



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL "ADOLFO LOPEZ MATEOS"**

**"PRONOSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA
UTILIZANDO REGRESIÓN LINEAL"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

PRESENTA:

EDGAR EDMUNDO RAMÍREZ JIMÉNEZ

ASESORES:

**DR. JAIME ROBLES GARCÍA
ING. JOSÉ ALFREDO TORRES HERNÁNDEZ**



MEXICO, D.F. 11 DE DICIEMBRE DE 2008

INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
UNIDAD PROFESIONAL “ ADOLFO LOPEZ MATEOS”

TEMA DE TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
POR LA OPCION DE TITULACION
DEBERA(N) DESARROLLAR**

**INGENIERO ELECTRICISTA
TESIS INDIVIDUAL Y EXAMEN ORAL
C. EDGAR EDMUNDO RAMÍREZ JIMÉNEZ**

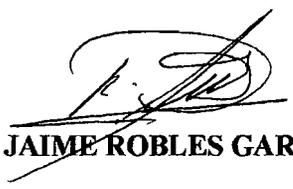
**“PRONOSTICO DE DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO REGRESIÓN
LINEAL.”**

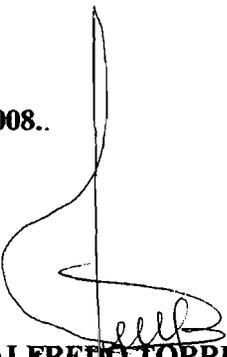
**APLICAR EL MODELO ESTADISTICO DE REGRESIÓN LINEAL, PARA REALIZAR EL
ESTUDIO DE PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA A MEDIANO
PLAZO DEL ÁREA PENINSULAR DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.**

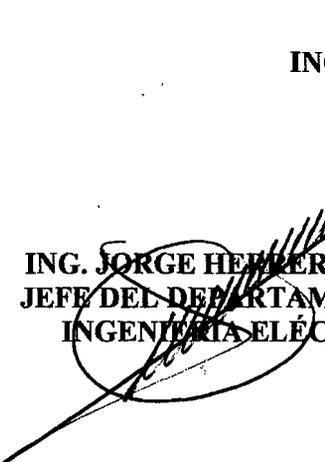
- ❖ **INTRODUCCION**
- ❖ **REGRESIÓN LINEAL**
- ❖ **SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL**
- ❖ **CASO DE ESTUDIO Y RESULTADOS**
- ❖ **CONCLUSIONES**

México D.F., A 25 de Noviembre de 2008..

ASESORES


Dr. JAIME ROBLES GARCÍA


ING. JOSÉ ALFREDO TORRES HERNÁNDEZ


**ING. JORGE HERRERA AYALA
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE
INGENIERIA ELÉCTRICA**


**JEFATURA DE
INGENIERIA ELECTRICA**

AGRADECIMIENTOS

GRACIAS

A DIOS

Por haberme dado la gracia de vivir y la fuerza para seguir día tras día con los retos que presenta la vida.

A LA

*ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA,
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL*

A MIS PADRES.

BERNARDA Y ALEJANDRO.

Que sin la cual mi existencia no tendría sentido, a mi mamá Bernarda Jiménez Pérez, por haber sido mi primera guía, mi mejor amiga y a quien debo todo lo que soy, a mi papá Alejandro Ramírez Miranda, mis hermanos, Alejandro, Antulio y Zurima. Pese a nuestras grandes diferencias y disgustos siempre es reconfortable saber que entre nosotros nos une un lazo más fuerte que la simple sangre y que a pesar de todo no la cambiaría por nada en el mundo.

A MIS ABUELOS

MARÍA LUISA Y MANUEL

Por haberme tomado en sus brazos de niño y brindarme un amor tan bonito lleno de humildad y sencillez.

A MIS TIA

ROSALBA JIMENEZ PEREZ

*Por el ejemplo y todo el apoyo que me brindó cuando me fue
necesitado.*

A LA SRITA. ZULIA MAGALI NAVARRO NAVARRO

*Que puedo decir de ti... simplemente que le imprimiste a mi vida
ese equilibrio espiritual y emocional, Gracias.*

A MIS ASESORES

DR. JAIME ROBLES GARCÍA

ING. JOSÉ ALFREDO TORRES HERNÁNDEZ

Por el apoyo y ayuda brindada e la elaboración de esta tesis.

AL M. ENC. SERGIO B. BARRAGAN GOMEZ

*Por haberme brindado todo su apoyo, espacio, tiempo y
conocimientos para la culminación de mis estudios, Gracias.*

AL ING. OSCAR CUTBERTO CARRO SÁNCHEZ

Por la ayuda brindada en la revisión de esta tesis.

AL ING. RAFAEL ILLESCAS

Por brindarme de su apoyo.

YA TODA MI FAMILIA EN GENERAL.

ÍNDICE

	PÁGINA
Resumen	5
Objetivo	6
Justificación	6
Introducción	7
Estructura de la tesis	12

CAPÍTULO I

Introducción

1.1	Introducción al pronóstico de energía.	14
1.2	Horizonte de tiempo.	15
1.2.1	El pronóstico a corto plazo.	17
1.2.2	El pronóstico a mediano plazo.	18
1.2.3	El pronóstico a largo plazo.	19
1.3	Factores que afectan la demanda de energía eléctrica.	20
1.3.1	Factores comunes.	21
1.3.2	Factores ocasionales.	21
1.3.3	Factores estacionales.	22
1.4	Datos históricos.	23
1.5	La naturaleza de la demanda de energía eléctrica.	24
1.6	Clasificación de métodos de pronóstico.	25
1.6.1	Clasificación general.	25
1.6.2	Clasificación según la tendencia.	27
1.7	Construcción de un modelo.	28

1.7.1	Selección de variables.	28
1.8	Modelo utilizado.	29

CAPÍTULO II

Pronóstico de la demanda utilizando regresión lineal

2.1	Introducción.	31
2.2	Modelo utilizado.	31
2.2.1	Representación Matricial.	32
2.3	Intervalo de confianza e inferencia estadística.	34

CAPÍTULO III

Estructura del Sistema Eléctrico Nacional

3.1	El sistema eléctrico nacional.	38
3.2	Proceso de pronóstico de Comisión Federal de Electricidad.	40

CAPÍTULO IV

Caso de estudio y resultados

4.1	Estudio de pronóstico para el área peninsular.	44
4.1.1	Valores utilizados en el pronóstico.	45
4.2	Correlación de variables con la demanda de energía eléctrica.	50
4.3	Datos del pronóstico del área peninsular.	54

CONCLUSIONES	57
---------------------	-----------

REFERENCIAS	59
--------------------	-----------

APÉNDICE I	61
-------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRAFICAS

	PÁGINA
1.1 Usos del pronóstico de la energía.	14
1.2 Flujo de información del pronóstico.	16
1.3 Gráfica de la demanda en relación a las estaciones climatológicas.	22
1.4 Curva de la demanda de energía eléctrica de la zona peninsular de la republica mexicana.	24
1.5 Clasificación de los métodos.	26
1.6 Esquema generalizado de un pronóstico.	29
3.1 Sistema interconectado nacional 7 áreas.	39
4.1 Esquema del área peninsular.	46
4.2 Grafica de la correlación de la demanda con la Temperatura.	50
4.3 Gráfica de la correlación de la demanda con la radiación solar.	51
4.4 Gráfica de la población para los estados área Peninsular.	51
4.5 Gráfica de la demanda de energía eléctrica del área Peninsular.	52
4.6 Gráfica de pronóstico para los años (2005 y 2006) del área peninsular.	54
A-1 Hoja de cálculo de Excel.	61
A-2 Llamado de variables y selección de las mismas desde el software.	62

A-3	Realización del pronóstico con variables climatológicas.	63
-----	--	----

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA	
4.1	Datos para el estudio de pronóstico del área Peninsular.	47
4.2	Niveles de correlación para el área peninsular.	53
4.3	Resultado de pronóstico y comparación con datos Reales.	56

ABREVIATURAS

SEP	Sistema Eléctrico de Potencia.
MW	Mega Watt.
PIB	Producto Interno Bruto.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
LyFC	Luz y Fuerza del Centro.
RL	Regresión lineal.
SEN	Sistema Eléctrico Nacional.
OM	Tarifa ordinaria para servicio general media tensión con demanda menor a 100 Kw.
HM	Tarifa horaria para servicio general en media tensión con demanda menor a 100 Kw.

RESUMEN

En esta tesis se aplica la técnica de Regresión Lineal para realizar el pronóstico de la demanda de energía eléctrica a mediano plazo para el área peninsular del SEN, comparando los resultados obtenidos con los pronósticos realizados por CFE para los años 2005 y 2006.

En la actualidad en cualquier empresa eléctrica es indispensable contar con un pronóstico de demanda confiable, para lo cual es necesario tomar en cuenta características específicas del área en estudio, ya que existen variables fundamentales que pueden afectar el pronóstico. Tomando en cuenta esto, en esta tesis se consideran las siguientes variables, índice de población, radiación solar, temperatura y demanda de energía eléctrica, de las cuales se muestra su importancia en los resultados obtenidos en este trabajo.

Si el pronóstico realizado se apega lo mas posible a la realidad se aportará un sin número de parámetros útiles para la planificación, evitando un exceso o baja capacidad de producción, ya que una sobre estimación en los pronósticos dará lugar a malas decisiones de planeación, provocando con esto pérdidas, por lo cual en este trabajo se busca reducir la incertidumbre para conocer la demanda de energía eléctrica en el mediano plazo.

OBJETIVO

Aplicar el modelo estadístico de Regresión Lineal, para realizar el estudio de pronóstico de la demanda de energía eléctrica a mediano plazo en el Área Peninsular del Sistema Eléctrico Nacional.

