En términos generales, el control de la demanda, es la acción de interrumpir por intervalos de tiempo la operación de ciertas cargas eléctricas (iluminación, motores etc.) que inciden directamente sobre la demanda máxima facturable, a fin de reducir o limitar los niveles de consumo en razón a los precios tarifarios.

El control de la demanda eléctrica puede ser una oportunidad de ahorro económico muy rentable ya que actualmente el cargo por demanda representa, entre un 20 a un 30% de la facturación eléctrica, además el ahorro no será tan solo por la reducción en el cargo de la demanda, sino que también en los cargos por el consumo en el horario punta.

No obstante, es importante señalar que el control de la demanda es una de las oportunidades de ahorro económico que mas atención, tiempo y comprensión del proceso productivo requiere, dado para que esta oportunidad sea factible, es indispensable que no afecte el proceso, requiriendo para esto adecuar las rutinas de operación e identificar los usos inadecuados de los equipos.

Por lo tanto se han creado equipos capaces de controlar la demanda máxima; dichos equipos llevan por nombre **controladores de demanda máxima** cuyo objetivo principal es no superar el límite de máxima demanda contratada. Para ello, se procede a la desconexión de cargas que el proceso de trabajo permita (luces, compresores, aires acondicionados, bombas ventiladores y extractores, embaladoras trituradoras, etc.) En general todas aquellas máquinas que no afecten el proceso principal de producción o que no son esenciales.

#### **4.2. PROBLEMÁTICAS IDENTIFICADAS. [11]**

La tecnología de los equipos de control de la demanda eléctrica continúa avanzando, estos equipos son cada vez más versátiles y económicos, sin embargo la penetración en el mercado mexicano no ha sido tan exitosa como se esperaba debido a algunos de los siguientes factores:

- Desconocimiento de los conceptos de demanda facturable y demanda eléctrica máxima.
- Temor a tener pérdidas en la producción.
- Desconocimiento de los beneficios económicos que pueden lograrse.
- Desconocimiento de los horarios base, intermedio, semipunta y punta.

Para instalar un equipo para controlar la demanda eléctrica en una empresa, es necesario tener un amplio conocimiento del proceso productivo en cuestión, para asignar correctamente las prioridades de desconexión y reconexión, así como la duración de cada desconexión de los principales equipos.

Desafortunadamente en muchos casos se han instalado equipos de control de demanda que no han dado los resultados esperados, no por el hecho de que los equipos hayan sido malos en si, sino por alguna de las siguientes razones:

- Haber sido mal diseñados.
- Falta de mantenimiento.
- Falta de capacitación al personal operativo.
- Errónea asignación de la prioridad de cargas y del tiempo de desconexión.
- No ser los adecuados a las condiciones ambientales donde se instalaron.

Un programa de control de la demanda eléctrica puede aplicarse en aquellos procesos cuya operación tiene fuertes variaciones de la demanda máxima y bajos factores de carga, como son las empresas relacionadas con la fundición, la minería, automotriz, maquiladoras, etc. Por otro lado, es más difícil, aunque no imposible, que un programa de este tipo pueda ser aplicado en industrias tales como la electrónica, tiendas comerciales, edificios, industria química, etc., en los cuales la demanda es prácticamente constante y el factor de carga alto.

### **4.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL. [11]**

Existen 2 maneras de evitar exceder la máxima demanda:

- a) Preventivo
- b) Predictivo

#### **4.3.1. Método preventivo.**

El método preventivo es el adecuado para aquellas empresas que no quieren permitir la conexión o desconexión automática de cargas. El sistema previene mediante unas alarmas visuales o auditivas, que vamos a superar la potencia contratada para que un operario manualmente desconecte unas determinadas cargas.

#### **4.3.2. Método predictivo.**

El método predictivo es el método más habitual e inteligente. Hace una previsión de lo que va a suceder al final del período y optimiza las cargas, para por un lado, tener cuantas más cargas conectadas mejor, pero siempre sin exceder el límite máximo que se haya programado.

Para establecer programas que limitan la demanda máxima es necesario identificar las cargas dichos picos de demanda, así mismo, determinar el tiempo y el horario en que ocurren los picos de demanda. El siguiente paso es determinar la magnitud de la carga para poder tomar la decisión de restringir o diferir la operación de las cargas y contribuir así con la reducción de la demanda pico y la facturación eléctrica.

Ciertamente los sistemas de calefacción, aire acondicionado, iluminación, motores, y otro sistema de cargas no necesarios pueden ser desconectados parcialmente, o bien pueden ser desconectados unos cuantos minutos en el periodo donde ocurre la demanda pico.

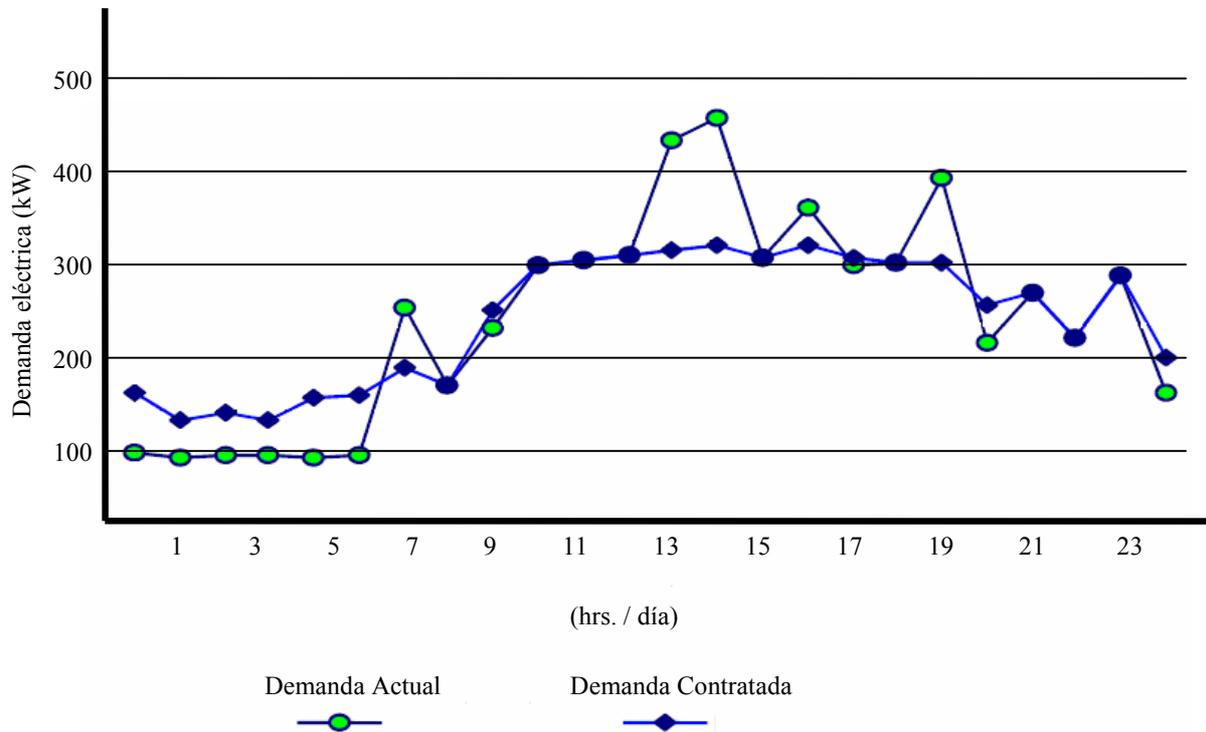
Por tanto, entre las principales estrategias que se deben considerar para llevar a cabo un control de los equipos son las siguientes:

- Tiempos y horarios de conexión y desconexión.
- Horario de verano y fuera de verano.
- Días festivos.
- Monitoreo de la demanda.

La acción de encendido y apagado de los equipos puede realizarse a través de mecanismos muy simples como un temporizador (timer) conectado al interruptor de la carga, o por medio de señales enviadas por un sistema de control automático.

Un sistema de control de la demanda eléctrica permite manejar la operación de un conjunto amplio de equipos de manera que se utilice la menor cantidad de energía posible en el periodo “punta” o, en su caso, mover cargas que operan en horas pico de demanda a los horarios huecos de un mismo periodo (Figura 4.2), y así reducir la facturación.

Los sistemas de control de la demanda se componen de varios elementos: *sensores*, que registran si un aparato está encendido o apagado o si se encuentra en un régimen de operación cuando existe mas de dos opciones; un *sistema de comunicación* que permite intercambiar señales con un punto central; un *microprocesador* (o computadora) que recibe las señales, procesa la información y envía señales a los equipos para que actúen de acuerdo a un programa preestablecido; y un conjunto de *actuadores*, que operan los equipos de acuerdo a las señales mandadas.



**Figura 4.2.** Representación gráfica del Control de la Demanda

#### 4.3.3. Prioridad de cargas.

Para definir el nivel de prioridad de las cargas se tendrán que realizar varias juntas con el personal operativo de la empresa y que ellos estén completamente de acuerdo con el nivel de prioridad y el tiempo máximo de desconexión.

A manera de ejemplo, en la Tabla 4.1 se presenta una clasificación de cuatro niveles de prioridad con que puede efectuar la categorización de cargas para el preestablecimiento del programa de control.

**Tabla 4.1.** *Prioridad de las cargas eléctricas.*

| PRIORIDAD | DESCRIPCIÓN   |
|-----------|---|
| 0         | Es para aquellas cargas que pueden ser desconectadas en tiempos dispersos: noches, cambios de turno, ciclos de descanso, etc. Sin efectos adversos sobre el proceso productivo. |
| 1         | Es para aquellas cargas que, aunque su termostato o manómetro, electro nivel, etc., pidan un arranque, este pueda ser retrasado o adelantado 30 minutos o más                   |
| 2         | Es para aquellas cargas que puedan retrasar o adelantar su arranque menos de 30 pero más de 15 minutos.   |
| 3         | Aquellas que no pueden retrasar o adelantar su arranque ni en 15 minutos.   |

Hay algoritmos para darle cierta prioridad a las cargas, pero es necesario que el personal de la planta evalúe primero mediante un control manual el potencial de ahorro que pudiera tener.

El darle una cierta prioridad se dejará a los proveedores de equipos, que partirán de las ideas de los responsables para ver si estas pueden ser mejoradas, pero para tener un punto de partida, este debe ser claro.

Al igual que el factor de potencia y el factor de carga, la prioridad de las cargas no es constante en el tiempo. Una carga que puede ser vital en el invierno puede no serlo en verano, hay negocios que tienen fuertes tendencias estacionales, sea por la naturaleza del consumidor del producto o por otra causa, así pues, lo importante es detectar que tanto varían las prioridades en el tiempo y definir como sacar provecho de esa variabilidad.

A veces la variabilidad no es estacional, a veces es diaria, en este contexto, la variación tendría que ser muy importante para que valiera la pena tomarla en cuenta.

Si la variación diaria es alta y además la diversidad de las variaciones es, a su vez alta, empieza a ser obvio que un controlador humano tiene severas limitaciones en su velocidad, rapidez, y precisión de operación.

#### 4.4. SISTEMAS DE CONTROL DE DEMANDA. [11]

Un controlador de demanda es básicamente un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, con el propósito de mantener la demanda máxima bajo control. El controlador, apaga o establece ciclos de trabajo a las cargas cuando la demanda alcanza un valor, o crece a una tasa, preseleccionada. El punto prefijado debe ser cuidadosamente seleccionado, para que no se afecte la producción o necesidades de operación.

Estos equipos tienen excelente respuesta para el control automático de cargas, las cuales se pueden disminuir, eliminar o diferir en los horarios punta donde la empresa suministradora impacta los costos por el concepto de demanda máxima tarifaria.

Existe una gran variedad de controladores de demanda disponibles, con diferentes grados de sofisticación, complejidad y costo. La unidad básica tiene los siguientes componentes principales:

*Transformadores de corriente*, para proveer una señal de entrada desde el suministro de la Comisión Federal de Electricidad al controlador de demanda.

*Transductores*, para convertir la señal de entrada en watts a una señal en milivolts para el panel lógico.

*Controlador de demanda*, para monitorear los niveles de potencia a la entrada y actuar cuando estos se aproximen al nivel pico de demanda preseleccionada.

*Panel relevador*, para mandar señales de control a las cargas conectadas; el panel lógico manda señales a estos relevadores de corriente los cuales en su momento, controlan el equipo.

Las unidades más sofisticadas añaden varios parámetros comunes, para ofrecer un equipo más poderoso y versátil:

- *Controles de reloj*, que son usados para rotar la selección de varias cargas sobre una base de tiempo, y también para controlar el tiempo máximo que una carga está apagada.
- *Programador de ciclos de trabajo*, para determinar los tiempos y periodos del ciclo de apagado de una carga durante diferentes horas de operación.
- *Programador de la hora del día*, que añade la posibilidad de apagar equipos independientes de la demanda.
- Equipos diversos como son: sensores, analizadores, fuente externa de alimentación, memorias de estado sólido, características de todo el equipo electrónico de control de demanda y de adquisición de datos.

Por tal motivo, los sistemas de control se han clasificado en dos tipos:

- 1) *Controles manuales de encendido y apagado*
- 2) *Controles automáticos programables e inteligentes*

#### **4.4.1. Controles manuales de encendido y apagado.**

Los sistemas de control manual presentan máximos beneficios si se supervisan las cargas que contribuyen de manera representativa en la demanda máxima a través de instrumentos de medición con el objeto de tener bases para poder establecer programas de operación y desconexión de dicha carga.

Una variedad de dispositivos simples y de bajo costo, que usualmente controlan una carga, se pueden clasificar dentro de esta categoría.

- ❖ **Controles de tiempo**, los tipos mecánicos y más recientemente los tipos electrónicos, controlan el encendido y apagado de equipo específico a tiempos preestablecidos durante un día o semana.
- ❖ **Interlocks y relevadores**, pueden conectarse al cableado del equipo auxiliar de un equipo primario de manera que, por ejemplo, cuando se apaga una máquina de proceso, su ventilador, o iluminación o flujo de agua se suspenden automáticamente.
- ❖ **Relevadores de fotocelda**, estos son empleados especialmente para sistemas de iluminación para encender en la oscuridad y apagar cuando la iluminación natural sea adecuada.
- ❖ **Equipo termostático**, puede tener diferentes puntos de referencia para ciertos periodos del día o de la noche, y puede reducir el empleo de los equipos de calefacción o refrigeración.
- ❖ **Sensores infrarrojos de presencia**, perciben la presencia o ausencia humana y pueden apagar o encender la iluminación de un área o algún equipo.

El control de los equipos, también puede realizarse con los propios sistemas de arranque/paro, por lo que la secuencia se puede realizar por el propio personal que operan los equipos. El uso de este tipo de controles genera incertidumbre en los beneficios ya que no se cuenta con monitoreos de la demanda.