JUSTIFICACIÓN

Para muchas empresas eléctricas es importante realizar pronósticos de ciertas variables, las compañías que operan sistemas eléctricos de potencia no son la excepción, ya que requieren minimizar la incertidumbre de demanda que se tendrá durante cierto horizonte de tiempo según se desee (corto, mediano, o largo plazo).

Esto involucra tener información confiable, así como de los factores utilizados en este trabajo, que fueron población, radiación solar y temperatura, ya que estas variables fueron más significativas para el caso de estudio del área peninsular, teniendo mayor correlación con la demanda, y de tal manera que no existe una metodología implementada o específica para llevar a cabo un pronóstico, podemos interactuar con diferentes variables según sea nuestro caso de estudio.

Por lo que en esta tesis se estudia la importancia, que tienen variables tal como: población, temperatura y radiación solar; que no son consideradas comúnmente en los estudios de pronóstico. Sin embargo se muestra la influencia que tienen en el caso de estudio del área peninsular del sistema eléctrico nacional.

INTRODUCCIÓN

El pronóstico realista es la llave de una buena planeación en cualquier industria, es evidente *“Al mismo tiempo, la imposibilidad de desarrollar pronósticos verdaderamente exactos debe ser admitida”*, del simple hecho de no poder prever el futuro [1,2,3] .

En el caso de las compañías que operan sistemas de potencia, este estudio no es la excepción, ya que requiere minimizar la incertidumbre de la demanda de energía eléctrica que se tendrá a corto, mediano y largo plazo; tomando ventaja de la información que se dispone.

En la industria eléctrica un buen pronóstico de la demanda de energía eléctrica es útil para planear los recursos con los que el sistema debe afrontar su demanda en el futuro. De lo contrario un mal pronóstico puede detener la entrada en operación de nuevas obras en el sector eléctrico en forma apropiada o inapropiada.

La demanda de energía eléctrica, es un indicador del grado de desarrollo de un país, la cual esta en función de: Crecimiento de la población, el parque industrial, agrícola y sector turístico, etc. Por esto es de vital importancia conocer a priori el crecimiento de la demanda de energía eléctrica; de una manera segura y confiable lo cual se aproxime lo más cercano a la realidad. Para esto se requiere de técnicas apropiadas para realizar un buen pronóstico a corto, mediano y largo plazo de la demanda; ya que de esto depende garantizar el suministro de la energía eléctrica.

Con la información proporcionada por el estudio de pronóstico de demanda de energía eléctrica a corto, mediano y largo plazo, los operadores pueden tomar decisiones en la programación de funciones tales como: despacho óptimo de flujos de carga óptima, programas de mantenimiento, compra de combustible, análisis de la confiabilidad y seguridad de operación. Para el caso de pronóstico a largo plazo es indispensable para construcción y ampliación de nuevas unidades de generación, así como la determinación de los precios y sus políticas de regulación. Por lo tanto un buen estudio de pronóstico de demanda de energía eléctrica, es necesario para la operación económica y segura del sistema.

Por lo tanto en la planeación de un sistema eléctrico de potencia es necesario utilizar el pronóstico para mejorar la eficiencia en el suministro, con la más alta calidad de servicio, de tal forma que se aseguren los siguientes puntos:

- Suministrar la energía eléctrica en forma confiable en todos los puntos del sistema.
- Las variaciones de frecuencia y tensión deben estar dentro de los valores aceptables.
- El sistema debe operar en la medida de lo posible, con costos mínimos y con la menor alteración ambiental posible.

El objetivo principal de cualquier compañía de electricidad regulada, es proporcionar electricidad a los consumidores, con un precio razonable. Este objetivo requiere de un buen pronóstico de la demanda de energía eléctrica, sin embargo esto no es fácil ya que las necesidades del ser humano provocan patrones de consumo de energía eléctrica que se describen de diferentes formas.

Por ejemplo, en una casa habitación de la zona norte de la república, se necesita de un acondicionador de aire, que consumirá una cierta cantidad de electricidad en cierto tiempo; este uso de energía se emplea en el deseo de un individuo para refrescarse, o viceversa en época de frío se necesita de un calentador lo cual ocasionará un consumo de energía eléctrica. Así como este ejemplo la curva característica de la demanda se basa en un sin número de variables de todo tipo. Así pues, la gran variedad de consumidores y los diferentes tipos de usos finales de energía eléctrica crean una gran variedad de demandas distintas entre si.

Con todo este tipo de consumidores, y la gran cantidad de variables que en cierto tiempo determinado influyen directa o indirectamente en la demanda de energía eléctrica, se busca realizar el pronóstico de la demanda con un mínimo de errores aceptables. Aun cuando las personas encargadas de la planeación de la operación y el crecimiento del sistema, están conscientes de la necesidad de mejorar los pronósticos, pocos están al tanto de las técnicas existentes para lograr un buen pronóstico de demanda de energía eléctrica.

Como casi siempre hay un retraso entre el suceso y su previsión, al lograr identificar las causas o factores que influyen para su realización es cuando la planeación juega un papel importante; en este caso el pronóstico es una ayuda indispensable en la planeación efectiva y eficiente.

La importancia del pronóstico de demanda de energía eléctrica se incrementa a medida de las decisiones tomadas, para lograr un objetivo fijado dependan lo menos posible del azar. Las interconexiones de áreas eléctricas han dado lugar a grandes sistemas de potencia y como cada área depende de las demás, un buen o mal estudio de pronóstico de demanda de energía eléctrica puede afectar a todo el sistema interconectado.

El problema de pronóstico de demanda de energía eléctrica surge en la necesidad de conocer, en forma aproximada, los valores de una cierta variable o índice, para con este valor tomar las medidas necesarias que sean apropiadas de acuerdo con el crecimiento del sistema. Los valores estimados se determinan tomando información “archivo histórico” y procesando adecuadamente los datos, determinando así los patrones o funciones de comportamiento para proyectarlos a futuro.

Estructura de tesis:

El trabajo desarrollado en esta tesis, se encuentra organizado en 4 capítulos. A continuación se presenta una breve descripción del contenido de cada capítulo:

Capítulo I.- Introducción. Se presenta la parte teórica de la tesis y una breve descripción del problema del pronóstico y su importancia.

Capítulo II.- Pronóstico de la demanda utilizando regresión lineal. En este capítulo se presenta la metodología del método de regresión lineal.

Capítulo III.- Estructura del Sistema Eléctrico Nacional. En este capítulo se menciona brevemente la estructura del SEN, así como algunos rasgos de la metodología de pronóstico de CFE.

Capítulo IV.- Caso de estudio y resultado. Este capítulo representa el punto central del trabajo, se efectuó la simulación del pronóstico con ciertas variables climatológicas, se lleva a cabo comparaciones de los resultados obtenidos con el método de RL y los obtenidos por la CFE para los años 2005 y 2006 estableciendo cual de ellos se aproxima más a la demanda real.

Apéndice.- Al final de este trabajo se presenta el software utilizado para las simulaciones.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción al pronóstico de energía

El pronóstico de la demanda de energía eléctrica para un sistema eléctrico de potencia, ha causado interés desde el momento que las redes eléctricas se instalaron como sistema básico de transporte y distribución de energía y por haber proliferado el uso masivo de la energía eléctrica en el entorno industrial, comercial y doméstico. Por lo cual el pronóstico es útil para diferentes usos, como se muestra en la siguiente (*figura 1.1*) [7].

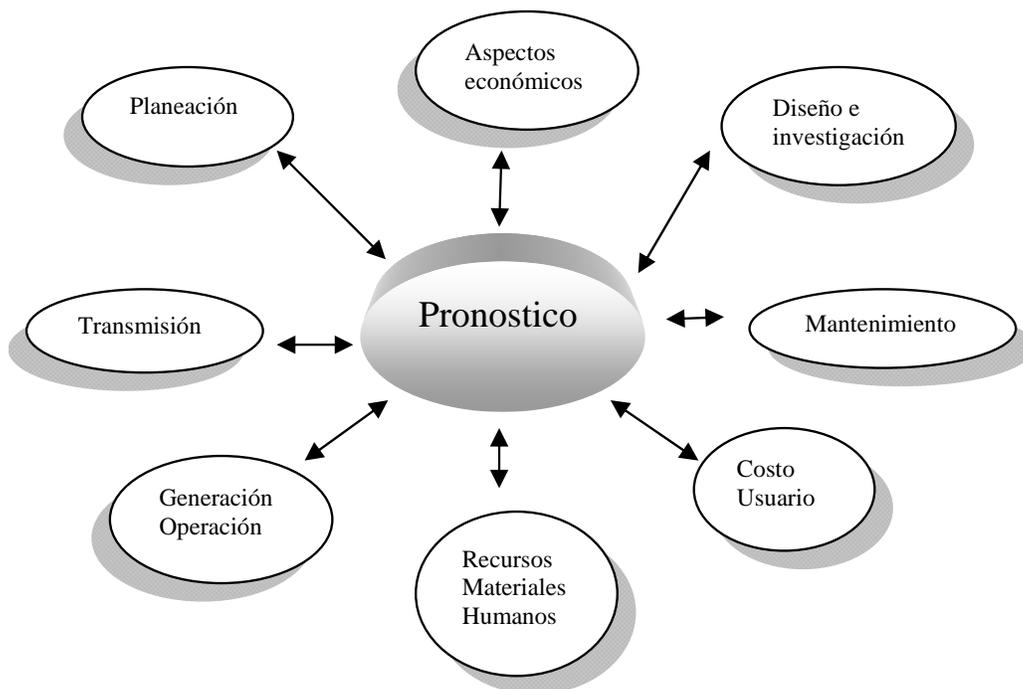


Figura 1.1 Usos del pronóstico de la energía.