#### **4.4.2. Controles automáticos programables e inteligentes.**

Los sistemas de control automático presentan excelentes beneficios ya que en estos se pueden programar la operación y desconexión de las cargas cuando sea necesaria, además, podemos tener la plena seguridad de que los equipos serán desconectados o puestos en operación según la programación pre-establecida y no tendríamos que preocuparnos porque a alguna de las personas encargadas del control manual de los equipos olvidó desconectarlos en un momento dado.

##### *4.4.2.1. Controles automáticos programables.*

Los controladores programables son dispositivos de bajo y mediano costo que emplean microcontroladores. Se emplean principalmente en equipos que tienen cargas cíclicas y sustituyen a los relevadores electromecánicos. También son usados con frecuencia para controlar un equipo individual con el método de encendido/apagado a una hora específica del día. Los equipos típicos disponibles controlan 4, 8, 12, 16 o muchos más puntos y se pueden expandir por módulos de 8 o más puntos.

El tiempo de arranque o paro de cada punto puede controlarse individualmente o monitorearse, hay relojes disponibles de 7 días o de un año completo, de modo que el equipo puede desconectarse en fines de semana o en días festivos.

Estos sistemas de control son fácilmente programables o reprogramables y tienen un sistema altamente confiable. Tienen una pantalla con propósito de monitoreo y pueden reemplazar, basándose en el costo, a un sistema de interlock o de relevadores.

Puede apreciarse que este tipo de controles son sistemas modulares que actúan sobre una señal, que temporalmente desconectan cargas eléctricas predeterminadas. Estos tipos de controles manejan niveles de prioridad para distintos horarios y fechas.

*4.4.2.2. Sistemas de control inteligentes.*

A este tipo de sistemas también se le conoce como sistemas de administración de energía. Básicamente estos sistemas combinan las funciones de un controlador programable, controlador de demanda y cualquier número de equipos individuales, iluminación y controles térmicos y también incluyen la posibilidad de monitoreo, manejando señales de sensores a distancia.

El tipo de sistema similar o parte de un sistema de control distribuido, puede usar las señales de los sensores, para optimizar las decisiones energéticas relacionadas con la operación de los equipos, especialmente en ventilación, calefacción y refrigeración.

El sistema puede incluir el área de seguridad de la empresa y monitoreo, así como alarmas contra incendios. Gran variedad de tipos de sistemas, software, tamaños, interfaces y distribución, mantienen un desarrollo dinámico continuo de la tecnología, estos sistemas son fundamentalmente similares.

Son sistemas integrados por un conjunto de módulos que proveen el control a los procesos para que estos sean seguros, confiables, precisos y eficientes, lo cual es posible controlando y monitoreando los sistemas mecánicos y eléctricos. Pueden incorporarse otras opciones, como señales de falla de equipos, niveles de confort por horario y clima exterior, etc.

#### **4.4.3. Características de los equipos de control automático.**

Casi todos los controladores automáticos, tienen la posibilidad de asignar varios niveles de prioridad para la conexión y desconexión de las cargas eléctricas, además de manejar diferentes tablas de niveles de acuerdo al día, la fecha, el mes, la estación, o el año. Algunos equipos de control implementan esquemas de conexión y/o desconexión anticipada en el caso de demandas bajas y cargas programables de gran “capacidad”.

Existen sistemas que van desde un sistema de monitoreo, registro y adquisición de parámetros eléctricos, así como un excelente equipo para el control de demanda eléctrica mediante la conexión y desconexión de cargas. Este sistema permite cubrir necesidad de medición eléctrica y control de demanda, ya que ofrece entre otras cosas:

- Control de la demanda
- Estado de las cargas en control
- Mediciones en tiempo real
- Registro de eventos de medición y operación
- Manejo de tendencias
- Facturación
- Generación de reportes

Existen sistemas de control automático del tipo modular que permiten tener diferentes configuraciones, usos y aplicaciones en forma integral. Cada módulo puede trabajar en forma independiente o conjunta de acuerdo a las necesidades.

También existen equipos de control que pueden ser conectados a una computadora personal (PC) en donde se podrá monitorear las cargas eléctricas y controlarlas de manera automática. Este sistema consta de un equipo receptor de los pulsos de medición principal, que a su vez, se enlaza a la computadora personal que sirve como ventana al usuario.

Algunos equipos de control automático operan en su presentación básica el manejo de 16 cargas con capacidad de expansión de hasta 64 cargas locales y remotas.

La operación de las cargas puede realizarse bajo un esquema centralizado, es decir, todas las líneas a conectar se llevan hasta el punto de ubicación del módulo central, pueden instalarse módulos remotos de distribución de cargas, lo que permite cablear de manera conveniente y cubrir un área mas extensa.

En la computadora personal que es la ventana para el usuario, se configura cada una de las cargas, así como también se observa el estado y operación del sistema de control de demanda. Así mismo, se podrá imprimir reportes de los ciclos de operación de cada una de las cargas con el fin de poder seleccionar las cargas a controlar, o bien, hacer cambios en los parámetros de operación de las mismas.

Para la instalación del sistema de control de demanda, es necesario la conexión de los pulsos de la medición principal, así como cada una de las cargas. Se requiere conectar dos señales para el manejo de las cargas, la primera es la permisiva que el sistema envía al equipo de control y mediante la cual se opera sobre la carga particular; la segunda es la señal de petición y retroalimentación, la cual permite que el sistema conozca el estado real de operación de la carga y el momento en el que se solicita su conexión o desconexión, según sea necesario.

#### 4.4.4. Operación de los equipos de control automático.

A todo controlador de demanda se le tiene que asignar un punto de referencia sobre el cual se basarán las funciones de los equipos de control de demanda.

La definición del punto de referencia en el controlador de demanda tendrá un impacto, tanto en el número de cargas seleccionadas, como en la cantidad de ahorros que puedan obtenerse. Conjuntamente con el personal de producción, mantenimiento e ingeniería se define el primer punto de referencia del controlador y al operar el equipo se podrán hacer los ajustes hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de cómo opera el sistema y qué influencia tiene sobre el proceso.

A manera de ejemplo, en la Figura 4.3 se indica la forma en que debe controlarse la demanda eléctrica ya sea mediante controladores manuales o bien automáticos.

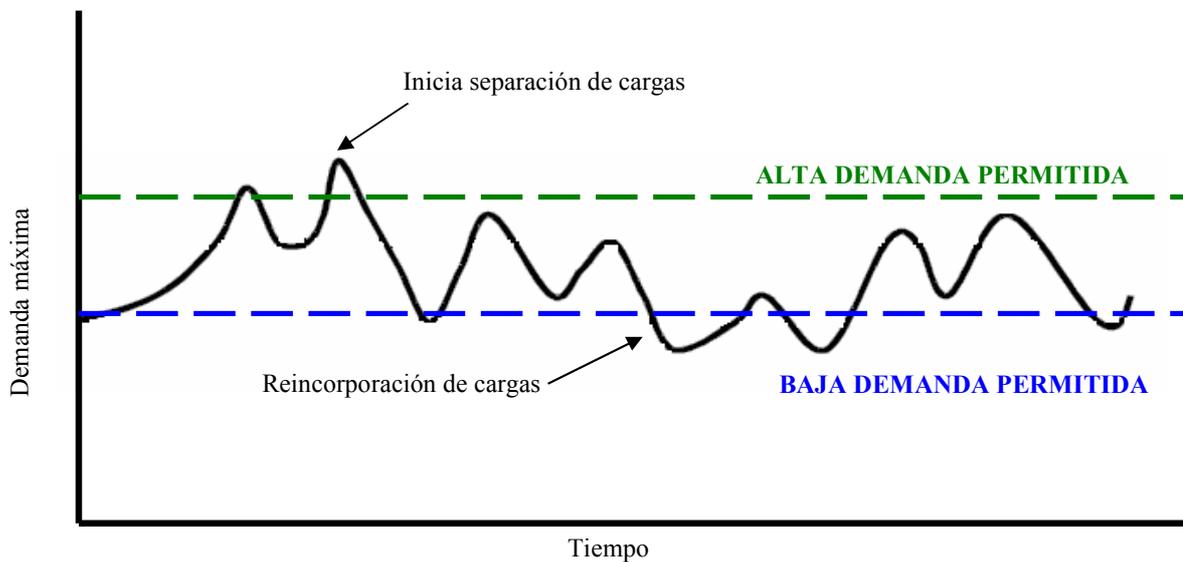


Figura 4.3. Operación del controlador de Demanda

La posición de la línea de Alta Demanda, se determina mediante la especificación del parámetro de la demanda máxima.

La posición de la línea de Baja Demanda, se determina como un porcentaje de la línea de alta demanda, este porcentaje es generalmente del 15%.

Una vez que se realizan las líneas de Alta y Baja Demanda se tienen que realizar las acciones de control, de la siguiente forma:

Si la demanda de referencia supera a la línea de Alta Demanda el control de demanda activa un relevador de control para eliminar cargas.

Si la demanda de referencia tiene valores menores a la línea de Baja Demanda, el equipo activará un relevador de control para eliminar la acción restrictiva. Este punto de referencia inferior previene separaciones o incorporaciones de cargas demasiado frecuentes.

Ya que el control de demanda se encuentra activado por el punto de referencia, empieza a seleccionar las cargas asignadas una por una, de acuerdo con la prioridad que fue introducida por el programa.

Las cargas no críticas deben seleccionarse primero. El número de cargas que deben ser seleccionadas dependerá de las características del proceso, así como la potencia individual de cada carga.

Cuando el controlador ha estado trabajando por algún tiempo y cuando la operación de la planta se ha acostumbrado a él, se podrán hacer algunas reducciones en el punto de referencia de la demanda, asegurándose de evaluar el impacto de la derivación de cada carga seleccionada.

#### **4.5. MÉTODOS DE OPERACIÓN DE UN CONTROLADOR. [11]**

Los equipos empleados para controlar la demanda eléctrica, utilizan diversos métodos para determinar la tasa de crecimiento de la demanda instantánea y mantener el punto de referencia del controlador. Los métodos comúnmente empleados son los siguientes:

- Carga instantánea
- Proyección de la curva de demanda
- Demanda acumulada

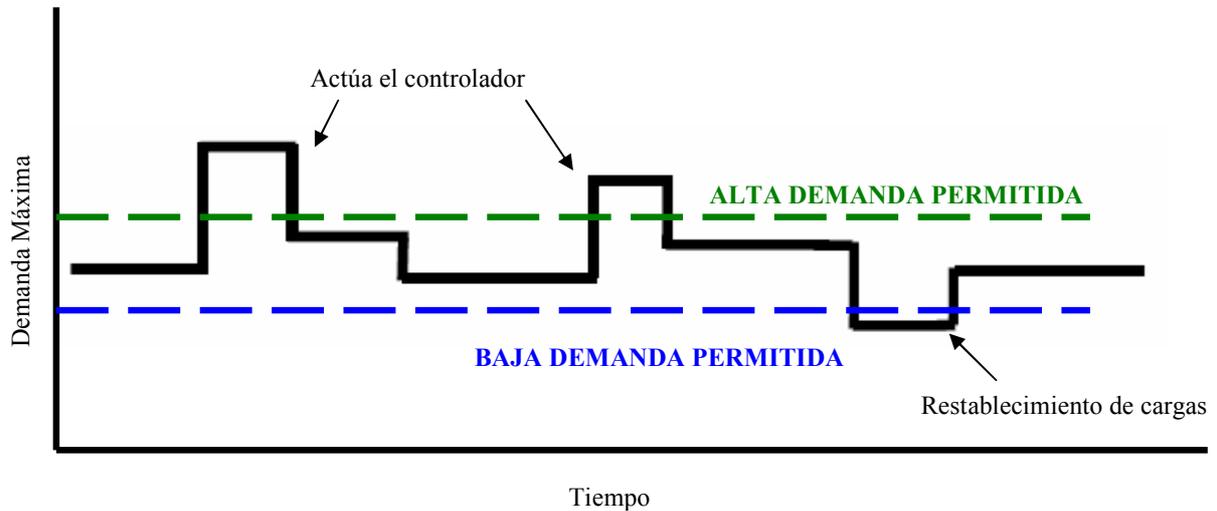
##### **4.5.1. Método de carga instantánea.**

En este método el nivel de la potencia demandada se mide continuamente y se compara con el punto de referencia preseleccionado (véase Figura 4.4). Este método proporciona un control preciso de la demanda actual.

Este método es recomendable en empresas con régimen de operación continuo, donde se presenta poca variación de carga a lo largo de la jornada de trabajo.

En estos casos el nivel de operación normal está muy cercano al punto de referencia superior preseleccionado.

Tiene la desventaja de que prácticamente cada vez que entre alguna nueva carga, el controlador actúa, poniendo fuera de servicio alguna otra carga, según la programación del controlador.



**Figura 4.4.** Método de carga instantánea

#### 4.5.2. Método de proyección de la curva de demanda.

Este método predice el valor de la demanda en el tiempo “t+1” de manera tal que las acciones del controlador se anticipen al momento en que se rebasa la referencia preseleccionada.

Este es uno de los métodos más recomendados para el control de la demanda máxima, pues al tomar acciones anticipadas, se asegura que en prácticamente ningún momento se sobrepase el límite superior de referencia seleccionado.

Ofrece muchas ventajas en instalaciones donde las características del proceso, se presenten variaciones continuas del nivel de demanda.

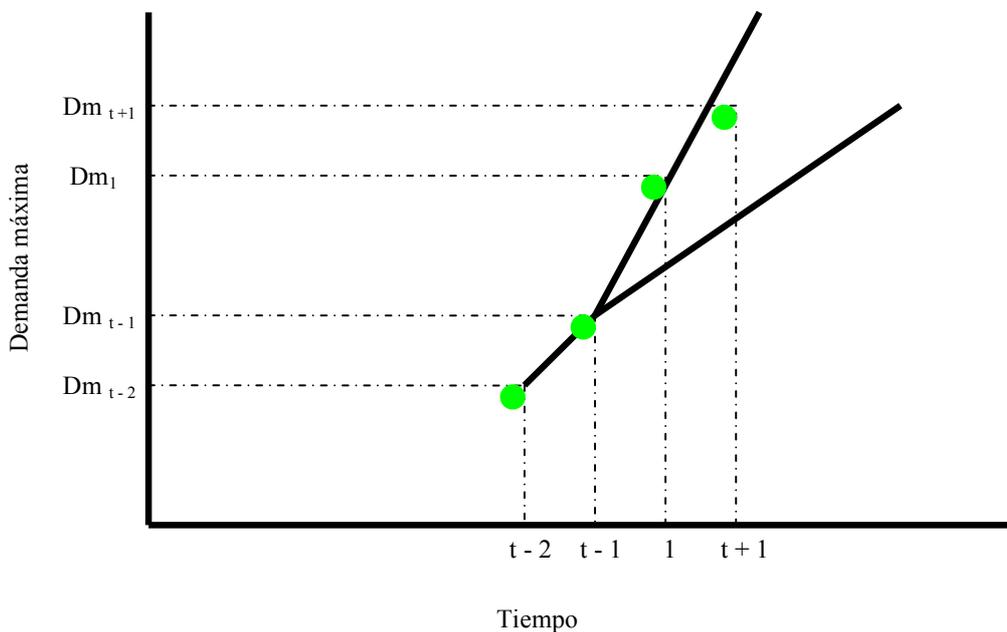
Existen dos técnicas para predecir el valor futuro de la demanda.