El pronóstico para la compañía de electricidad se ha desarrollado a grandes pasos sobre las últimas décadas. Las extrapolaciones de las tendencias históricas del consumo de energía, habían servido bastante bien durante el tiempo en que los precios de producción y las tasas de crecimiento fueron constantes, pero cuando ya no se presentan estas características en la demanda, la extrapolación resulto inadecuada, cuando aparece el análisis de los costos de producción de la energía a finales de los 60s y principios de los 70s. Estas técnicas no podían hacer frente a variaciones en tarifas de crecimiento entre los diversos sectores consumidores de energía eléctrica. [5,6,7].

Si los pronósticos realizados se apegan lo más posible a la realidad, se aportarán en consecuencia, un sin número de parámetros útiles para la planificación, evitando amenazas en el exceso o baja capacidad de producción. En cambio, una sobrestimación en el pronóstico, dan lugar a malas decisiones, provocando con esto, perdidas económicas.

1.2 Horizonte de tiempo

El pronóstico de la demanda de energía, se clasifica principalmente en tres horizontes de tiempo: El pronóstico a corto plazo, este es útil en la determinación de la operación de las unidades y el despacho económico. El pronóstico a mediano plazo, es requerido para la planeación del uso de energéticos y programar el mantenimiento.

El pronóstico a largo plazo, es necesario para la planeación de la expansión del sistema eléctrico, y el análisis financiero, como se menciono anteriormente, el pronóstico de la demanda se puede obtener según su clasificación (*figura 1.2*) [4,5,6]:

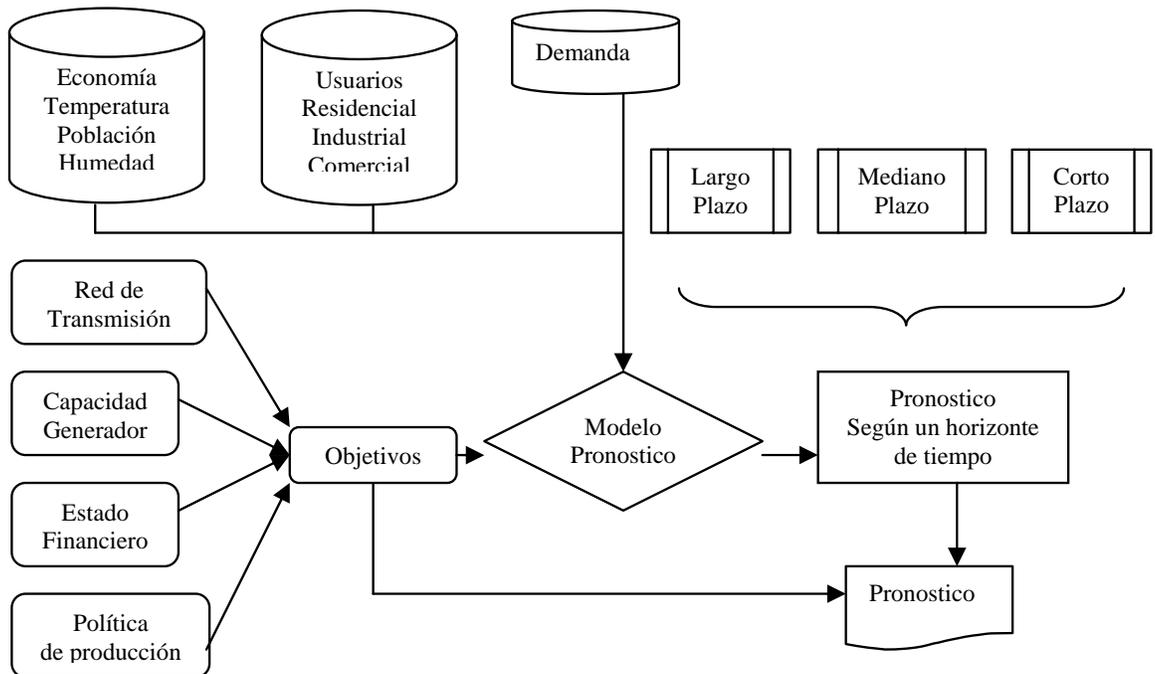


Figura 1.2 Flujo de información del pronóstico.

El pronóstico de la demanda de energía eléctrica es a cierto grado incierto sin importar que los límites de confianza se fijen cuidadosamente, el pronóstico se basa fundamentalmente en la probabilidad. El trabajo del pronosticador es entonces proporcionar un pronóstico lo más fiable posible. El encargado de elaborar el pronóstico tiene que identificar el tipo de problema a resolver, tiene que recopilar los datos que requiera, construir un modelo matemático

y finalmente generar y validar dicho pronóstico. Para este caso en particular, se proporciona un método de pronóstico para obtener la demanda de energía eléctrica a corto, mediano o largo plazo.

1.2.1 El pronóstico a corto plazo

El pronóstico a corto plazo es requerido por los encargados de planificar la operación diaria. Estos pronósticos consisten en proporcionar la demanda de energía eléctrica del sistema sobre un intervalo de horas, días e incluso semanas. Ya que el pronóstico desempeña un papel importante en la operación y despacho económico de unidades [4,5,6].

La demanda de energía eléctrica tiene variaciones las cuales son naturales, ésta se ve afectada por varios factores tales como condiciones sociales, meteorológicas y económicas; para las cuales se tienen diferentes afectaciones. Las variaciones sociales y las condiciones económicas no tienen ninguna influencia para este pronóstico, por otra parte, las condiciones climatológicas tienen un papel preponderante en el pronóstico de la demanda a corto plazo. Por lo que la demanda, durante los días laborales se diferencian de los días de fines de semana e igualmente la demanda durante los días festivos son diferentes de los días normales. Por lo que la carga máxima diaria ocurre normalmente alrededor de la temperatura máxima o mínima dependiendo si la energía se requiere para

refrescar o calentar. Con lo que se puede decir que la curva diaria de la demanda sigue normalmente el perfil de temperatura diaria.

1.2.2 El pronóstico a mediano plazo

Con el pronóstico de la demanda a mediano plazo, se pronostican los energéticos que son necesarios para mantener la demanda futura, además de proporcionar elementos para llevar a cabo programas de mantenimiento, planear el consumo de combustible requerido por las diversas unidades y coordinación adecuada de los recursos hidráulicos de las presas. Este pronóstico consiste en proporcionar la demanda de energía eléctrica en un intervalo que comprende de semanas, meses e incluso hasta 5 años [4,5,6].

El pronóstico a mediano plazo está influenciado por muchos más factores aparte de las condiciones atmosféricas. Las variables socioeconómicas también desempeñan un papel importante en el desarrollo de los pronósticos mensuales de la demanda de la energía eléctrica. La inspección de los datos históricos muestra que el patrón del consumo de la demanda de energía, es más o menos cíclico por su propia naturaleza, cambiando únicamente de lugar el pico, debido al crecimiento de la población y por ende el crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

Los datos requeridos para el pronóstico de la demanda a mediano plazo, son variables que deben ser elegidas como resultado de un análisis, además de la consulta con los operadores recomendándose lo siguiente: [4,5,6] temperatura máxima absoluta, temperatura media, humedad máxima relativa, velocidad del viento, humedad media, duración brillante del sol, radiación global, precipitación, presión del vapor, días confortables, índice de comodidad, temperatura en la carga máxima, humedad en la carga máxima y número e consumidores conectados.

1.2.3 El pronóstico a largo plazo

El pronóstico de la demanda a largo plazo es de gran importancia para la planeación de la creación de nuevas plantas de generación, de redes o líneas de transmisión de energía eléctrica, además del consumo de combustibles que se tendrá a largo plazo y de la valoración de los costos de producción de la energía eléctrica. El horizonte del pronóstico, para este caso es normalmente de 5 a 25 años [4,5,6].

El pronóstico a largo plazo de la demanda de energía eléctrica desempeña un papel importante en la planeación del crecimiento de cualquier sistema eléctrico de potencia. Por ejemplo, para llevar a cabo la interconexión entre dos o más sistemas eléctricos de potencia, es necesario realizar estudios extensivos, de todas las condiciones que pueden influir en tal proyectos, así como, un estudio de mercado a futuro que respalde por un largo tiempo el capital que se invertirá.

Para este horizonte de tiempo además de las variables usadas para el pronóstico a mediano plazo, las variables que más afectan la demanda son las variables socioeconómicas, ya que consideran el crecimiento de la población el producto interno bruto; por otra parte, las variables climatológicas dejan de influir para este horizonte de tiempo.

1.3 Factores que afectan la demanda eléctrica

La demanda de energía eléctrica de un sistema eléctrico de potencia, es influenciada por varios factores tales como: variables climatológicas, socioeconómicas y demográficas. De hecho, el número de las variables requeridas depende de la naturaleza del pronóstico, por lo tanto estas variables deben ser seleccionadas cuidadosamente. En el pasado, se sobre estimaba el pronóstico de la demanda de energía, lo cual llevaba a realizar pronósticos rápidos, dando como resultado inversiones de capital en equipo y crecimiento de la red eléctrica, lo cual no sería aprovechado de forma inmediata [5,6,7].

Por tanto, estas variables deben ser seleccionadas cuidadosamente, el criterio de selección para estas variables, se podrá basar en la intuición humana, lo cual tendría que ser validado tanto por un análisis de correlación como por un análisis de contribución al pronóstico.

1.3.1 Factores comunes

Todos los factores, tales como: variables climatológicas, socioeconómicas y demográficas, actúan directa o indirectamente sobre el patrón de la demanda de energía eléctrica. Algunos de estos factores reflejan cambios importantes en su consumo y en su producción; por lo tanto, la demanda de energía eléctrica de un SEP se ve influenciada por estos factores. Como ejemplo de estas variables, se tiene: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, las nevadas, el nivel de radiación solar, duración del brillo del sol, el índice de la comodidad, número de consumidores conectados, crecimiento de la población y el producto interno bruto [5,6,7].