- Técnica de la pendiente de la curva.
- Técnica de la ecuación cuadrática.

#### 4.5.2.1. Técnica de la pendiente de la curva.

Consiste en determinar el valor de la derivada de la curva de los tiempos “ $t$ ” y “ $t-1$ ” y con estas proyectar el valor de la demanda en el tiempo “ $t+1$ ”.

La figura 4.5 muestra gráficamente este tipo de técnica utilizada para controlar la demanda eléctrica, y se representa como  $Dm_{t+1}$ , como el promedio de las proyecciones obtenidas con ambas pendientes.



**Figura 4.5.** Método de proyección de la curva de demanda.

#### 4.5.2.2. Técnica de la ecuación cuadrática.

Esta técnica consiste en encontrar una ecuación cuadrática del tipo  $D_m = at^2 + bt + c$ , que pase por los tres últimos puntos:  $t$ ,  $t-1$  y  $t-2$ ; y emplear esta ecuación para estimar el valor de la demanda  $D_{m_{t+1}}$  en el tiempo “ $t+1$ ”.

Cada una de las técnicas que se han mencionado para predecir el valor futuro de la demanda en el tiempo “ $t+1$ ”, tiene sus desviaciones con respecto al valor futuro real, ya que el comportamiento de la demanda obedece a factores relacionados con las necesidades del proceso y éstas normalmente no se comportan únicamente, como función de los valores pasados de la demanda.

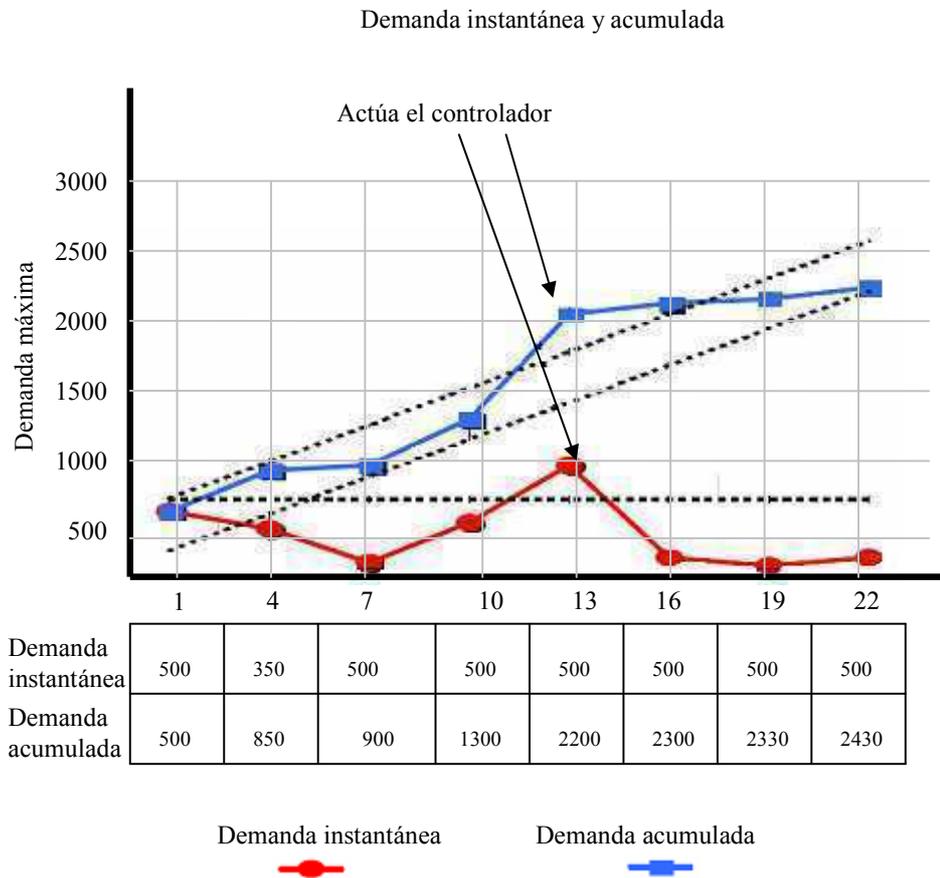
De todas formas la experiencia ha demostrado que la utilización de estas técnicas de predicción de la demanda son de mucha utilidad en sistemas automáticos de control de la demanda.

#### 4.5.3 Método de la demanda acumulada.

Las acciones de control en este método están basadas en la relación de la demanda acumulada y los límites alto y bajo de la demanda permisible. Por lo tanto las líneas superior e inferior de referencia, no son horizontales, sino más bien, son líneas inclinadas como se puede apreciar en la Figura 4.6

La línea de referencia superior corresponde a la demanda acumulada máxima permisible en un momento dado, para que la demanda estimada no sobrepase el límite superior de demanda.

Como en los casos anteriores, la línea de referencia inferior se determina como un porcentaje de línea de referencia superior.



**Figura 4.6.** Método de la Demanda Acumulada vs. instantánea.

#### **4.6. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LIMITAR LA DEMANDA ELÉCTRICA. [11]**

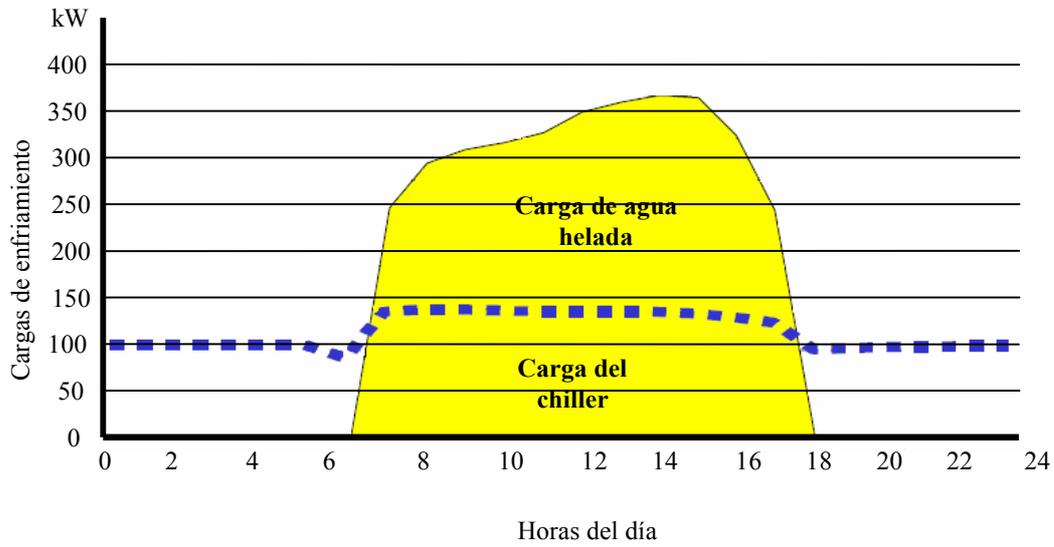
Entre las diversas alternativas que se pueden poner en práctica para limitar los niveles de demanda eléctrica destacan las siguientes:

- Termoalmacenaje
- Autoabastecimiento
- Cogeneración

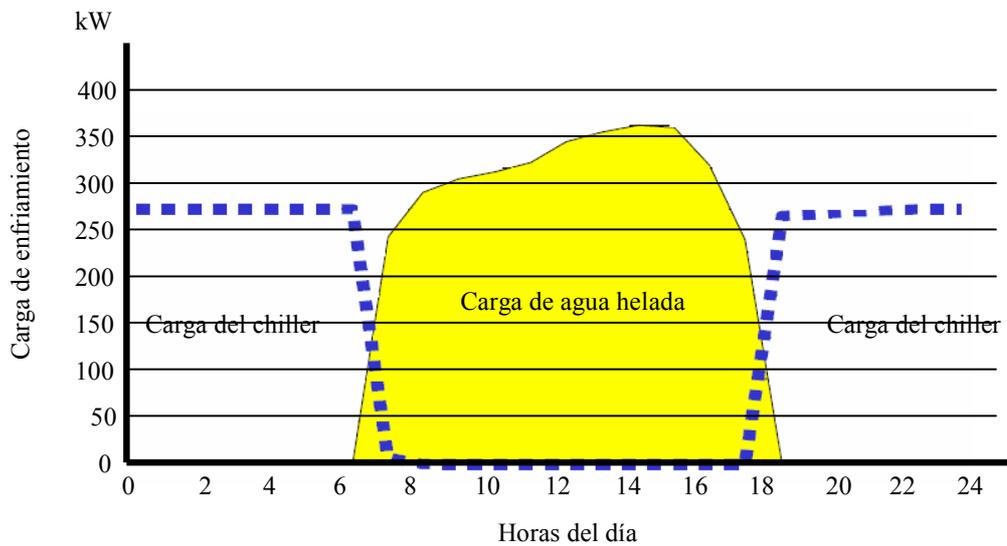
##### **4.6.1. Termoalmacenaje.**

Una de las alternativas tecnológicas para controlar la demanda eléctrica es la utilización de almacenamiento de frío, fuera de las horas de demanda punta mediante un sistema centralizado de aire acondicionado (chiller) para aprovechar parcial (Figura 4.7) o totalmente (Figura 4.8) los requerimientos de enfriamiento en las horas de demanda pico.

El termoalmacenaje se aplica en una amplia gama de sistemas de aire acondicionado y enfriamiento para procesos industriales.



**Figura 4.7.** *Termoalmacenaje parcial*



**Figura 4.8** *Termoalmacenaje total*

#### **4.6.2. Autoabastecimiento.**

Una alternativa para evitar altos cargos por parte de la compañía suministradora por concepto de energía eléctrica en periodos punta, es que la empresa pueda autoabastecerse de energía eléctrica durante este periodo, es decir, generar su propia electricidad para dicho periodo, evitando así consumir la energía eléctrica de la compañía suministradora.

Debe quedar claro que autoabastecimiento de energía, se refiere a la generación de energía eléctrica por empresas del sector privado para la satisfacción de sus propias necesidades, o bien vender sus excedentes de electricidad al suministrador.

#### **4.6.3. Cogeneración.**

Otra opción para generar energía eléctrica dentro de una empresa, es emplear la alternativa tecnológica de cogeneración que se explica como sigue:

De acuerdo con la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento, existe un proceso de cogeneración cuando la generación de energía eléctrica se lleva a cabo:

- A través de un mismo proceso que en forma sucesiva genere energía térmica.
- A partir de energía térmica generada y no aprovechada en otros procesos.
- Utilizando combustibles producidos en otros procesos.

Hoy en día han surgido procedimientos de cogeneración como consecuencia del encarecimiento de la energía producida en las centrales generadoras y principalmente en las térmicas convencionales.

Existen distintas formas de definir la cogeneración, entre las cuales se enlistan algunas de ellas:

- La cogeneración es la producción de manifestaciones de energía a partir de una misma fuente energética
- La cogeneración es la producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en forma de gases o líquidos calientes, a partir de una sola fuente energética
- Cogenerar es, producir energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas
- Es la producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada o bien utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate

Las ventajas que pueden presentar los diferentes sistemas de cogeneración son las siguientes:

a) Ahorro energético: El consumo de energía primaria es inferior en un sistema de cogeneración que el producir de forma independiente energía térmica y eléctrica.

b) Ahorro económico: Derivados del ahorro energético del punto anterior.

c) Mejora del medio ambiente: Por los siguientes casos:

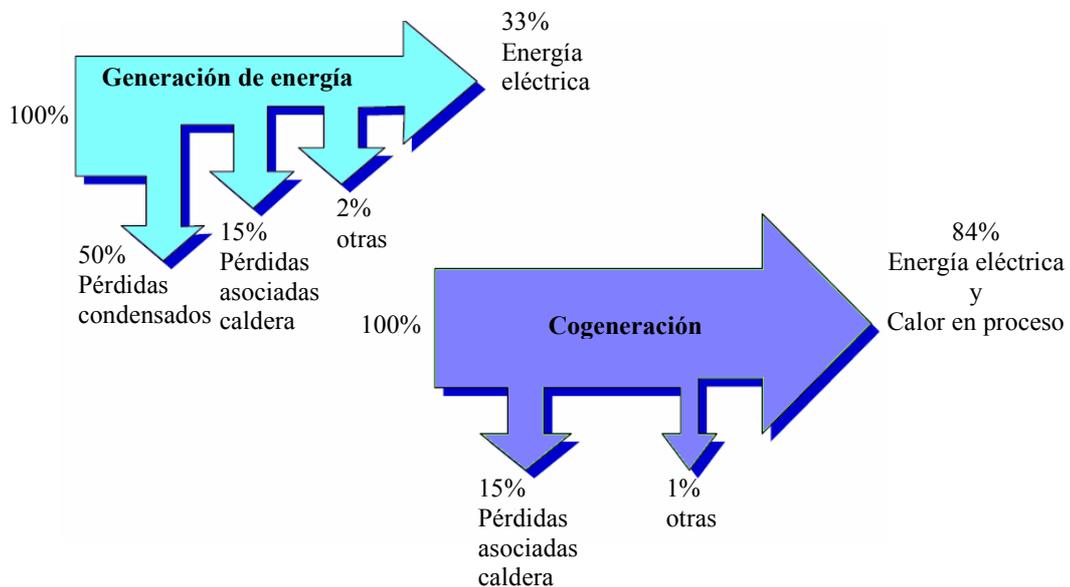
- La cantidad de energía primaria necesaria para producir la misma cantidad de energía útil menor.
- El impacto ambiental causado por el transporte, refinado y extracción de la energía puede ser más bajo.
- Posibilita la industrialización de zonas alejadas de las redes de distribución de alta tensión.
- En el caso de centros de desarrollo se puede pensar en sistemas que proporcionen energía térmica y eléctrica a diferentes industrias.

d) Reducción de capital de inversión: Si los industriales que consumen grandes cantidades de energía eléctrica cogeneran, el gobierno tiene que invertir menos para abastecer la demanda creciente de electricidad.

La cogeneración es una tecnología que utilizan muchos industriales, con el fin económico de poder hacer frente a los requerimientos de energía eléctrica y térmica de las plantas industriales.