1.3.2 Factores ocasionales

Puesto que además de las variables anteriormente dichas, existen algunas variables que ocasionalmente se presentan, las cuales pueden o no provocar alguna influencia sobre el efecto de la carga, tal como: los festivales, los acontecimientos religiosos, los días de fiesta nacionales, eventos deportivos, huelgas o catástrofes [5,6].

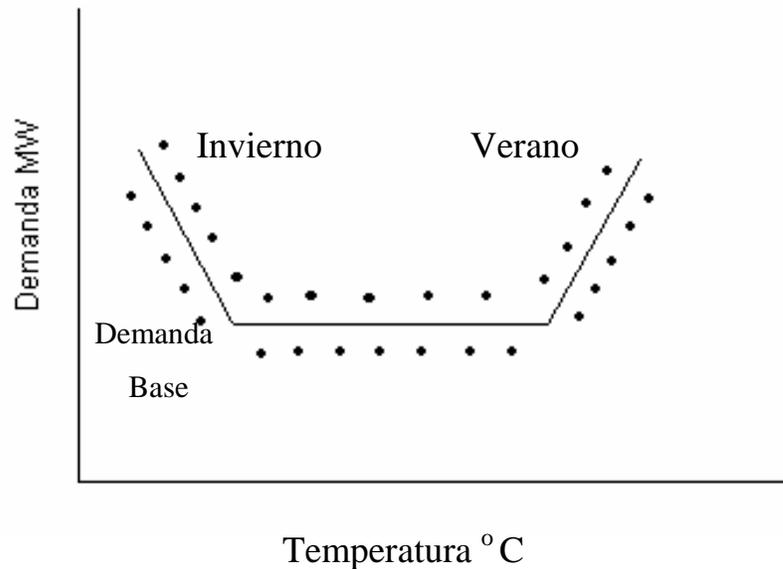


Figura 1.3 Gráfica de la demanda en relación a las estaciones climatológicas.

1.3.3 Factores estacionales

La demanda eléctrica de un SEP, también es analizado por periodos o etapas, como se puede ver en la figura 1.3. La demanda durante el día se diferencia de la demanda durante la noche, y la demanda durante días laborales, se diferencia de los fines de semana. La demanda en un día extremadamente caliente, se contrasta de uno extremadamente frío. El crecimiento de demanda eléctrica durante un tiempo económico de auge, se diferencia considerablemente de la demanda durante un periodo de austeridad o recesión [5,6,7].

1.4 Datos históricos

Para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica, el papel de la información histórica es vital ya que el éxito o fracaso de un método de pronóstico depende básicamente de la disponibilidad de los datos, tales como los factores comunes y los ocasionales. Algunas otras variables útiles también son obtenidas, sintetizando estas variables. Tal como la desviación de la temperatura diaria promedio, que activa el aire acondicionado. Lo cual está relacionado con el confort [7].

Otros datos que pueden ser considerados, especialmente para los pronósticos de mediano y largo plazo son: las variables socioeconómicas como el producto interno bruto (PIB), la población del área, el crecimiento económico, el número de los consumidores conectados y el nivel industrial de la zona, el número de los nuevos proyectos infraestructurales. La relación entre la demanda y las variables mencionadas, son por su naturaleza no lineales. Por lo que cualquier método de pronóstico buscare de cierta manera, una relación de cualquier variable con la demanda de energía eléctrica.

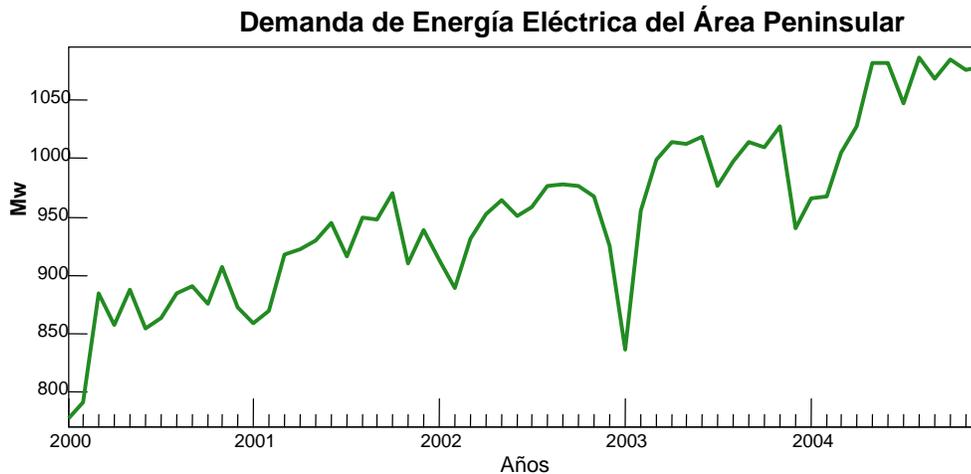


Figura 1.4 Curva de la demanda de energía eléctrica del área peninsular de la republica Mexicana.

1.5 La naturaleza de la demanda de energía eléctrica

La demanda de energía en su mayoría es cíclica por su propia naturaleza, como se puede ver en el grafico de la figura 1.4, donde se ve claramente que la curva de la demanda tiene un patrón que se repite sobre los años. La única diferencia es que el pico de la curva esta aumentado constantemente cada año, señalando el crecimiento en la demanda. Así, el pronóstico se reduce a un reconocimiento del patrón, para encontrar el crecimiento o tendencia subyacente de la demanda [5,6].

1.6 Clasificación de los métodos del pronóstico

Aunque se podrían utilizar muchos esquemas diferentes de clasificación al considerar los principales enfoques para pronosticar, los que se a encontrado mas útil divide a esos métodos en tres categorías: discretionales, cuantitativos y tecnológicos. Cada enfoque importante incluye varios tipos de métodos, muchas técnicas individuales y variaciones de cada técnica [8].

En diciembre de 1993, George J. Read de Brooklyn de Edison Company, describió el comportamiento eléctrico y concluyo que:

“el pronóstico de la demanda de energía eléctrica es una necesidad urgente, desafortunadamente la mayoría de los métodos usados para realizar los pronósticos se acompañan por factores que debilitan la credibilidad de este” [7].

1.6.1 Clasificación general

Todos los tipos y técnicas de pronóstico son por naturaleza extrapolativos, es decir que incluyen interpolación, o bien predicen con datos existentes, lo cual se puede considerar como extrapolación. Una clasificación general de los métodos de pronóstico seria, que cuando se dispone y se emplea la información histórica, los métodos se llaman *cuantitativos*, y de no ser así, generalmente se les conoce como métodos *cualitativos* [8,9,10].

Para nuestro estudio en pronóstico de de demanda de energía eléctrica vamos a hacer referencia a los métodos *cuantitativos* es el tipo en el que se han centrado la mayoría de las publicaciones sobre pronósticos. Existen tres subcategorías de estos métodos:

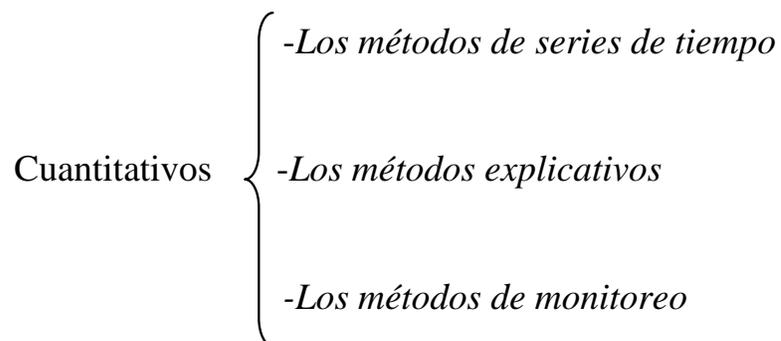


Figura.- 1.5 Clasificación de los métodos de pronóstico cuantitativos.

Los métodos de series del tiempo buscan identificar patrones históricos (empleando el tiempo como referencia) para enseguida pronosticar, utilizando una extrapolación basada en el tiempo estos patrones.

Los métodos explicativos tratan de identificar las relaciones que conducen a resultados observados (causados) en el pasado y luego pronosticar mediante la aplicación de tales relaciones al futuro.

Los métodos de monitoreo todavía no alcanzan un uso muy extendido, buscan identificar un cambio e los patrones y relaciones [8].

- Los métodos *cuantitativos*, usan la extrapolación de la tendencia, el ciclo la estacionalidad, basándose en la experiencia y en métodos estadísticos, fundamentados en modelos probabilísticos que también usan la extrapolación, pero con la idea de minimizar el error del pronóstico dentro de estos métodos se cuentan con las series de tiempo antes mencionado, modelos de regresión y nuevos métodos.
- Los métodos *cualitativos*, son consecuencia del razonamiento, juicio y experiencias acumuladas por el personal que tiene a su cargo la tarea de realizar el pronóstico. Dentro de estos métodos se practica con mayor frecuencia los métodos de exploración y los normativos. Tales métodos se requieren a menudo cuando los datos históricos no están disponibles o dependen de las opiniones de los expertos [11].

1.6.2 Clasificación según la tendencia

Las metodologías para el pronóstico de la demanda se pueden clasificar en dos amplias categorías: modelos autónomos y modelos condicionales. Siendo los modelos autónomos los que relacionan el crecimiento futuro de la demanda de un sistema basado principalmente en el crecimiento de la de la propia demanda en los últimos periodos, y los modelos condicionales tratan tentativamente de relacionar el crecimiento de la demanda de energía eléctrica con otras variables [7,9].