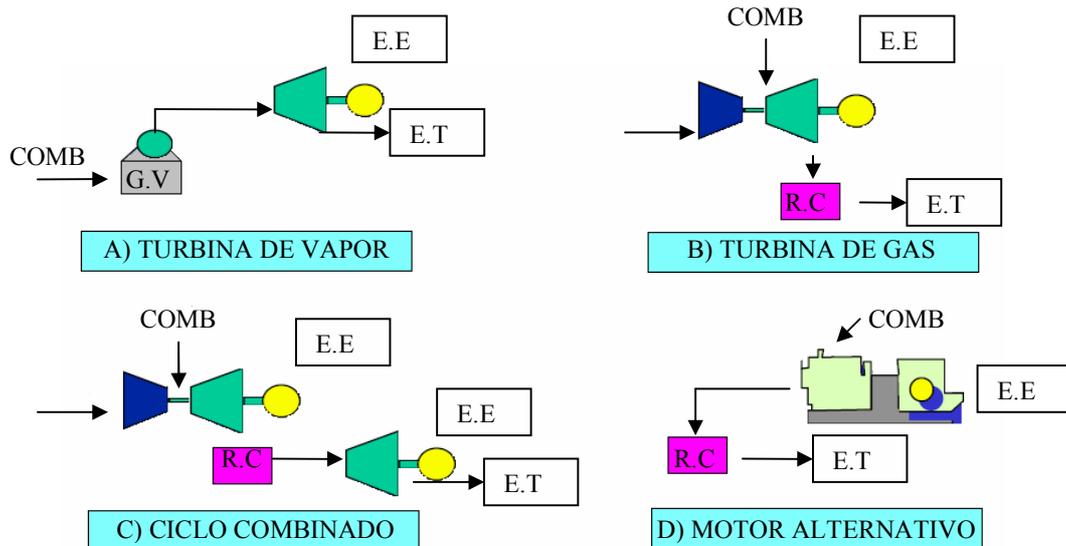
Recientemente, ha surgido un amplio rango de opciones en materia de la integración de sistemas de cogeneración. En particular, las turbinas de gas son altamente deseables tanto por su eficiente productividad como por el hecho de utilizar el combustible más “limpio” desde el punto de vista ambiental.

La Figura 4.9 muestra la comparación entre la generación de energía eléctrica de manera convencional y la producida a través de la cogeneración.



**Figura 4.9.** Cogeneración vs. Generación de energía eléctrica convencional

Existen diversos arreglos en los sistemas de cogeneración de los cuales tendrá que evaluarse qué arreglo presenta mayores beneficios según las necesidades de la empresa (véase Figura 4.10).



**Figura 4.10.** *Sistemas de Cogeneración.*

La figura 4.10 muestra algunas de las diversas técnicas en los sistemas de cogeneración; la cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil (vapor, agua caliente sanitaria, hielo, agua fría, aire frío, por ejemplo).

La gran ventaja de la cogeneración es la eficiencia energética que se puede obtener. Por eficiencia energética se entiende la energía útil que se obtiene sobre la energía entregada por el combustible utilizado.

Al generar electricidad con un motor generador o una turbina, el aprovechamiento de la energía en el combustible es del 25% al 40%, solamente y el resto debe disiparse en forma de calor. Al cogenerar, este porcentaje se incrementa, ya que se aprovecha una parte importante de la energía térmica que normalmente se disipa en la atmósfera.

Este procedimiento tiene aplicaciones tanto industriales como en ciertos edificios singulares en los que el calor puede emplearse para calefacción, para refrigeración (mediante sistemas de absorción) y preparación de agua caliente sanitaria como por ejemplo grandes superficies de ventas, ciudades universitarias, hospitales, etc.

Para ello se pueden emplear:

- Turbina de vapor
  - Turbinas de vapor a contrapresión: cuando el volumen de vapor necesario para los servicios auxiliares es igual que el de la turbina.
  - Turbinas de vapor con toma intermedia, cuando sólo una parte del vapor de la turbina es necesario para los servicios auxiliares.
- Turbina de gas
- Motor de combustión
- Pila de combustible

El aprovechamiento del calor residual que en otro tipo de instalaciones sólo se emplea parcialmente, hace que el rendimiento de las instalaciones de cogeneración sea notablemente superior; razón por la que actualmente se están fomentando este tipo de instalaciones.

# *Capítulo*

# 5

---

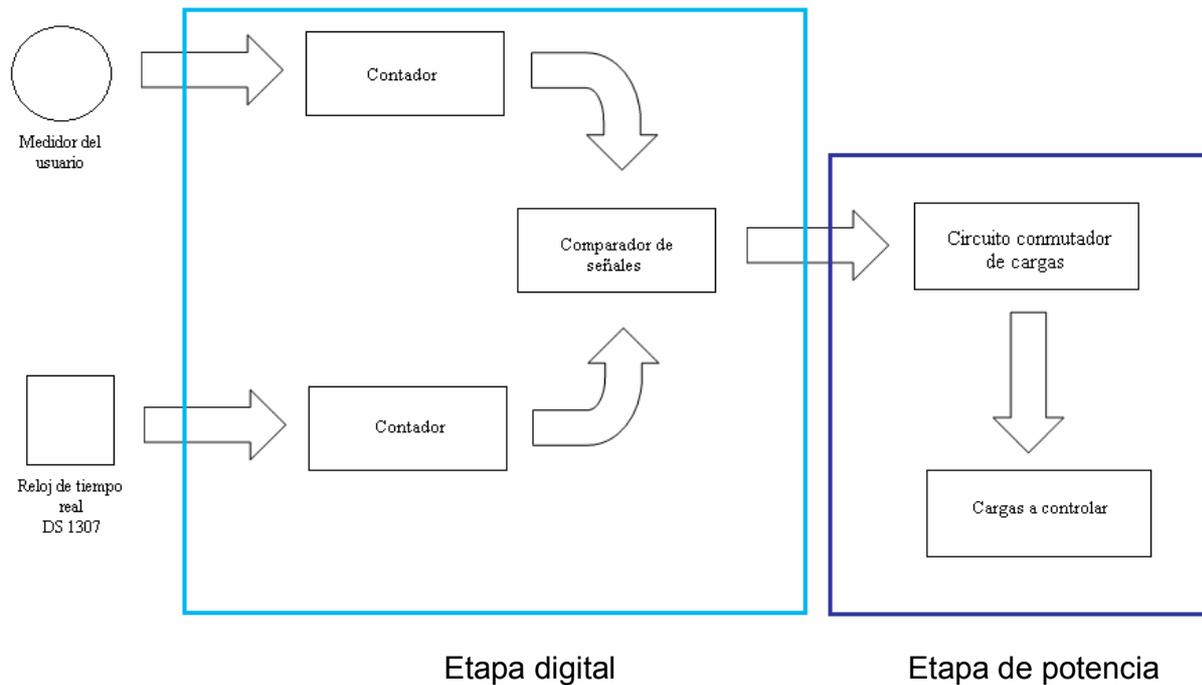
---

## *Desarrollo del Proyecto*

En este capítulo se explica como se llevó a cabo la elaboración del prototipo, así como los equipos adicionales empleados para su correcto funcionamiento (medidor digital proporcionado por CFE, DS1307 reloj de tiempo real), los dispositivos interconectados (LCD pantalla de cristal liquido, switch, entradas para cargas) con el microcontrolador el cual es el encargado de monitorear, analizar y decidir la desconexión de las cargas previamente colocadas en orden de prioridad.

## 5.1. DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROTOTIPO.

El controlador de demanda máxima consta de dos grandes bloques; estos son: el bloque de la etapa digital y el bloque de la etapa de potencia (Véase figura 5.1)



**Figura 5.1.** Diagrama a bloques del prototipo.

## 5.2. DISPOSITIVOS EXTERNOS.

Además de los dos bloques, el proyecto cuenta con dos dispositivos externos los cuales son de gran ayuda en la medición de la demanda: Medidor del usuario, el cual está sensando la cantidad de demanda empleada durante el proceso y el reloj de tiempo real DS1307, este se estará reiniciando cada cinco minutos teniendo así mediciones en todo este tiempo, logrando con ello asegurarnos que en ningún momento la demanda consumida durante el proceso superará la demanda máxima permitida.

### **5.2.1. El medidor.**

El medidor que se utiliza para las pruebas reales, y a su vez para conocer el comportamiento y respuesta del controlador de demanda, es un medidor denominado ION, estos tipos de medidores digitales son los más utilizados en los últimos años ya que proporcionan información que es de gran utilidad para el usuario (cuando inician o terminan los periodos; además de contar a su salida (Y, Z) con pulsos digitales; dicho número de pulsos varia en proporción a la cantidad de demanda que se está consumiendo durante el proceso; es decir, entre mayor sea la cantidad de demanda consumida mayor será el numero de pulsos entregados a la salida del medidor.



**Figura 5.2.** *Medido digital.*

## 5.2.2. Reloj de tiempo real con comunicación I<sup>2</sup>C. [16]

### 5.2.2.1. Descripción general.

El circuito DS1307 es un reloj real con comunicación serie, el cual contiene un código binario decimal (BCD), además de un clock/calendar que contiene mas de 56 bytes de RAM no volátil. Sus direcciones y datos son serialmente transferidos mediante la comunicación I<sup>2</sup>C con bus bidireccional. El clock/calendar proporciona información como son: los segundos, los minutos, las horas, el día de la semana, día del mes, mes y año.

Al final del mes, el día es automáticamente ajustado para los meses que contengan 31 días, incluyendo correcciones para brincos de año. El reloj opera en modo de 24 horas o en el formato de 12 horas con indicador de AM/PM.

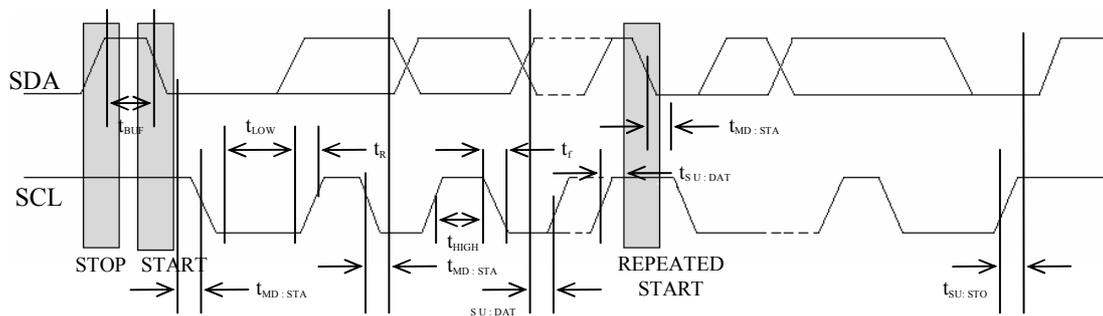
El DS1307 es construido con un circuito el cual detecta si existen fallas en la alimentación y si es así automáticamente pone en funcionamiento su suministro de alimentación.



**Figura 5.3.** Reloj de tiempo real DS1307

### 5.2.2.2. Características.

- Reloj de tiempo real, con cuenta de segundos, minutos, hora, día de la semana, día del mes, mes y año; con compensación de brinco de año valido hasta el 2100.
- 56 Bytes, apoyo de suministro de alimentación, RAM no volátil para almacenaje de datos.
- Interfaz serial I<sup>2</sup>C.
- Circuito detector de falla en la alimentación y suministro de alimentación interno.
- Consumo menor a 500nA con oscilador en funcionamiento.
- Rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- Presentación en circuito integrado de 8 pines.



**Figura 5.4.** Diagrama de tiempos.

La figura 5.4 muestra el funcionamiento del reloj de tiempo real DS1307 en base a un diagrama de tiempo, en este se observa los tiempos en alto y bajo del mismo, para el arranque y paro del reloj de tiempo real.

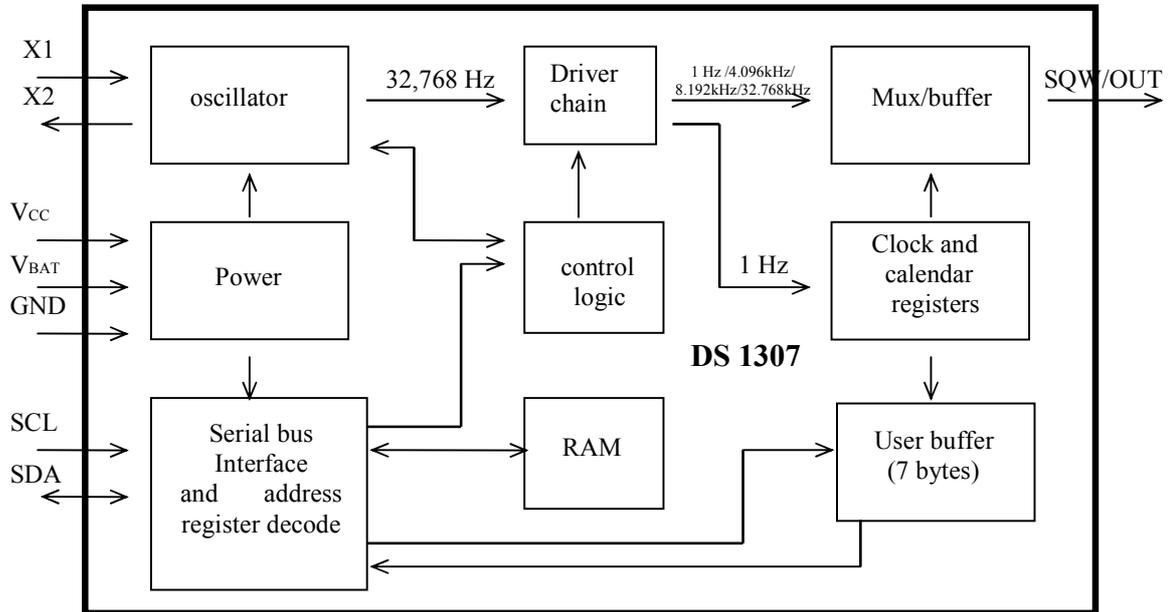


Figura 5.5. Diagrama interno a bloques.

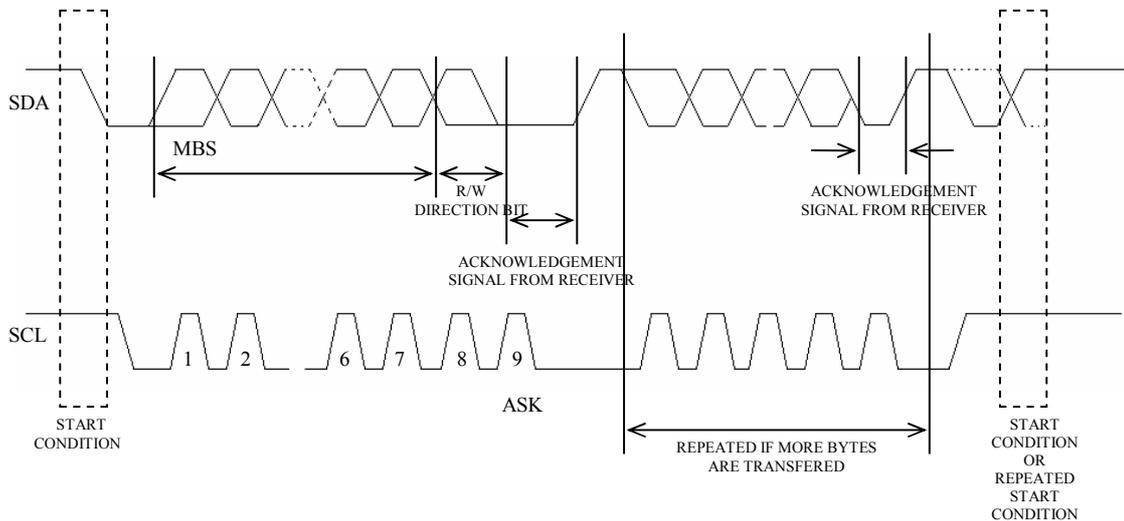
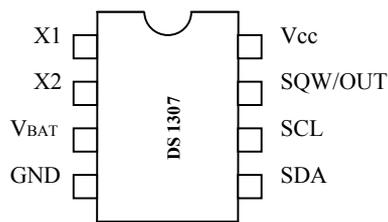


Figura 5.6. Transferencia de datos bus serial I<sup>2</sup>C.