1.7 Construcción de un modelo

Antes de construir un modelo de pronóstico, el primer paso es entender claramente el problema para establecer el horizonte de tiempo y los objetivos del pronóstico. Una vez que el problema se determine completamente. Se debe centrar la atención en elaborar un plan para el desarrollo de un modelo de pronóstico [4,8,9].

1.7.1 Selección de variables

Los requisitos para seleccionar las variables de entrada (Variables dependientes e independientes) apropiadas al modelo propuesto, son las siguientes: [5,6,7,9].

- Seleccionar una lista de posibles variables que podrían contribuir a la demanda eléctrica.
- Que las variables seleccionadas provengan de fuentes confiables.
- Realizar un análisis de las variables propuestas para identificar valores erróneos o la falta de ellos.
- Calcular la correlación entre las variables propuestas y la demanda, lo cual debe ser mayor que 10%, de lo contrario no debe ser considerada plenamente.
- Se recomienda que se consulte la opinión de expertos en el área, y colegas con conocimientos en el tema.

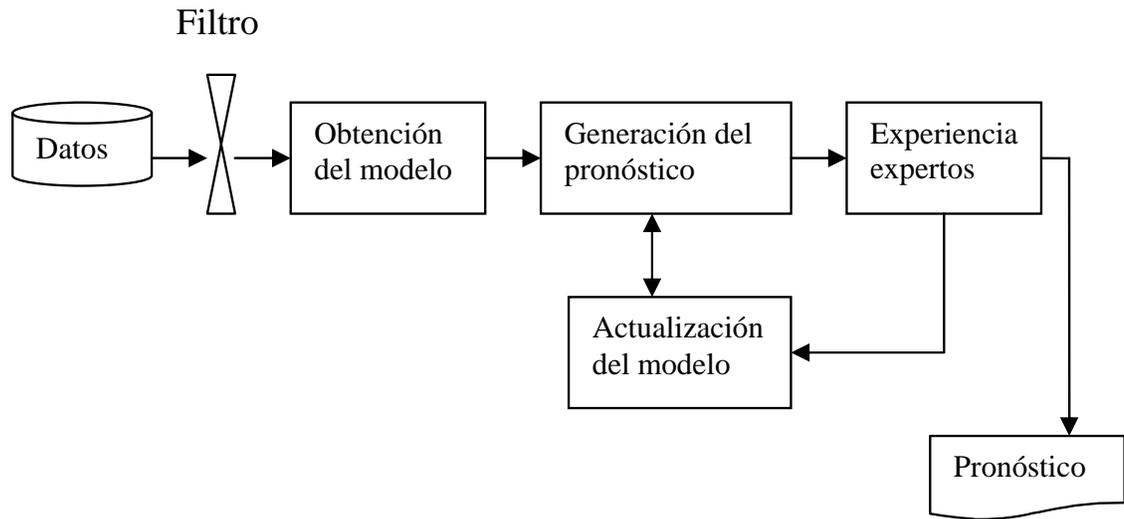


Figura.- 1.6 Esquema generalizado de un pronóstico.

1.8 Modelo utilizado

El modelo de regresión lineal permite agregar con mucha facilidad la consideración de los factores ambientales. Por otra parte la técnica de regresión lineal para el pronóstico de la demanda de energía eléctrica considera no solo valores observados de demanda de energía eléctrica durante un periodo de tiempo, sino también considera los factores que influyen en la variación de dicha demanda. Es decir: temperatura, humedad relativa, radiación solar y crecimiento poblacional.

En esta tesis se utiliza el método de regresión lineal, este proceso se lleva a cabo mediante un paquete llamado “*Forecast pro XE*”.

CAPÍTULO II
PRONÓSTICO DE LA DEMANDA UTILIZANDO
REGRESIÓN LINEAL

2.1 Introducción

La determinación de un buen estudio de pronóstico de demanda de energía eléctrica es importante en la operación segura de un sistema eléctrico de potencia. Dependiendo del horizonte de tiempo, existen diversos alcances del pronóstico y cada uno de ellos tiene aplicaciones y funciones que ayudan a la correcta operación y administración del sistema. El modelo de regresión lineal es una herramienta sencilla de simular y pueden incluir diferentes parámetros para el estudio de pronóstico, el modelo que se utiliza en este trabajo se presenta a continuación.

2.2 Modelo Utilizado

El modelo de regresión lineal empleado para el estudio de pronóstico de la demanda de energía eléctrica es de la forma:

$$Y_t = B_0 + \sum_{i=1}^p B_i X_{it} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

Donde:

Y_t Demanda pronosticada en MWH en el periodo t .

X_{t1} Temperatura media mensual en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

X_{t2} Humedad relativa media mensual en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

X_{t3} Radiación solar media mensual en ($\text{w}/\text{m}^2/\text{día}$).

X_{t4} Crecimiento de la población anual en millones de habitantes.

Es el error aleatorio que describe la influencia sobre Y_t de todos los factores que no consideran las variables independientes.

B_0, B_1, \dots, B_4 Son los parámetros desconocidos relacionados a las variables dependientes Y_t a las variables independientes $X_{t1}, X_{t2}, X_{t3}, X_{t4}$.

2.2.1. Representación matricial

Los parámetros B_0, B_1, \dots, B_4 son desconocidos y serán estimados, usando una muestra de datos. Para el estudio se consideraron 60 meses de datos de la forma $(Y_t, X_{t1}, X_{t2}, X_{t3}, X_{t4})$. Se aplica el método de mínimos cuadrados para la estimación.

La representación matricial general del modelo, considerando n periodos y P variables donde $n > P$, $E(e) = 0$, $V(e) = S^2$ y que los errores son no correlacionales. Podemos escribir lo siguiente:

$$Y = XB + e \quad (2.2)$$

Donde:

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & K & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & K & X_{2p} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & K & X_{np} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} B_0 \\ B_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ B_p \end{pmatrix} \quad \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Determinación de parámetros:

Aplicando el criterio de mínimos cuadrados el error es:

$$S(B) = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \varepsilon^t \varepsilon = (Y - XB)^t (Y - XB) \quad (2.4)$$

$$S(B) = Y^t Y - 2B^t X^t Y + B^t X^t X B \quad (2.5)$$

los estimadores por mínimos cuadrados de deben satisfacer la ecuación (1.2):

$$\left. \frac{dS}{dB} \right|_{\hat{B}} = -2X^t Y + 2X^t X \hat{B} = 0 \quad (2.6)$$

La cual se simplifica:

$$X^t X B = X^t Y \quad (2.7)$$

Así los estimadores por mínimos cuadrados de los parámetros B_0, B_1, \dots, B_4 , están dados por la ecuación matricial:

$$\hat{B} = (X^t X)^{-1} X^t Y \quad (2.8)$$

La matriz $(X^t X)^{-1}$ siempre existirá, si las variables independientes o de regresión son linealmente independientes.

El vector de valores ajustados \hat{Y}_t correspondiente a los valores observados Y_t es:

$$\hat{Y} = X \hat{B}; Y = X (X^t X)^{-1} X^t Y \quad (2.9)$$

La diferencia entre los valores observados Y_t y los valores ajustados \hat{Y}_t es el residuo $e_t = Y_t - \hat{Y}_t$, los n residuos en forma matricial:

$$e = Y - \hat{Y} \quad (2.10)$$

2.3 Intervalo de confianza e inferencia estadística

El intervalo de confianza muestra el grado de certeza en la realización del pronóstico [3,4], de acuerdo con la distribución de probabilidad considerada $N(0, \sigma)$. El valor pronosticado de la demanda puede

estar dentro de los límites del valor esperado y comprende el área bajo la curva de la distribución de probabilidad t student, este intervalo puede variar normalmente entre un 90% a un 98%.

Empleando la inferencia estadística, el intervalo de confianza $(100 - \alpha)$ Para Y_t es:

$$\left[\hat{Y}_t - E_t(100 - \alpha), \hat{Y}_t + E_t(100 - \alpha) \right] \quad (2.11)$$

donde el error está dado por :

$$E_t(100 - \alpha) = t_{\alpha/2}(n - (p + 1)) * S * f_t \quad (2.12)$$

donde: $t_{\alpha/2}(n - (p + 1))$ es el punto de la escala de la distribución t teniendo $(n - (p + 1))$ grados de libertad, tal que el área de $(100 - \alpha)/100$ bajo la curva de distribución t está entre:

$$t_{\alpha/2}(n - (p + 1)) \text{ y } t_{\alpha/2}(n - (p + 1)).$$

Mientras:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n - (p + 1)}} \quad (2.13)$$

$$f_t = \sqrt{1 + X_t^1 (X \cdot X)^{-1} X_t} \quad (2.14)$$

donde:

$$X_t^1 = [1, X_{t1}, X_{t2}, K, X_{tp}] \quad (2.15)$$

donde S mide la variación de los valores observados de la variable dependiente Y_t alrededor de la ecuación de regresión y f_t es una medida de la incertidumbre que resulta del pobre conocimiento de los valores verdaderos de los parámetros de la ecuación de regresión B_0, B_1, \dots, B_p . El producto de estos factores proporciona el error $E_t(100 - \alpha)$.

1.- Para cada periodo n la componente del error aleatoria ε_t sigue una distribución normal de probabilidad. Todos los valores Y_t están distribuidos en una curva normal alrededor de μ_t .

2.- La varianza de Y_t (mide la separación entre los valores potenciales de Y_t alrededor del valor medio μ_t) es la misma para cada uno de los valores de t .

3.- Los valores de las series de tiempo Y_1, Y_2, \dots, Y_n en diferentes periodos son estadísticamente independientes o no correlacionados.