La figura 5.5 muestra los dispositivos internos del DS1307, consta de un oscilador, la batería interna por si existe fallo en el suministro de energía, la sección del bus de interfaz serial de datos y las direcciones para poder manipularlo, una memoria RAM interna para almacenaje de datos, así como su respectiva salida.

La figura 5.6 muestra el diagrama de tiempo para la transferencia de datos mediante la comunicación ASK, en donde se muestra los bits de dirección para la lectura y escritura, una vez esto se procede a leer y enviar los bits que serán transferidos para posteriormente iniciar un nuevo ciclo de transferencia de datos o terminar la transferencia de datos.

### 5.2.2.3. Descripción de terminales.



**Figura 5.7.** Terminales del DS1307.

**X1 y X2.-** Terminales para la conexión del cristal. El circuito oscilador interno está diseñado para operar con un cristal de 12.5 pF. X1 es la entrada del oscilador y puede ser conectado a un oscilador externo de 32.768 kHz. La salida del oscilador interno es X2 y queda flotando si un oscilador externo es conectado en X1.

**V<sub>BAT</sub>.-** Fuente de entrada de respaldo para cualquier valor estándar de 3v de célula de litio u otra fuente de energía; el voltaje de la batería debe ser mantenido entre los límites máximos y mínimos para los propósitos de operación.

**GND.-** Tierra.

**SDA.** Datos seriales de entrada y salida. El SDA son los datos de entrada y salida para la interfase serial I<sup>2</sup>C el pin SDA es de descarga abierta y requiere una resistencia externa de pull up.

**SCL.-** Reloj de entrada serial. El SCL es el reloj de entrada serial para la interfaz I<sup>2</sup>C y es usada para sincronizar el movimiento de datos sobre la interfaz serial.

**SWQ/OUT.-** Driver de salida de onda cuadrada. Cuando es habilitado, el bit SQWE es puesto a 1, la terminal SQW/OUT saca una onda cuadrada de frecuencias (1Hz, 4 Hz, 8 Hz, 32 Hz). La terminal SQW/OUT es de descarga abierta y requiere una resistencia externa de pull –up. El SWQ/OUT opera ya sea con Vcc o VBAT aplicada.

**VCC.-** La fuente de suministro primaria. Cuando el voltaje es aplicado dentro de los límites normales el dispositivo es totalmente accesible y los datos pueden ser escritos y leídos. Cuando la fuente de respaldo es conectada al dispositivo y Vcc es menos que V<sub>TP</sub>, las lecturas o escrituras son bloqueadas o deshabilitadas, mas sin embargo la función de timekeeping (tiempo de recuperación o tiempo de guardado) continua sin ser afectado por la entrada de voltaje bajo.

La función de este dispositivo que ya fue descrito con anterioridad es que cada segundo estará enviando un pulso a la etapa digital reiniciando este número de pulsos cada 5 minutos (más adelante se analizará lo que sucede con este pulso en la etapa digital).

A continuación se explicará en que consiste cada una de las etapas, así como los componentes involucrados y el papel que desempeñan en el controlador de demanda máxima.

### **5.3. ETAPA DIGITAL.**

La etapa digital está compuesta de dos contadores, en dichos contadores se están contabilizando el número de pulsos digitales enviados tanto del medidor así como del reloj de tiempo real (DS 1307), estos pulsos están siendo almacenados en el comparador de pulsos, este comparador como su nombre lo indica se encarga de estar comparando a cada segundo el número de pulsos enviados por ambos contadores.

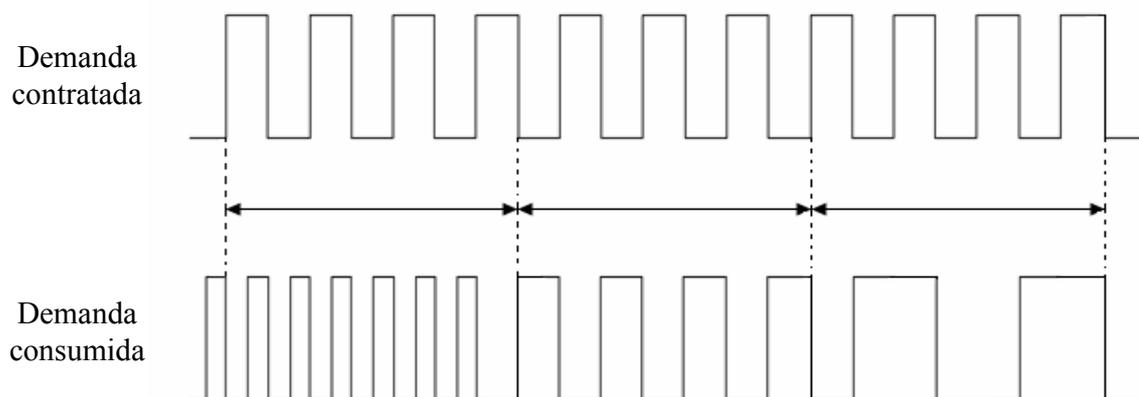
En el instante en el cual el número de pulsos del medidor es mayor que los pulsos del reloj de tiempo real es cuando el controlador de demanda máxima actúa procediendo a la desconexión de una de las cargas, las cuales previamente fueron asignadas en su nivel de prioridad. Si la demanda consumida aun y con la desconexión de una de las cargas sigue siendo mayor que la contratada se procede a la desconexión de las siguientes cargas (teniendo capacidad para manipular hasta tres cargas); entre carga y carga las desconexiones se realizan después de cinco segundos esto es para evitar que todas las cargas sean desconectadas ante un pico de demanda.

Si al término de la desconexión de las tres cargas la demanda sigue en aumento el controlador despliega un mensaje (Véase figura 5.8) de salida el cual sirve al operador para proceder a la desconexión de más cargas pero en forma manual.



**Figura 5.8.** Mensaje de advertencia.

Existen tres condiciones que se pueden presentar durante el proceso (Véase figura 5.9); la primera es aquella en la cual el número de pulsos de la demanda consumida es mayor que el de la demanda contratada y es en este instante en el que se procede a la desconexión de una de las cargas (la que se haya conectada como la prioridad 0); la segunda condición es aquella en el que el número de pulsos de la demanda consumida es el mismo que el de la demanda contratada, esta sería una condición crítica; y la última condición es aquella en el que el número de pulsos de la demanda consumida es menor que el de la demanda contratada.



**Figura 5.9.** Condiciones presentes durante el proceso.

Los intervalos de tiempo que se observan en la figura 5.9 son intervalos de cinco minutos, reiniciando su cuenta al siguiente intervalo; la exactitud de este tiempo se logra mediante el reloj DS1307.

Todo lo mencionado anteriormente es manipulado mediante el microcontrolador ATmega 32 el cual es programado con el software AVR Studio 4; a continuación se dará una breve explicación del funcionamiento en general de los microcontroladores para después proceder a la información técnica del microcontrolador utilizado.

### **5.3.1. ¿Qué es un microcontrolador?**

Un microcontrolador está diseñado para realizar la tarea de muchos circuitos lógicos simplificando así su diseño. Su uso es extremadamente popular por su facilidad de implementación y costo. Los pasos necesarios que el usuario tiene que cubrir para desarrollar circuitos con microcontroladores es determinar todas las tareas a realizar, escribirlas en un archivo, procesarlo para que después se almacene en la memoria del microcontrolador.

Un microcontrolador por definición no tiene una función especial (como lo tendría un amplificador el cual amplifica la señal, un comparador el cual compara una señal con otra o un regulador que regula voltaje entre otros ejemplos) es decir, un microcontrolador es un circuito integrado el cual, de no ser programado no realizara tarea alguna.

La ventaja del uso de los microcontroladores es mucha y muy diversa. Los circuitos discretos son alambrados permanentemente para realizar una función específica. Si los requerimientos del diseño cambian, es probable que sea necesario rediseñar todo el circuito para ajustar estas nuevas necesidades.

Con un microcontrolador, la mayoría de los cambios pueden implementarse simplemente reprogramado el dispositivo. Es decir, solo es necesario cambiar o ajustar el programa y no así el circuito lógico.

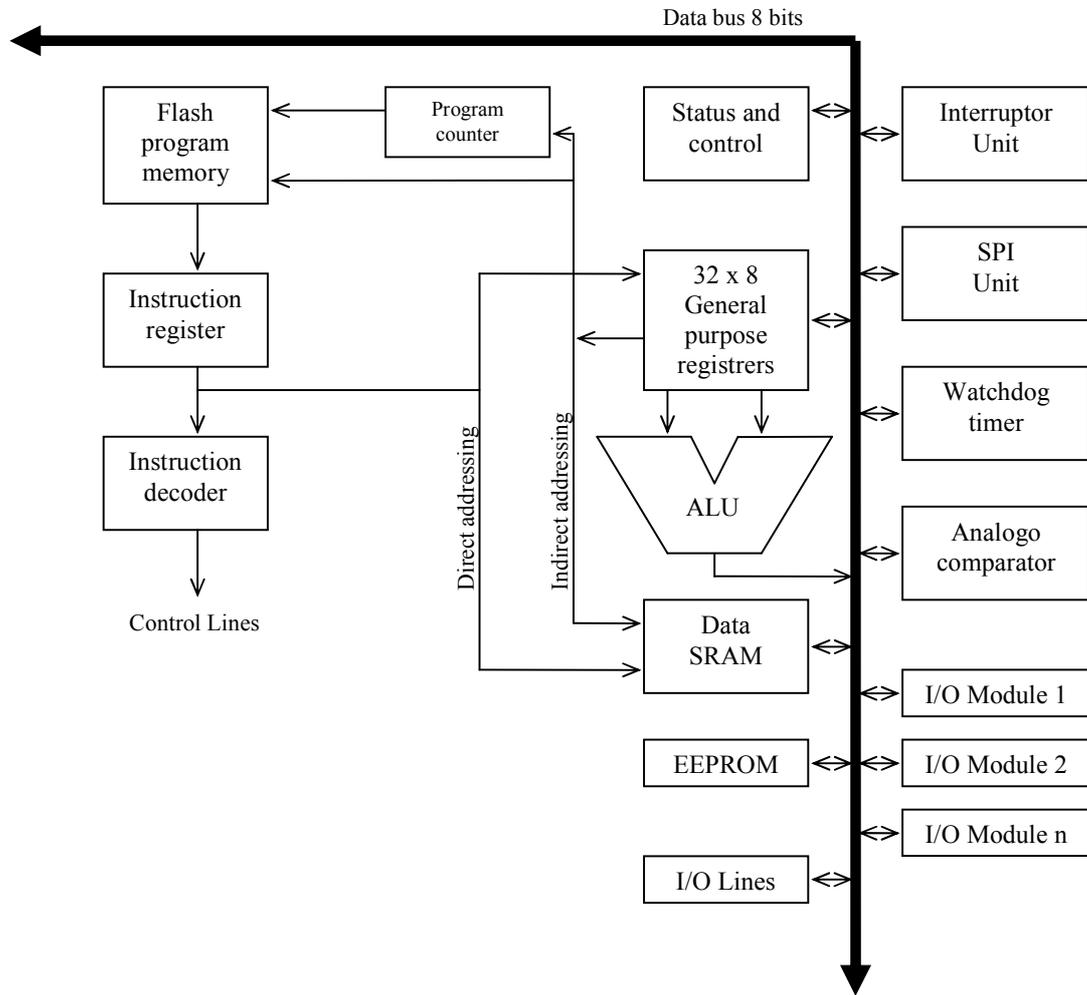
Las aplicaciones del microcontrolador son limitadas solo por la capacidad del programador, ya que se han utilizado en: televisores, teclados, módems, impresoras, luces robóticas, teléfonos, automóviles, juegos de video, pasa mensajes, etc.

Un microcontrolador es un circuito integrado de muy alta escala de integración el cual contiene tres unidades básicas que lo identifican las cuales son: *CPU* (para procesar la información), *memoria de datos* (para guardar la información) y *memoria de programa* (para almacenar las instrucciones). Véase Figura 5.10.

- **CPU.-** De sus siglas en ingles “Unidad de Procesamiento Central” es el corazón del microcontrolador y es aquí donde todas las operaciones aritméticas y lógicas son realizadas. Es decir, es la unidad que calcula todas las operaciones que son ordenadas por la memoria del programa.
- **Memoria de Datos.-** Esta es una memoria que puede ser escrita y leída según sea requerido por el programa. Tiene las funciones de almacenamiento de datos (pila) y como almacenamiento de variables. Este tipo de memoria es usualmente llamada memoria RAM (Memoria de Acceso Aleatorio). Cada localidad de memoria tiene una dirección única con la cual el CPU encuentra la información necesaria.
- **Memoria de Programa.-** Contiene las instrucciones organizadas en una secuencia particular para realizar la tarea. Típicamente es denominada memoria de solo lectura (ROM) o tan bien OTP, EPROM o FLASH que son memorias que una vez programadas almacenan la información aunque el sistema no sea energizado. Esto permite que el microcontrolador ejecute el programa almacenado en memoria inmediatamente después de ser energizado.

Los microcontroladores actuales contienen ambas memorias (datos y programa) incluidas dentro del circuito integrado. Por otro lado, resulta necesario contar con otras unidades que hacen posible el funcionamiento mínimo de un microcontrolador que son: circuitería de temporización y entradas/salidas.

- **Circuitería de Temporización.-** Los microcontroladores usan señales de temporización llamadas reloj que provee una referencia en el tiempo para la ejecución del programa. Esta señal determina en que momento los datos deben ser escritos o leídos de la memoria. Así mismo, provee la sincronía con los dispositivos conectados al microcontrolador (periféricos).
- **Entradas/Salidas.-** Los microcontroladores requieren de una interfase para comunicarse con la circuitería externa. Esta interfase es denominada comúnmente como puerto. Existen puertos de entrada y salida los cuales permiten que las señales (o datos) sean leídos del exterior o mandados al interior del microcontrolador.



**Figura 5.10.** Diagrama a bloques de la arquitectura interna de un microcontrolador de la familia de los AVR.

## 5.3.2. Microcontrolador ATMEGA 32. [13]

### 5.3.2.1 Descripción.

El ATmega 32 es un microcontrolador de 8 bits CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) de alto rendimiento, basado en la arquitectura de RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) pero reforzado con la arquitectura de AVR, las instrucciones son ejecutadas en un ciclo de reloj, el ATmega 32 logra 1 MIPS por MHz lo cual permite al microcontrolador optimizar el consumo de voltaje contra la velocidad de procesamiento.

Los AVR combinan las instrucciones con 32 registros de trabajo de propósito general. Todos estos registros son conectados directamente a la Unidad Lógica Aritmética (ALU) permitiendo que dos registros independientes puedan ser accedidos en una simple instrucción ejecutada en un ciclo de reloj. La arquitectura resultante es un código más eficaz y una velocidad de 10 veces más que el microcontrolador CISC (*Complex Instruction Set Computer*) convencional.

El ATmega nos proporciona las siguientes características:

- Alto rendimiento
  
- La arquitectura de RISC avanzada
  - 131 instrucciones, ejecutándose en un solo ciclo de reloj
  - 32 x 8 registros activos de propósito general
  - Funcionamiento totalmente estático
  - Un chip multiplicador de 2 ciclos
  -
  
- Grados de velocidad
  - 0 – 16 MHz

- Memoria de datos y programa no volátil
  - 32 Kbytes de memoria flash descargable y reprogramable en el sistema  
durabilidad de 10,000 ciclos de escritura/borrado
  - EEPROM de 1024 bytes  
durabilidad de 10,000 ciclos de escritura/borrado
  
- Características de los periféricos
  - 2 timer/contadores de 8 bits con separadores preescalares y modos de comparación
  - 1 timer/contador de 16 bits con separadores presescalares, modos de comparación y modo captura
  - Un contador de tiempo real con oscilador separado
  - 4 canales de PWM
  - ADC de 10 bits
  - Interfase serial
  - USART serial programable
  - Interfase serial SPI maestro/esclavo
  - Temporizador watchdog programable con oscilador separado
  - Comparador analógico
  
- Características especiales del microcontrolador
  - Oscilador interno RC
  - Fuentes de interrupción interna y externa
  
- Entradas y Salidas
  - 32 líneas de entrada/salida programables
  - 40 terminales
  
- Voltajes de operación
  - 4.5 – 5.5 volts

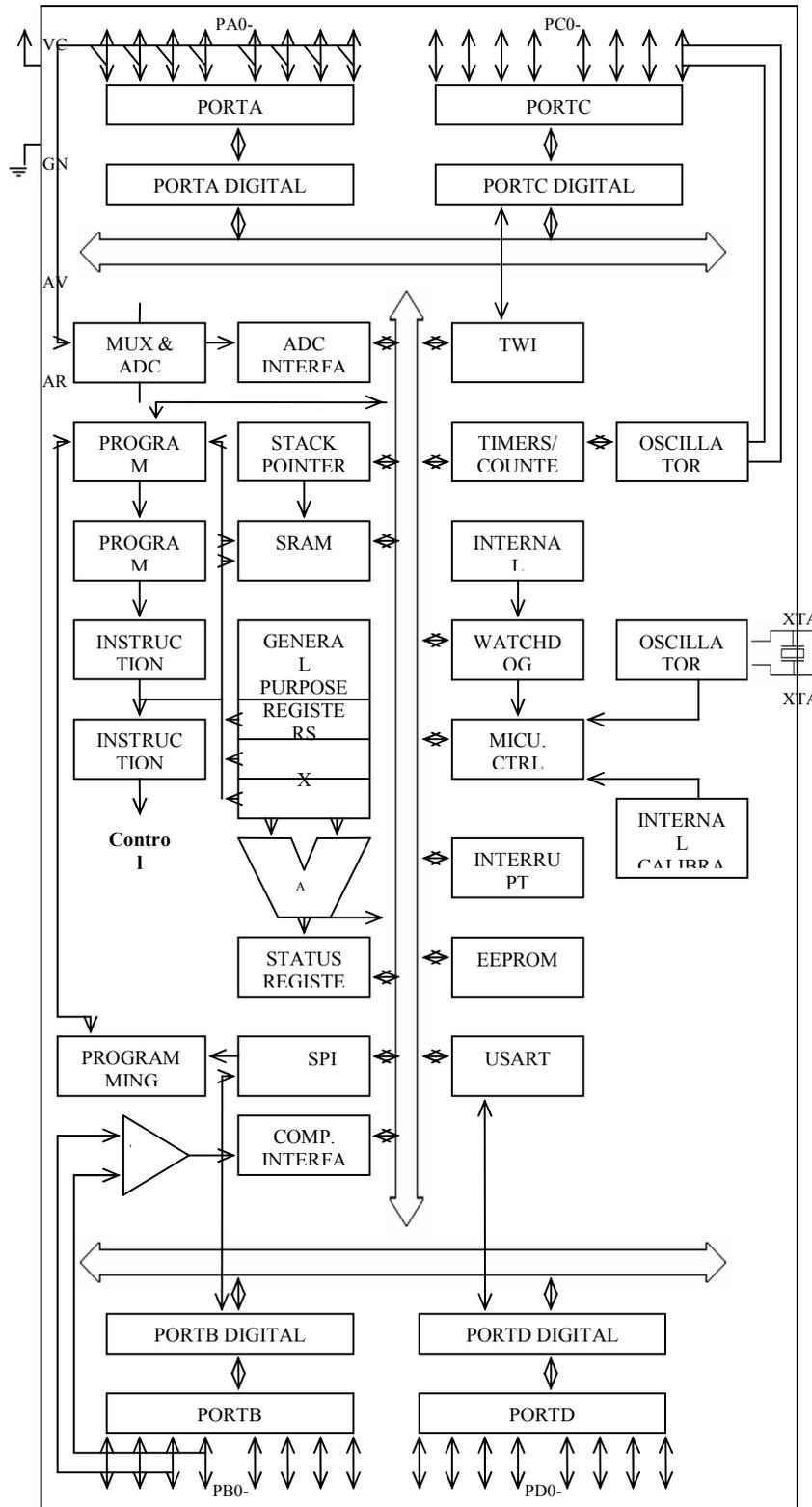
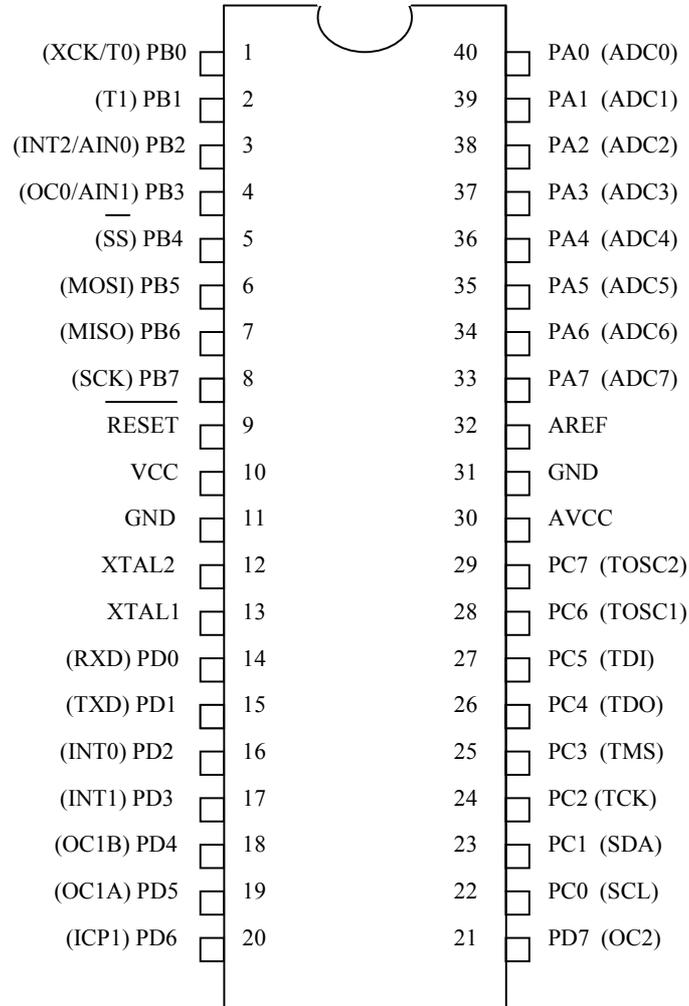


Figura 5.11. Diagrama a Bloques del ATmega 32



**Figura 5.12.** Terminales de salida del ATmega 32

### 5.3.2.2. Descripción de terminales.

**VCC.-** Voltaje de suministro.

**GND.-** Tierra.

**XTAL 1.-** Entrada del amplificador oscilador y entrada del circuito de operación del reloj interno.

**XTAL 2.-** Salida del amplificador oscilador.

**RESET.-** Entrada de reset. Un nivel bajo en esta terminal generado por un pulso mas largo que el mínimo generara el restablecimiento aun y cuando el reloj no haya sido puesto en marcha.

**AVCC.-** Es una terminal de fuente de voltaje para el puerto A y el convertidor análogo/digital. Este debe ser conectado externamente a VCC, aun y cuando el convertidor no sea utilizado. Si el ADC es utilizado debe conectarse VCC a través de un filtro pasa bajo.

**AREF.-** Es una terminal de referencia análoga para el convertidor análogo/digital.

**Port A (PA7..PA0).-** El puerto A funciona como las entradas análogas del convertidor análogo/digital (A/D). El puerto A también funciona como puerto bidireccional entrada/salida de 8 bits si el convertidos análogo/digital no es usado. Los pines del puerto pueden proporcionar una resistencia interna.

**Port B (PB7..PB0).-** El puerto B es un puerto bidireccional entrada/salida de 8 bits, con resistencias internas de pull-up (seleccionadas por cada bit); los buffers de salida del puerto B tienen características de control simétricas ambos con capacidades de suministro y absorción. Como entradas las terminales del puerto B las cuales son externamente pulled low (selección baja) suministrará corriente si las resistencias de pull-up (selección alta) están activadas.

**Port C (PC7..PC0).**- El puerto C es un puerto bidireccional entrada/salida de 8 bits, con resistencias internas de pull-up (seleccionadas por cada bit); los buffers de salida del puerto C tienen características de control simétricas ambos con capacidades de suministro y absorción. Como entradas las terminales del puerto C las cuales son externamente pulled low suministrará corriente si las resistencias de pull-up están activadas.

**Port D (PD7..PD0).**- El puerto D es un puerto bidireccional entrada/salida de 8 bits, con resistencias internas de pull-up (seleccionadas por cada bit); los buffers de salida del puerto D tienen características de control simétricas ambos con capacidades de suministro y absorción. Como entradas las terminales del puerto D las cuales son externamente pulled low suministrará corriente si las resistencias de pull-up están activadas.

### 5.3.3. Funciones alternativas de los puertos.

#### 5.3.3.1. Puerto A.

Las terminales del puerto A tienen una función alterna la cual es utilizada como entrada analógica para el ADC como se muestra en la Tabla 5.1. Si algunas terminales del puerto A son configurados como salida, es importante que estos no sean conmutados cuando una conversión este en marcha. Esto podría alterar el resultado de la conversión.

**Tabla 5.1.** *Funciones alternativas del puerto A.*

| Port Pin | Función Alternativa           |
|----------|-------------------------------|
| PA/      | ADC/ (entrada del ADC canal 7 |
| PA6      | ADC6 (entrada del ADC canal 6 |
| PA5      | ADC5 (entrada del ADC canal 5 |
| PA4      | ADC4 (entrada del ADC canal 4 |
| PA3      | ADC3 (entrada del ADC canal 3 |
| PA2      | ADC2 (entrada del ADC canal 2 |
| PA1      | ADC1 (entrada del ADC canal 1 |
| PA0      | ADC0 (entrada del ADC canal 0 |

### 5.3.3.2. Puerto B.

El puerto B tiene funciones alternativas las cuales son mostradas en la Tabla 5.2

**Tabla 5.2.** *Funciones alternativas del puerto B*

| Port Pin | Función Alternativa   |
|----------|---|
| PB/      | SCK (SPI bus serial del reloj)  |
| PB6      | MISO (salida del bus maestro SPI entrada/esclavo)   |
| PB5      | MOSI (entrada del bus maestro SPI salida/esclavo)   |
| PB4      | SS (SPI selector entrada esclavo)   |
| PB3      | AIN1 (entrada negativa del comparador analogo)<br>OC0 (salida del timer/contador0 salida del comparador de igual) |
| PB2      | AIN0 (entrada positiva del comparador analogo)<br>INT2 (entrada de la interrupción externa 2)                     |
| PB1      | T1 (entrada del contador externo timer/contador1)   |
| PB0      | T0 (entrada del contador externo timer/contador0)<br>XCK (entrada/salida del contador externo USART)              |

### 5.3.3.3. Puerto C.

Las terminales del puerto C tienen funciones alternativas, las cuales son mostradas en la Tabla 5.3 Si la interfaz JTAG es habilitada las resistencias internas de los pines PC5 (TDI), PC3 (TMS), y PC2 (TCK) se activaran aun y cuando se presente un restablecimiento.

**Tabla 5.3.** *Funciones alternativas del puerto C*

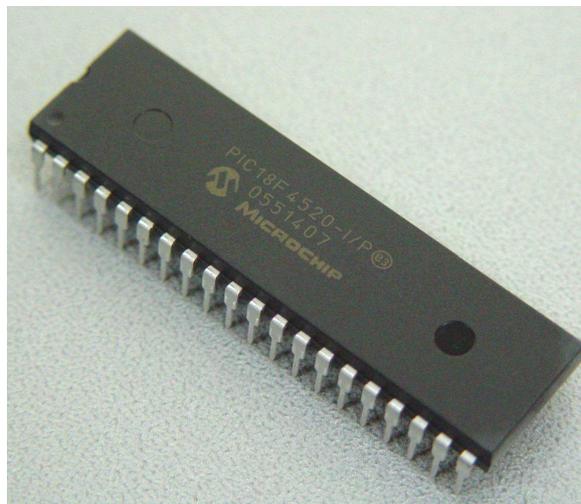
| Port Pin | Función Alternativa  |
|----------|--|
| PC/      | TOSC 2 ( pin del timer oscilador 2)                        |
| PC6      | TOSC 1 (pin del timer oscilador 1)                         |
| PC5      | TDI ( entrada prueba de datos JTAG)                        |
| PC4      | TDO (salida prueba de datos JTAG)                          |
| PC3      | TMS (selección modo prueba JTAG)                           |
| PC2      | TCK (prueba de reloj JTAG)                                 |
| PC1      | SDA (línea de entrada/salida bus de datos serial Two-wire) |
| PC0      | SCL (línea de reloj bus serial Two-wire)                   |

## 5.3.3.4. Puerto D.

El puerto D tiene funciones alternativas las cuales son mostradas en la Tabla 5.4.