CAPÍTULO III

ESTRUCTURA DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

3.1 El sistema eléctrico nacional

En la República Mexicana se tienen 8 áreas de control de las cuales 7 están interconectadas (Central, Oriental, Occidental, Noroeste, Norte, Noreste y Peninsular) y el área Baja California, esta última conformada por los sistemas aislados Baja California y Baja California Sur). Un Área de Control es un segmento del sistema eléctrico al cual le corresponde operar, controlar y administrar la red eléctrica dentro de un ámbito geográfico determinado, con seguridad, calidad, continuidad y economía. El Área Noroeste se interconectó el 10 de marzo de 2005.

ÁREAS

1. CENTRAL CFE Y LyFC
2. ORIENTAL
3. OCCIDENTAL
4. NOROESTE
5. NORTE
6. NORESTE
7. BAJA CALIFORNIA
8. BAJA CALIFORNIA SUR
9. PENINSULAR

El sistema interconectado nacional solo comprende 7 áreas.

NOROESTE

NORTE

NORESTE

OCIDENTAL

CENTRAL

ORIENTAL

PENINSULAR



Figura.- 3.1 Sistema interconectado nacional 7 áreas.

La republica Mexicana como ya se menciona esta dividido en las diferentes áreas en el cual consta de 7 áreas interconectadas y 2 más pertenecientes a Baja California y Baja California sur dando como tal un total de 8 áreas y en la cual a su vez se subdivide en los siguientes departamentos:

13 Divisiones comerciales

12 Regiones

118 Zonas asociadas a ellas

3.2 Proceso de pronóstico de la CFE

Esta conducido a construir modelos matemáticos donde se formula de manera estadística la relación existente entre el consumo anual de electricidad y un conjunto de variables económicas y demográficas determinantes en cada uno de los sectores de usuarios del mercado.

- Residencial
- Comercial
- Servicios
- Bombeo agrícola
- Empresa mediana
- Gran industria

La perspectiva global es para 11 años se construye a partir de la agregación de los pronósticos para cada uno de los consumidores anotados.

Los resultados se constructan con los obtenidos del análisis regional donde se considera:

1. Últimas tendencias en venta de electricidad.
2. Solicitudes formales de servicio de las cargas industriales más significativas.

El proceso para obtener los pronósticos consiste en:

1. Explicar la evaluación histórica de los consumos de electricidad en cada sector mediante el ajuste de modelos con modelos de variables independientes económicos y demográficos.
2. Proyectar los consumos en los siguientes 11 años a través de modelos ajustados con base en las perspectivas económicas, demográficas y tarifarias.
3. Identificar el consumo autoabastecido para obtener, de su diferencia con el consumo nacional las ventas del sector público LyFC y CFE.

4. Integrar los totales de ventas y consumos sectoriales y proyectados.

En la elaboración de pronóstico de consumo y ventas de electricidad se consideran 2 fuentes principales

Fuentes principales {
1.-Económico-Demográfica
2.-Estadística

1.- Un grado de las fuentes económico-demográfica esta precedente en la evaluación futura de las variables que intervienen en el modelo como factores condicionantes o exógenos pues las trayectorias utilizadas son pronósticos y no necesariamente se cumplen.

La consideración de diferentes escenarios económicos permite valorar la sensibilidad de las ventas futuras de energía eléctrica antes distintos comportamientos de sus variables explicativas.

Sin embargo la efectividad de cada previsión esta sujeta a todo momento a una probabilidad.

2.- Al usar un modelo del todo econométrico se incorpora un factor aleatorio que afecta la estimación de los parámetros y precisión de los pronósticos

CAPÍTULO IV
CASO DE ESTUDIO Y RESULTADOS

4.1 Estudio de pronóstico para la Área Peninsular

El área peninsular está comprendida por los estados de Yucatán al sureste y al *este* con el estado de Quintana Roo y al *suroeste* con el estado de Campeche, el área peninsular tiene una demanda del 16 % de MW para el año 2006 con respecto al sistema interconectado nacional.

Yucatán cuenta con una superficie de 38 402 km², con una población de 1 918 948 habitantes (2005) y 106 municipios.

Quintana Roo cuenta con una superficie 50 844 km², con una población 1 154 800 habitantes (2005) y 9 municipios.

Campeche tiene una superficie de 50 812 km², y una población de apenas 689 700 habitantes, lo que lo convierte en uno de los Estados más despoblados de México y 11 municipios.



Figura.- 4.1 Esquema del área peninsular.

4.1.1 Datos utilizados en el pronóstico

Se busco establecer la importancia que tiene cada variable como la temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación de lluvia y población, sobre la demanda de energía eléctrica se realizaron varios entrenamientos primero la demanda real mas una variable, al ajuste de este se la agrego otra variable y así sucesivamente todas las variables, hasta lograr observar que variables eran más significativas para el pronóstico y así poder obtener resultados mas robustos, para esto y después de estar interactuando una y otra variable climatológica para esta área en especial, mi datos que tuvieron mas

peso sobre la demanda fueron, la radiación solar, la temperatura y población.

En este estudio de pronóstico se consideran los tres estados que conforman el área peninsular. Por lo que para este caso solo se maneja datos de estos estados los cuales se presentan en la siguiente tabla.

TABLA 4.1 DATOS PARA EL ESTUDIO DE PRONOSTICO DEL ÁREA PENINSULAR

		Demanda	Temperatura			Radiación Solar			Población		
		Mwh	°C			W / m ²			Miles de Personas		
			Yucatán	Q. roo	Campeche	Yucatán	Q. roo	Campeche	Yucatán	Campeche	Q. roo
Ene	1	778	0	0	0	0	0	0	1,696.39	709.22	904.78
Feb	2	791	0	0	0	0	0	0	1,698.80	710.16	908.61
Mar	3	884	0	0	0	0	0	0	1,701.21	711.09	912.43
Abr	4	857	41.0	30.8	38.3	1078	1065	1047	1,703.62	712.03	916.26
May	5	888	39.7	31.9	39.5	1194	1194	1186	1,706.03	712.96	920.08
Jun	6	854	36.6	32.6	36.4	1215	1196	1304	1,708.44	713.90	923.91
Jul	7	863	38.4	33.7	37.4	1202	1125	1138	1,710.85	714.83	927.73
Ago	8	884	35.4	35.7	35	1277	1200	1274	1,713.26	715.77	931.56
Sep	9	891	35.7	33.7	34.7	1146	1165	1167	1,715.67	716.70	935.38
Oct	10	875	34.5	33.1	33.8	1063	1131	1141	1,718.08	717.64	939.21
Nov	11	908	35.9	33.6	35.2	948	1055	964	1,720.49	718.57	943.03
Dic	12	873	33.5	30.8	33.4	898	913	1002	1,722.90	719.51	946.86
Ene	13	859	34.9	29.4	35.5	1066	1036	1002	1,725.31	720.44	950.68
Feb	14	869	35.7	30.4	35.2	1090	1095	1082	1,727.62	721.33	954.49
Mar	15	917	38.9	32.7	38	1139	1163	1146	1,729.92	722.22	958.30
Abr	16	922	37.8	31.5	38.4	1168	1172	1132	1,732.23	723.11	962.11
May	17	930	38.9	35.4	38.3	1145	1240	1164	1,734.53	723.99	965.91
Jun	18	945	38.0	32.8	37.1	1202	1185	1214	1,736.83	724.88	969.72
Jul	19	916	36.6	33.3	35.4	1198	1180	1152	1,739.14	725.77	973.53
Ago	20	949	35.8	34.3	34.9	1254	1245	1169	1,741.44	726.66	977.34
Sep	21	947	36.7	35.1	35.8	1188	1228	1123	1,743.75	727.55	981.15
Oct	22	970	36.7	34.7	36.1	1087	1123	1088	1,746.05	728.44	984.96
Nov	23	910	34.1	32	32.9	931	1002	990	1,748.36	729.33	988.76
Dic	24	939	34.3	31.6	32.7	893	953	916	1,750.66	730.22	992.57
Ene	25	913	35.6	31.2	33.7	997	1020	976	1,752.96	731.11	996.38
Feb	26	889	35.4	31.7	34.4	1051	1157	1167	1,755.13	731.94	1,000.15
Mar	27	931	37.2	32.3	36.4	1117	1233	1175	1,757.30	732.77	1,003.92
Abr	28	952	39.5	31.4	37.9	1120	1155	1199	1,759.47	733.60	1,007.68
May	29	964	40.6	34.2	39.1	1157	1247	1134	1,761.64	734.43	1,011.45
Jun	30	952	37.7	34.8	36	1243	1394	1252	1,763.81	735.26	1,015.22
Jul	31	959	36.4	33.4	36.9	1173	1389	1172	1,765.98	736.09	1,018.98
Ago	32	977	37.3	34.5	36.7	1188	1396	1200	1,768.15	736.92	1,022.75
Sep	33	979	36.2	36.9	35.4	1382	1399	1170	1,770.32	737.75	1,026.52
Oct	34	976	36.4	33.8	34.9	1111	1398	1084	1765.978	736.092	1018.982
Nov	35	967	34.2	32.5	33.8	937	1399	1061	1768.14717	736.9228	1022.74867