**Tabla 5.4.** *Funciones alternativas del puerto D*

| Port Pin | Función Alternativa  |
|----------|--|
| PD/      | OC2 (salida del comparador de igual salida timer/contador2)    |
| PD6      | ICP1 (entrada del pin de captura timer/contador1)              |
| PD5      | OC1A (salida del comparador de igual A salida timer/contador1) |
| PD4      | OC1B (salida del comparador de igual B salida timer/contador1) |
| PD3      | INT1 (entrada de interrupción externa1)                        |
| PD2      | INT0 (entrada de interrupción externa0)                        |
| PD1      | TXD (pin de salida USART)                                      |
| PD0      | RXD (pin de entrada USART)                                     |



**Figura 5.13.** *Microcontrolador*

5.3.4. Distribución de dispositivos conectados al microcontrolador.

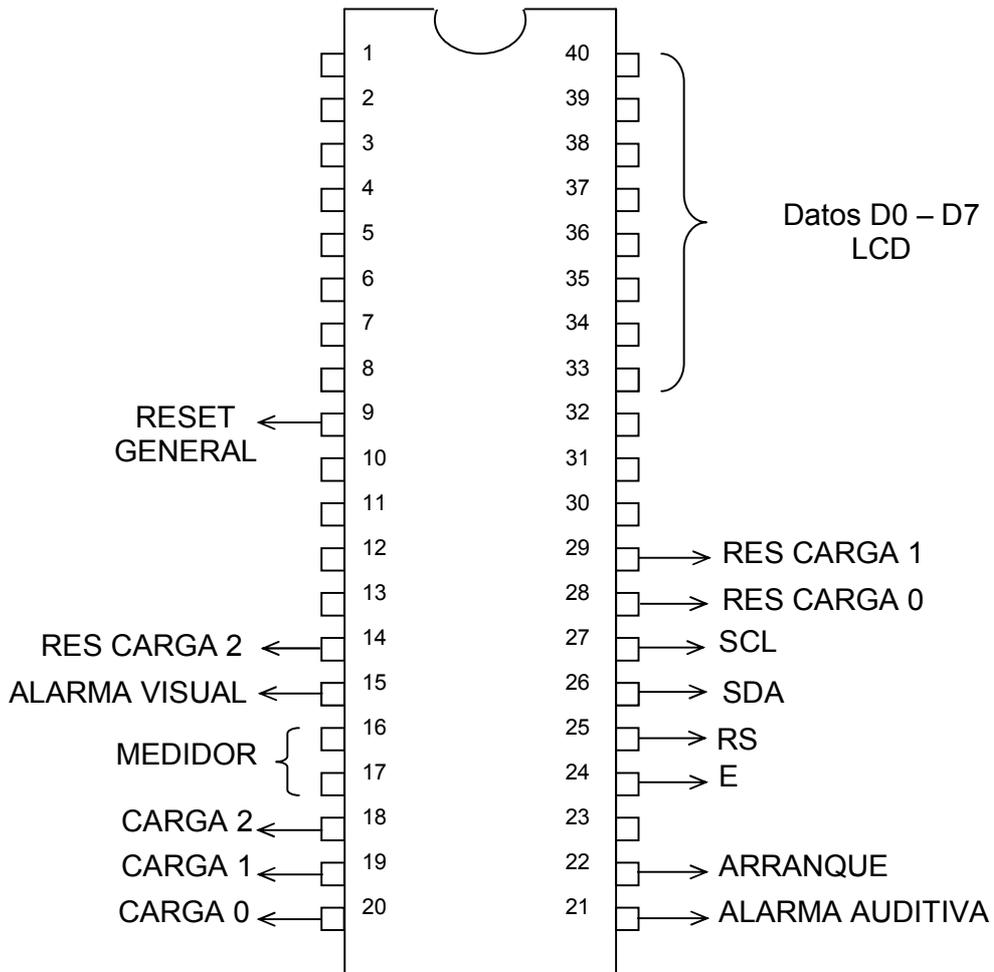


Figura 5.14. Conexión con las terminales del ATmega 32

En la figura 5.14 se observa que en el puerto A se tiene conectada una pantalla de cristal liquido (LCD) la cual ayuda a tener un ambiente de trabajo más ameno entre el usuario y el controlador de demanda, ya que, la pantalla de cristal liquido cuenta con dos líneas, la línea superior la cual es la encargada de mostrar la cantidad de pulsos que se generan en base a la cantidad de demanda contratada, esto se logra de una manera sencilla; una vez que se tiene la cantidad de kW/h de el consumo mensual se procede a conocer el consumo en un día (dividiendo la cantidad mensual entre 30) y a su vez se dicha cantidad se divide entre 12 ya que es la constante para conocer la demanda máxima en el periodo de 5 minutos; realizada esta operación se tiene una ecuación básica la cual dice que:

$$3600 \text{ pulsos} = 1\text{kWh}$$

Por lo tanto al conocer la cantidad de kWh que se consumen en la empresa se calcula el número de pulsos para que estos sean programados en el microcontrolador de el controlador de demanda máxima; pero se debe tomar en cuenta que este es el máximo nivel de demanda permitido por lo tanto el valor que se programará será un menos 5 % del total.

La segunda línea es la que mas interesa al usuario porque aquí se muestra la cantidad de demanda que se esta consumiendo durante el proceso y el usuario puede tener conocimiento de lo que sucede en su proceso y si así se desea proceder a la desconexión de cargas en forma manual; además de los pines 24 y 25 con los cuales se tiene el control para la escritura y modo en que se mostraran los datos

Como se puede observar en la figura 5.14, el controlador tiene la capacidad de manipular tres cargas las cuales se encuentran conectadas en el puerto D en las terminales 18, 19 y 20; cabe hacer mención que la carga conectada en la terminal 20 será la carga de prioridad 0, la carga conectada en la terminal 19 será la que tenga la prioridad 1 y por ultimo la carga conectada en la terminal 18 será la que tenga la prioridad 2.

Además este controlador puede expandir su capacidad hasta once cargas ya que el puerto B se encuentra sin uso y con este podemos controlar ocho cargas más.

El controlador cuenta con cinco interruptores los cuales serán descritos a continuación; el interruptor conectado en la terminal 21 es el de arranque con este como un nombre lo indica se procede al arranque general del sistema poniendo en funcionamiento el reloj DS1307 así como el programa almacenado en la memoria del microcontrolador.

El interruptor localizado en la terminal 9 es el de reset general este es de gran ayuda si se presenta algún contratiempo en el proceso de la industria.

Los interruptores colocados en las terminales 14, 29 y 28 es el restablecimiento de las cargas las cuales previamente fueron desconectadas del proceso; cabe hacer mención que el orden en el cual las cargas serán restablecidas es el contrario en el que fueron desconectadas, es decir, si las tres cargas fueron desconectadas la primera en entrar nuevamente al sistema es la que tenga la prioridad 2 para después proceder a la incorporación de la carga de prioridad 1 y finalmente la carga de prioridad 0.

En las terminales 27 y 26 se localizan los datos enviados por el reloj DS1307 con estos datos y la programación del microcontrolador se logra reiniciar la cuenta de los pulsos de la demanda contratada cada 5 minutos reales, así se asegura que la medición de la demanda se hace a cada instante y por lo tanto se puede proceder a la desconexión de cargas en el instante que la demanda consumida supere la contratada sin importar en que intervalo o subintervalo se encuentre la medición, ya que la desconexión se hará instantáneamente.

Se está dando un margen de 5 a 6 segundos entre cada una de las desconexiones para que con ello el controlador de demanda pueda analizar el comportamiento de la demanda consumida y poder tener el mayor número de cargas operando durante el proceso.

Por último, las terminales del medidor (Y, Z) se encuentran en las terminales 16 y 17 como se puede observar se localizan en las interrupciones externas con esto, al tener un uno lógico el microcontrolador realiza subrutinas de interrupción sin dejar de operar el programa principal; la sección de subrutina es la que genera la cuenta de la demanda consumida.

### **5.3.5. Programa elaborado en el microcontrolador ATmega 32.**

Aquí se analiza un poco la elaboración del programa que contiene el microcontrolador; dicho programa es el que gobierna a todo el sistema y fue realizado en el software AVR Studio versión 4.

arranque:

```
rcall texto1
rcall retar
rcall retar

rcall texto2
rcall retar
rcall retar

rcall carga_inicial

rcall texto3
rcall retar
```

En esta sección se habilita a la LCD para mostrar los mensajes de bienvenida, así como los textos mostrados en todo momento, en los cuales se monitorea la demanda contratada así como la demanda consumida.

principio:

```
sbic  pinc,0
rjmp  principio

sbi   portd,4
sbi   portd,5
sbi   portd,6

ldi   r26,$00
ldi   r27,$00

sts   bajo,r26
sts   alto,r27
```

En esta sección se pregunta por el interruptor de arranque el cual si fue oprimido prosigue con la habilitación de las cargas que se tienen a controlar (3) colocadas en los pines cuatro, cinco y seis del puerto D, además se carga a los registros 26 y 27 el valor de cero para posteriormente almacenarlos en la memoria bajo y alto respectivamente; y si dicho interruptor no fue oprimido se queda ciclado en las dos primeras líneas.

```
rcall escribo_al_reloj
rcall retar
rcall retar
```

En esta sección se lleva a cabo la habilitación del reloj de tiempo real (DS1307), iniciando con cero segundos, cero minutos, para con ello a cada segundo estar mostrando en la pantalla de cristal liquido la demanda contratada así como la consumida, y posteriormente cada cinco minutos reiniciar dicho conteo; además de los retardos.

relo:

```
rcall  restablecer
ldi   a,low (ramend)
out   spl,a
ldi   a,high (ramend)
out   sph,a

lds   r26,bajo
lds   r27,alto
rcall conv_hexadeci
rcall cuefija

lds   r26,bajo2
lds   r27,alto2
rcall conv_hexadeci
rcall cuevar
rcall lee_reloj

lds   r26,bajo
lds   r27,alto

mov   b,segundo
mov   c,minuto

andi  b,$01
cpi   b,$01
breq  si
cpi   b,$00
breq  si
rjmp  relo
```

En esta sección del programa en cada momento en que se pase por este, se refresca el valor del stack con esto nunca se tiene problemas en cuanto a que el programa pierda su rutina; se almacena lo que contengan los registros 26 y 27 en bajo y alto respectivamente, después de esto se manda a llamar a la subrutina conv\_hexadeci con la cual el valor que se tiene en hexadecimal en las memorias bajo y alto; después se llama a la subrutina cuefija en la cual se almacenan los datos para ser mostrados en la LCD, posteriormente los nuevos datos localizados en los registros 26 y 27 se almacenan en las memorias bajo2 y alto2 respectivamente y se hace el mismo procedimiento llamando a las subrutina: conv\_hexadeci , cuefija.

Se manda a llamar a la subrutina lee\_reloj con esto a cada segundo se tienen las nuevas cantidades almacenadas en las memorias bajo, bajo2, alto y alto2 en la LCD

si:

```
lds  a,timecarga
inc  a
cpi  a,$10
breq res
sts  timecarga,a
```

ko:

```
adiw r27:r26,$01

sts  bajo,r26
sts  alto,r27

rcall cargas
mov  c,minuto
cpi  c,$05
breq aun
rjmp relo
```

En esta sección de programa es en donde se da el tiempo de retardo (cinco a seis segundos) entre la una y otra desconexión de carga para evitar que todas las cargas se desconecten a consecuencia de algún pico de demanda, con esto logramos tener la mayor cantidad de cargas conectadas; además aquí es en donde el reloj de tiempo real (DS1307) reinicia su cuenta cada cinco minutos.

aun:

```
rcall reset

ldi r26,$00
ldi r27,$00
sts bajo,r26
sts alto,r27
sts bajo2,r26
sts alto2,r27

rjmp relo
```

En esta sección de programa una vez que el reloj de tiempo real (DS 1307) llega al tiempo de cinco minutos, las cuentas visualizadas en la LCD se vuelven a ser cero, esto se logra limpiando los registros 26 y 27 para posteriormente almacenar ese nuevo valor en bajo, bajo2, alto y alto2

restablecer:

```
sbic  pinc,6
rjmp  restablecer1
sbis  pind,5
rjmp  restablecer1
sbi   portd,4
cbi   portd,1
ldi   e,$00
sts   bancarga,e
```

restablecer1:

```
sbic  pinc,7
rjmp  restablecer2
sbis  pind,6
rjmp  restablecer2
sbi   portd,5
ldi   e,$01
sts   bancarga,e
```

restablecer2:

```
sbic  pind,0
rjmp  restablecer3
sbic  portd,6
rjmp  restablecer3
sbi   portd,6
ldi   e,$02
sts   bancarga,e
```

restablecer3:

```
ret
```

En esta última sección del programa es en donde se lleva a cabo la reincorporación de las cargas en forma manual, cabe hacer mención que el modo de incorporación de dichas cargas será en forma inversa a la que fueron desconectadas esto es, la primera carga a incorporar debe ser la de prioridad 2 para posteriormente incorporar la de prioridad 1 y por último la de prioridad 0.

#### **5.4. ETAPA DE POTENCIA.**

La etapa de potencia es aquella en la cual se localizan las cargas que se están manipulando mediante el controlador de demanda máxima (en este caso tres).

Para llevar a cabo pruebas a nivel prototipo se emplearon focos de 60 watts, representando estos, cargas reales en la industria (motores de mediana capacidad, sistemas de enfriamiento, algunas estaciones de alumbrado entre otras).



**Figura 5.15.** *Simulación de cargas con focos de 60 watts.*

El dispositivo encargado de la correcta armonía entre el controlador de demanda máxima y las cargas manipulables es el llamado MOC 3041 (mejor conocido como *Optoacoplador*), el cual tiene la encomienda de aislar la etapa digital de todos los circuitos de potencia empleados en un sistema; su fácil manejo así como su sencilla conexión lo hace uno de los mas efectivos para dicho propósito ya que este al ser puesto en funcionamiento mediante un pulso digital internamente se pone en corto circuito activando con esto un TRIAC, el cual es el que finalmente activa o desactiva todo lo correspondiente a electrónica de potencia. [14]



Figura 5.16. Optoacoplador vista externa.

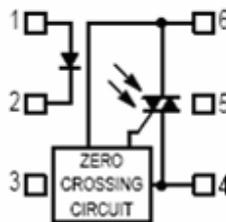
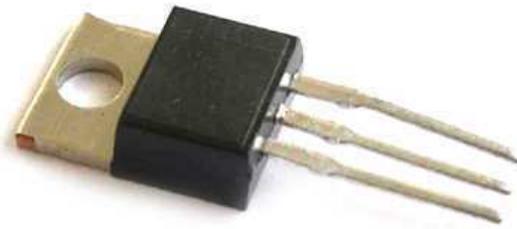
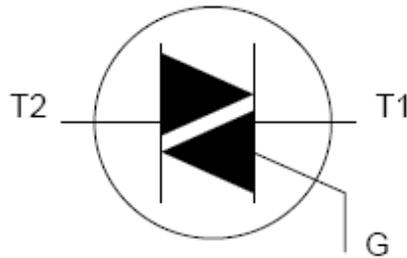


Figura 5.17. Optoacoplador vista interna.