TABLA 4.1 DATOS PARA EL ESTUDIO DE PRONOSTICO DEL ÁREA PENINSULAR

		Demanda Mwh	Temperatura . ° C			Radiación solar w/m ²			Poblacion miles de personas		
			Yucatan	Q. roo	Campeche	Yucatan	Campeche	Yucatan	Campeche	Q. roo	
Ene	37	836	31.9	30.6	32.6	934	1393	947	1,772.49	738.58	1,030.28
Feb	38	955	37.8	33.9	38	981	1338	1014	1,774.65	739.42	1,034.05
Mar	39	999	39.1	36.5	42.8	1087	1162	1090	1,776.82	740.25	1,037.82
Abr	40	1,014	41.0	34.3	41.6	1147	1217	1163	1,778.99	741.08	1,041.58
May	41	1,012	42.4	35.8	39.9	1153	1172	1130	1,781.04	741.87	1,045.32
Jun	42	1,018	38.3	34.4	39	1226	1239	1137	1,783.09	742.65	1,049.05
Jul	43	976	36.7	34.8	37.3	1202	1202	1178	1,785.14	743.44	1,052.78
Ago	44	997	36.9	36.6	37	1187	1169	1212	1,787.19	744.22	1,056.51
Sep	45	1,014	37.0	35.7	36.7	1163	1218	1139	1,789.24	745.01	1,060.25
Oct	46	1,010	36.4	35.3	35.3	1106	1167	1096	1,791.29	745.80	1,063.98
Nov	47	1,027	34.4	34.3	33.3	991	1005	1041	1,793.35	746.58	1,067.71
Dic	48	940	34.3	31.6	32.8	893	1228	941	1,795.40	747.37	1,071.44
Ene	49	966	36.8	32.1	35.1	949	1162	941	1,797.45	748.15	1,075.18
Feb	50	968	36.8	33.6	38.8	1067	1062	1090	1,799.50	748.94	1,078.91
Mar	51	1,004	36.6	33.5	36.5	1266	1293	1131	1,801.55	749.73	1,082.64
Abr	52	1,027	39.0	34.4	38.3	1219	1185	1166	1,803.60	750.51	1,086.37
May	53	1,082	39.0	35.7	39	1219	1201	1308	1,805.57	751.27	1,090.09
Jun	54	1,082	38.8	36.7	37.5	1162	1206	1174	1,807.55	752.03	1,093.81
Jul	55	1,048	38.8	37.1	37.3	1203	1210	1133	1,809.52	752.78	1,097.53
Ago	56	1,087	38.3	37.4	37.9	1192	1216	1221	1,811.49	753.54	1,101.25
Sep	57	1,069	37.3	37.9	36.9	1183	1218	1209	1,813.47	754.30	1,104.97
Oct	58	1,085	35.3	34.5	35	1127	1103	1103	1,815.44	755.06	1,108.69
Nov	59	1,076	35.5	33.9	35.3	1007	1015	1018	1,817.41	755.81	1,112.41
Dic	60	1,079	35.5	32.4	34.4	976	955	993	1,819.39	756.57	1,116.13
Ene	61		36.8	31.5	36.2	949	979	1071	1,821.36	757.33	1,119.85
Feb	62		36.8	32.6	39.4	1067	1094	1080	1,823.33	758.09	1,123.57
Mar	63		36.6	35.6	43.8	1266	1147	1118	1,825.31	758.84	1,127.29
Abr	64		39	35.4	43.2	1219	1164	1155	1,827.28	759.60	1,131.01
May	65		39	36.8	43.2	1219	1156	1161	1,829.21	760.34	1,134.74
Jun	66		38.8	35.9	40.5	1162	1245	1243	1,831.14	761.08	1,138.47
Jul	67		38.8	37.1	40	1203	1133	1290	1,833.07	761.82	1,142.20
Ago	68		38.3	37.1	37.9	1192	1210	1226	1,835.00	762.57	1,145.93

TABLA 4.1 DATOS PARA EL ESTUDIO DE PRONOSTICO DEL ÁREA PENINSULAR

		Demanda Mwh	Temperatura . ^o C			Radiación solar W/m ²			Poblacion miles de personas		
			Yucatán	Q. roo	Campeche	Yucatán	Q. roo	Campeche	Yucatán	Campeche	Q. roo
Sep	69		37.3	36.5	35.9	1183	1181	1199	1,842.71	765.54	1,160.84
Oct	70		35.3	36	34.9	1127	1129	1109	1,844.64	766.28	1,164.57
Nov	71		35.5	33.2	34.2	1007	985	1106	1,846.57	767.03	1,168.30
Dic	72		35.5	32.3	33.7	976	1297	1003	1,848.49	767.77	1,172.03
Ene	73		34.0	31.6	34.1	975	1055	996	1,850.42	768.52	1,175.75
Feb	74		35.3	32.2	35.1	1056	1092	1094	1,852.40	769.27	1,179.52
Mar	75		38.2	31.9	39.1	1182	1104	1144	1,854.38	770.02	1,183.28
Abr	76		40.0	33.2	40.2	1198	1157	1158	1,856.37	770.77	1,187.04
May	77		42.9	34.8	42.7	1200	1141	1203	1,858.35	771.51	1,190.80
Jun	78		38.0	33.1	36.8	1182	1343	1206	1,860.34	772.26	1,194.56
Jul	79		36.4	33.3	35.3	1214	0	1182	1,862.32	773.01	1,198.33
Ago	80		37.0	34.2	36	1180	0	1186	1,864.30	773.76	1,202.09
Sep	81		36.7	34	35.9	1158	0	1229	1,866.29	774.51	1,205.85
Oct	82		36.8	33.6	36.6	1140	0	1083	1,868.27	775.26	1,209.61
Nov	83		35.0	33.3	33.8	974	902	1153	1,870.26	776.00	1,213.37
Dic	84		32.6	31.3	32.5	897	877	920	1,872.24	776.75	1,217.14

4.2 Correlación de variables con respecto a la demanda

Las siguientes figuras que se presentan a continuación son las de la temperatura, radiación solar, población y demanda de energía eléctrica.

Estas figuras son el parámetro para poder hacer dicho pronóstico los cuales están tabulados en la tabla anterior *tabla 4.1*

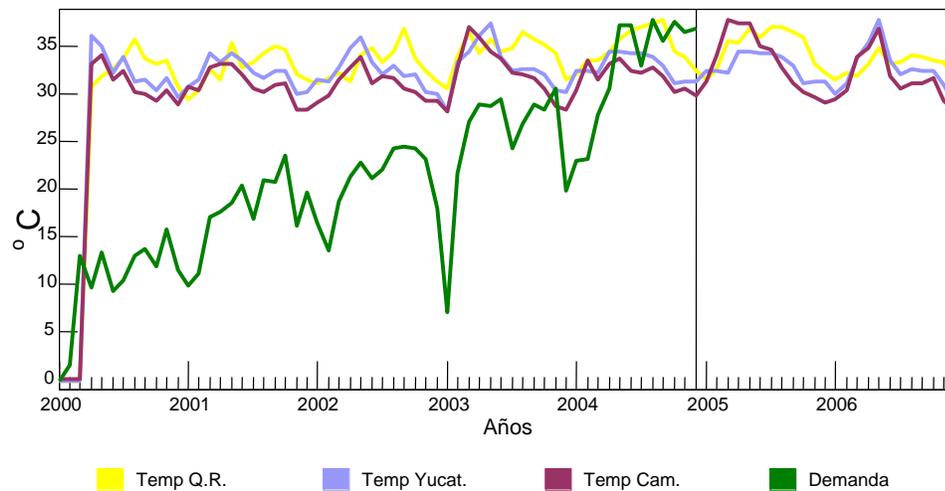


Figura.-4.2 Gráfica de la correlación de la demanda con la temperatura.

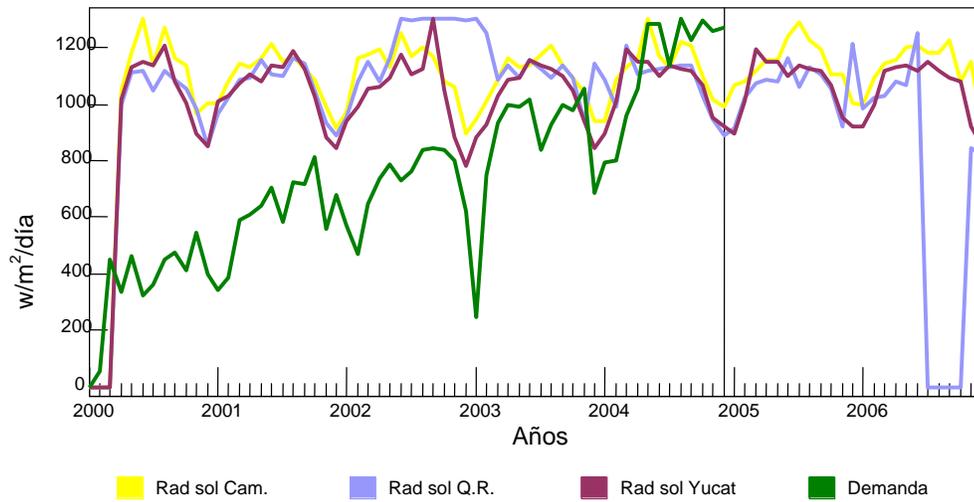


Figura.- 4.3 Gráfica de la correlación de la demanda con la radiación solar.

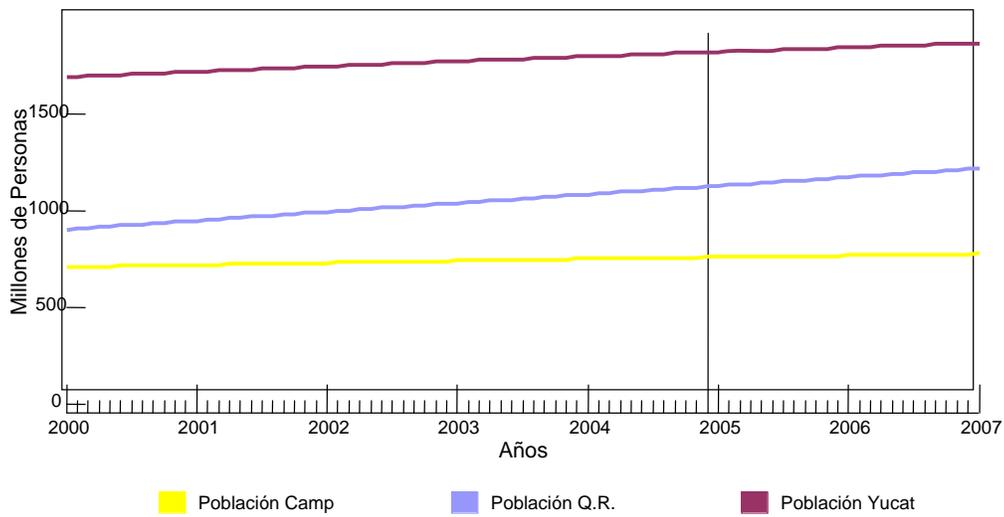


Figura.- 4.4 Gráfica de la población para los estados del área peninsular.