El TRIAC empleado para este propósito es el MAC 223 siendo su característica principal el poder manejar hasta 25A cada uno. [16]



**Figura 5.18.** *TRIAC vista externa*



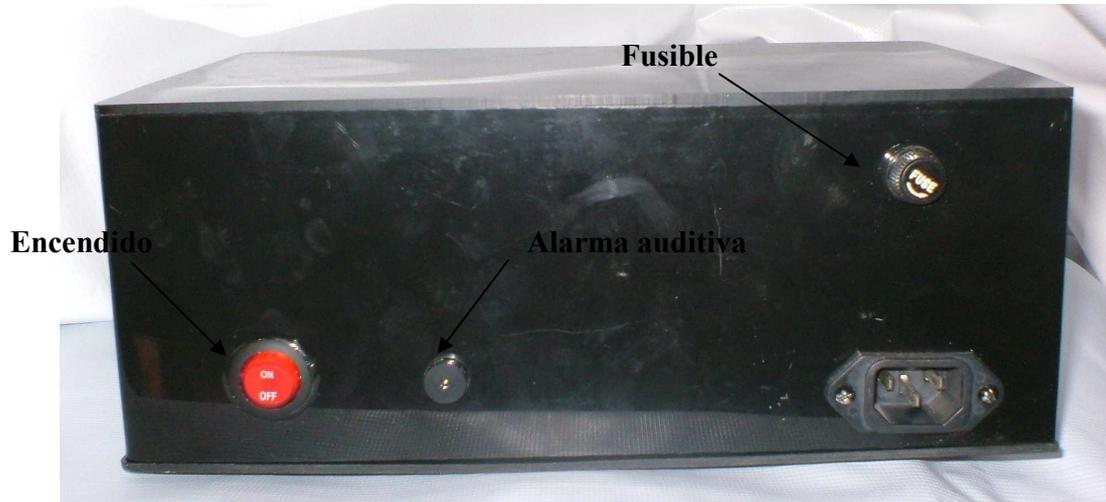
**Figura 5.19.** *TRIAC símbolo*

### 5.5. DISEÑO FINAL DEL PROTOTIPO.



Figura 5.20. Vista frontal del controlador.

La figura 5.20 muestra la cara frontal del prototipo en la cual se tiene la LCD, dos botones (arranque y reset), los tres indicadores de las cargas conectadas, las conexiones para el medidor digital de CFE, los pulsos del reloj de tiempo real DS 1307



**Figura 5.21.** *Vista posterior del controlador.*

La figura 5.21 muestra la cara posterior del prototipo en la cual se observa el interruptor general de encendido del controlador, el fusible para evitar los excesos de corriente y con ello evitar que se dañe el aparato, la alarma auditiva y la conexión a la corriente.

# *Capítulo*

# 6

---

---

## *Resultados y Conclusiones*

En este último capítulo, se muestran las pruebas realizadas al controlador de demanda máxima, bajo distintas circunstancias, mostrándose los resultados obtenidos así como las conclusiones a las que se llegaron en base a estas.

## 6.1. RESULTADOS.

Las pruebas hechas al controlador de demanda máxima fueron realizadas en Comisión Federal de Electricidad División Golfo Centro en el departamento de Medición dentro de su laboratorio de pruebas, el cual tiene a su cargo el Ing. Silverio Di Constanzo.

Dichas pruebas consistieron, en la conexión de una carga artificial (RL60) cuyo rango de operación es de 0 a 10 amperes (Véase figura 6.1); al controlador de demanda máxima, dicha carga es empleada dentro del laboratorio para la calibración de los medidores y comprobar que las mediciones obtenidas por estos son las correctas, el funcionamiento de la carga es en base a la corriente ya que entre mas corriente genera esta, mayor es el número de pulsos de salida que llegan la medidor, por lo tanto es en ese instante cuando la demanda inicia su crecimiento.

Además de la carga se conectó al controlador de demanda máxima un medidor digital, la finalidad es comprobar que las mediciones tanto del controlador como del medidor, sean las mismas y así lograr una eficiencia del 100% del controlador.

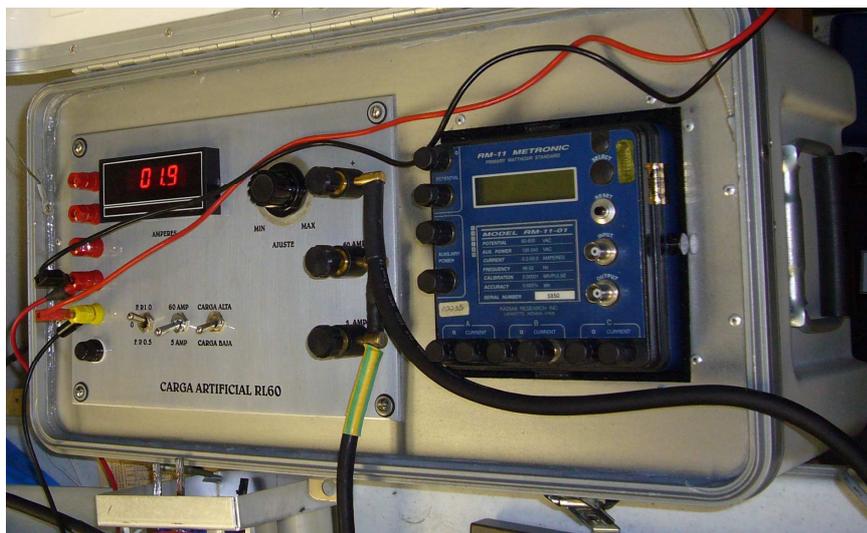


Figura 6.1. Carga artificial RL60.

A continuación se muestran las tablas de las pruebas realizadas.

**Tabla 6.1.** *Carga artificial con 1 Amper.*

|   |           |
|---|-----------|
| Corriente en la carga virtual: 1 Amper.                             |           |
| Pulsos leídos por el medidor: 1 cada cinco segundos.                |           |
| Pulsos leídos por el controlador de demanda: 1 cada cinco segundos. |           |
| Carga prioridad cero  | Conectada |
| Carga prioridad uno   | Conectada |
| Carga prioridad dos   | Conectada |

**Tabla 6.2.** *Carga artificial con 2 Amperes.*

|  |           |
|--|-----------|
| Corriente en la carga virtual: 2 Amper.                              |           |
| Pulsos leídos por el medidor: 1 cada cuatro segundos.                |           |
| Pulsos leídos por el controlador de demanda: 1 cada cuatro segundos. |           |
| Carga prioridad cero   | Conectada |
| Carga prioridad uno  | Conectada |
| Carga prioridad dos  | Conectada |

**Tabla 6.3.** *Carga artificial con 3 Amperes.*

|   |              |
|---|--------------|
| Corriente en la carga virtual: 3 Amper.                           |              |
| Pulsos leídos por el medidor: 1 cada dos segundos.                |              |
| Pulsos leídos por el controlador de demanda: 1 cada dos segundos. |              |
| Carga prioridad cero  | Desconectada |
| Carga prioridad uno   | Conectada    |
| Carga prioridad dos   | Conectada    |

**Tabla 6.4.** *Carga artificial con 4 Amperes.*

|  |              |
|--|--------------|
| Corriente en la carga virtual: 4 Amper.                      |              |
| Pulsos leídos por el medidor: 1 cada segundo.                |              |
| Pulsos leídos por el controlador de demanda: 1 cada segundo. |              |
| Carga prioridad cero   | Desconectada |
| Carga prioridad uno  | Desconectada |
| Carga prioridad dos  | Conectada    |

**Tabla 6.5.** *Carga artificial con 5 Amperes.*

|  |              |
|--|--------------|
| Corriente en la carga virtual: 5 Amper.                      |              |
| Pulsos leídos por el medidor: 2 cada segundo.                |              |
| Pulsos leídos por el controlador de demanda: 2 cada segundo. |              |
| Carga prioridad cero   | Desconectada |
| Carga prioridad uno  | Desconectada |
| Carga prioridad dos  | Desconectada |

## 6.2. CONCLUSIONES

Con las pruebas realizadas, se puede concluir que sí es posible el diseño y construcción de un controlador de demanda máxima, el cual estará monitoreando y actuando sobre las cargas en base a una tabla de prioridades si así se requiere durante el proceso para evitar que se exceda el nivel de demanda máxima contratado.

Además de esto, el conectar el controlador de demanda con el medidor de CFE, es aún más factible ya que la medición de este es exacta.

### 6.3. EXPERIENCIAS EN PROGRAMAS DE CONTROL DE DEMANDA.

En México existen instituciones, como el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), que promueve ampliamente la aplicación de sistemas de control para la demanda, donde se han logrado experiencias exitosas en las siguientes ramas industriales:

*Industria Siderúrgica.*- En la mayoría de estas empresas se aplica un programa de control de demanda. Los ahorros que se han tenido en esta rama son impresionantes y el impacto sobre la producción es despreciable.

*Industria Minera.*- En estas empresas se han aplicado programas de control manual de demanda, por lo que no han sido necesarias grandes inversiones y se ha reducido en forma importante el monto de la facturación eléctrica.

*Industria Alimenticia.*- En esta rama industrial se controlan principalmente los motores de los compresores de refrigeración y se ha reducido considerablemente la facturación eléctrica.

*Industria Maquiladora.*- En estas empresas de la industria maquiladora, las cargas por aire acondicionado y hornos de resistencia suelen ser las más importantes y han aplicado equipos de control de demanda basados en la operación de estos equipos.

*Industria Automotriz.*- En la industria automotriz también se han aplicado proyectos exitosos sin necesidad de grandes inversiones, en muchos proyectos solo se han realizado cambios en las rutinas de producción.

Aunque en la mayoría de las instalaciones industriales y comerciales, que se que se encuentran contratadas en alguna tarifa horaria, se tienen ejemplos claros de la rentabilidad de los programas de control de la demanda, es conveniente mencionar que no es una receta de cocina, pues desafortunadamente los sistemas consumidores de energía nunca operan de la misma manera y las variaciones en el consumo de energía son inevitables.

Similarmente, las empresas y los equipos no pueden funcionar siempre de la misma forma y el consumo de energía será afectado por las variaciones en el funcionamiento. Por esta razón los programas de control de la demanda se tienen que desarrollar internamente en cada empresa a lo largo de cierto periodo de tiempo, usando como información una gran base de datos.

### **6.3. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS.**

Entre algunas de las posibles modificaciones que se pueden hacer en este trabajo y continuar con el control de la demanda se pueden mencionar las siguientes:

- Aumentar el número de cargas a controlar. Es fácil lograr hacer esta modificación, ya que el microcontrolador empleado para este fin, tiene 14 terminales libres para aumentar hasta 17 cargas a controlar, es cuestión de modificar el software y hacer unos cambios en el circuito impreso para acoplar dichas cargas.
- Hacer que la reincorporación de cargas se realiza de forma automática. En este momento dicha incorporación se realiza de forma manual, para lograr la automatización se debe cerrar el lazo de control; es decir una vez que la demanda disminuye hacer un análisis de lo que pasaría con esta si se reincorpora alguna de las cargas y si es factible hacer la incorporación (esto se haría mediante el software).

- Hacer una interfaz para descargar los datos del microcontrolador a una computadora personal o Lap Top. Esto servirá para que el usuario identifique las horas en que la demanda crece y en el instante en el que las cargas fueron desconectadas, esto se puede hacer en formato Excel.

# Referencias

---

- [1] - Grupo Condumex 2001, “Sistemas en edificios inteligentes”, “Sistema de control de acceso”.  
[http://www.condumex.com/electronica/sist\\_edificios\\_inteligentes.html](http://www.condumex.com/electronica/sist_edificios_inteligentes.html)  
CIECE 2005
- [2] - M.C. F. Pereira Caldas, J. P. Rebelo Perdigão, P. J. Guerra Pessoa Pereira., “Sistema de Segurança para Edifícios”, [http://alumni.deec.uc.pt/~fausto/p0\\_proj.html](http://alumni.deec.uc.pt/~fausto/p0_proj.html). CIECE 2005
- [3] - Valenzuela-Cázares, Francisco G., Romero-Aguirre, Eduardo, “*Desarrollo de un estudio energético en el sistema de aguas de una empresa cervecera para la reducción del cobro por energía eléctrica*”. Departamento de Ingeniería Eléctrica Instituto Tecnológico de Sonora, **ITSON**. RVP 2004
- [4] - Ángel Marroquín de Jesús, David González Virrueta, “*Determinación del potencial de ahorro de energía eléctrica en la Universidad Tecnológica de San Juan del Río*”. Universidad Tecnológica de San Juan del Río. RVP 2003
- [5] - M.C. Mario Salvador Esparza González, Juan Pablo Altamira Rodríguez, “*Controlador de Demanda Máxima*”. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica.

- [6] - Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/es/> (May 6, 2005)
- [7] - Disponible en: [http://www.circutor.com/pdf/catalogos/m6\\_sp.pdf](http://www.circutor.com/pdf/catalogos/m6_sp.pdf) (May 6, 2005)
- [8] - M.C. Mario Esparza González, Villeda Delgado L. E, Alcalá Hernández M, “Análisis para la selección de un método óptimo en el diseño de un controlador de demanda digita”. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. CIECE 2001
- [9] - Rubén Martínez Alonso, Domingo Torres Lucio Member of Imeko, “Diseño de Medidor Digital de Potencia Eléctrica con lectura de Datos en RF”, XVII Congreso de Instrumentación, SOMI Sociedad Mexicana de Instrumentación, Mérida Yucatán, del 14al 18 de Octubre del 2002.  
CIECE 2005
- [10] - Ing. Amado San Pedro Leal “La Demanda Eléctrica, su concepto y su participación en la operación de los sistemas de potencia”. Primera Edición 2000
- [11] - Disponible en:  
[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_234\\_control\\_de\\_la\\_demand](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_234_control_de_la_demand)  
(Oct 17, 2007)
- [12] - Disponible en:  
<http://emesystems.com/pdfs/parts/DS1307.pdf>  
(Oct 17,2007)
- [13] - Disponible en: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2503.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf)  
(Abril 5, 2007)

- [14] - Disponible en:  
[http:// www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/M/O/C/3/MOC3041](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/M/O/C/3/MOC3041)  
(Oct 17,2007)
- [15] - Disponible en:  
[http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml)  
(Oct 17,2007)
- [16] - Disponible en:  
[http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets\\_pdf/M/A/C/2/MAC223-8FP](http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/M/A/C/2/MAC223-8FP).  
(Oct 17, 2007)
- [17] - Juan Luis Silvestre Palacios Trinidad, Aarón González Rodríguez “DISEÑO DE UN CONTROLADOR DE DEMANDA MAXIMA DIGITAL, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGIA ELECTRICA DEL USUARIO”, Vigésima Reunión de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial RVP-AI 2007. Acapulco Guerrero.
- [18] - Juan Luis Silvestre Palacios Trinidad, Aarón González Rodríguez “DISEÑO DE UN CONTROLADOR DE DEMANDA MAXIMA DIGITAL, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DEL MEDIDOR DE ENERGIA DEL USUARIO”, XXII Evento Nacional de Creatividad, fase Regional Zona I. Hermosillo Sonora, México.