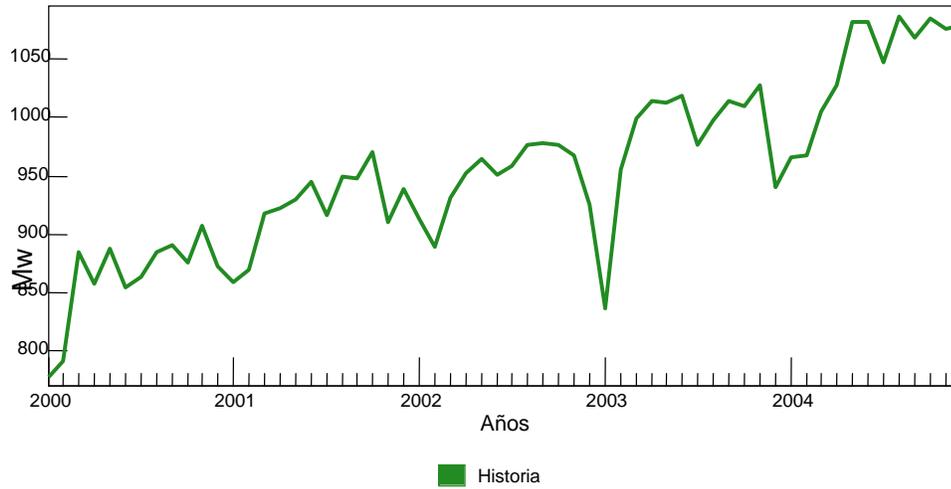


Figura.- 4.5 Gráfica de la demanda de energía eléctrica del área peninsular.

En las graficas anteriores se mostraron las variables que más influyen sobre la demanda de energía eléctrica para el área peninsular, que fueron temperatura radiación solar y población.

Aplicando la metodología RL a los parámetros antes mencionados se realiza el pronóstico de la demanda de energía eléctrica para los siguientes dos años estos resultados se muestran en la *figura 4.6*, en la cual vamos a poder notar los datos históricos ajustados a la demanda junto con el pronóstico de los 2 años siguientes

Tabla 4.2 Niveles de correlación para el área peninsular.

Variable	Correlación con la Demanda
Radiación solar Campeche	0.6972
Radiación solar Quintana Roo	0.9553
Radiación solar Yucatán	0.8337
Temperatura Campeche	0.4852
Temperatura Quintana Roo	0.9993
Temperatura Yucatán	0.8567
Población Campeche	0.6362
Población Quintana Roo	0.7004
Población Yucatán	0.6381

Los niveles de correlación se presentan ya que estos nos muestran de qué manera influye cada variable con la demanda, lo cual ayuda en el análisis y selección de cada variable. Estos valores nos sirven para determinar que las variables influyen favorablemente en el comportamiento de la demanda.

4.3 Datos del pronóstico del Área Peninsular

A continuación se presentan los resultados obtenidos con el programa Forecast Pro XE y los valores pronosticados por la CFE.

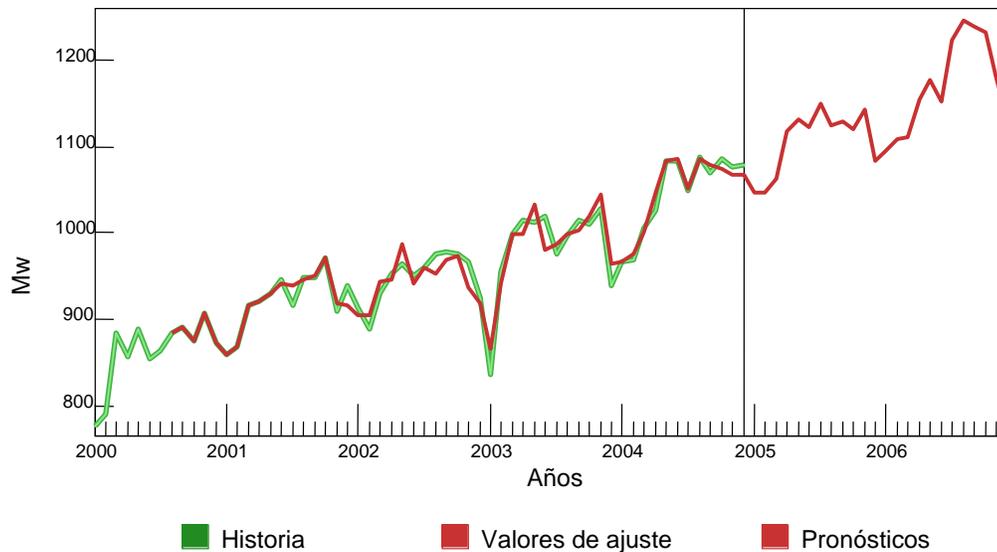


Figura.- 4.6 Gráfica de pronóstico para los años (2006 y 2007) del área peninsular.

En la gráfica se presenta los pronóstico, resultados obtenidos con el programa empleado de Forecast Pro XE, tenemos como datos la historia, los valores de ajuste y nuestro pronóstico.

Con los datos ajustados, considerando 60 meses de historia de consumo de energía eléctrica se procede a realizar el pronóstico de la demanda de energía eléctrica para los siguientes 2 años

A continuación se presenta la tabla 4.3 con los resultados obtenidos durante la corrida con las variables climatológicas así como los valores de CFE y los valores reales, se muestran los valores obtenidos contra los valores reales y el por ciento de error encontrado.

La gráfica 4.6 nos indica el ajuste del modelo a los datos. El pronóstico de la demanda se realiza para los dos años siguientes es decir del periodo enero 05 a dic 06 el resultado se compara con los datos de la demanda real indicados en la tabla 4.3. la figura 4.6 muestra la demanda pronosticada contra la demanda real para el periodo antes mencionado.

El indicador estadístico registrado es el siguiente:

$$\text{Coeficiente } R^2 = 0.91$$

Indica el grado de medida en que el modelo describe el compartimiento de los datos.

Por lo antes mencionado tenemos que el método de regresión lineal es un método sencillo de implementar ya que no tiene dificultad para simular dicho pronóstico.

Tabla 4.3 Resultados de pronóstico y comparación con datos reales

ÁREA PENINSULAR	2005	2006*
Demanda Real (MW)	1175	1284
Demanda estimada (CFE)	1159	1217
Demanda estimada (R.L)	1178	1281
Diferencias real vs estimado (CFE)	16	67
Diferencias real vs estimado (R.L)	-3	3
% de error (CFE)	1.36	5.22
% de error (R.L.)	-0.26	0.23
% de error medio (CFE)		3.29
% de error medio (R.L.)		0.24

Como se logra observar en la *tabla 4.3*, podemos observar la diferencia de los datos reales y los estimados tanto de CFE como el método empleado de RL y cabe mencionar que tenemos resultados notablemente aceptables ya que el % de error medio de CFE es de 3.29 % en comparación de el método empleado de RL que es de 0.24 % para los dos años pronosticados.

*Cabe mencionar que la diferencia que se dio en la demanda pronostica por CFE y la real se debió a que se superaron las expectativas de crecimiento, debido principalmente a que la zona rivera maya manifestó en 2006 presento un crecimiento extraordinario de 28.42% en relación al 6.32% esperado, sustentado primordialmente en los sectores del desarrollo normal y tarifas OM-HM. También la zona de Cancún contribuyo con un crecimiento importante ya que se registro un crecimiento de 9.88%, mayor al esperado de 4.74 por ciento.

CONCLUSIONES

- El método de regresión lineal es un método sencillo de implementar, ya que tiene la flexibilidad de considerar distintas variables simplemente hay que hacer un análisis profundo del problema y determinar que tipo de variables influyen directamente o indirectamente para llevar a cabo el pronóstico, cual se adaptó de manera aceptable para nuestro caso de estudio que fue el área peninsular.
- En la *tabla 4.3*, se puede observar los datos obtenidos por el método de regresión lineal y los obtenidos por CFE en el cual con el método de regresión lineal obtuvimos valores notablemente aceptables al tener diferencias mínimas entre la demanda real y la demanda estimada, ya que el % error medio para 2005 y 2006 para CFE fue de 3.29%, mientras que para lo estimado mediante el método de regresión lineal fue de 0.24%, teniendo una diferencia de 3.05%.

- Para el pronóstico por el método de regresión lineal el análisis de correlación de las variables climatológicas con la demanda de energía eléctrica es fundamental, ya que, el mejor ajuste se logra con las variables que presentan mayor correlación. Por lo cual se logro un mejor ajuste al emplear las variables tales como temperatura, radiación solar y población, con lo que se puede decir que, para este método, el resultado es proporcional a la correlación de las variables que se incluyeron.
- El programa de Forecast Pro XE es un programa de fácil aplicación, el cual en el transcurso de la ejecución nos va guiando para ir tomando decisiones sobre que variables tienen mayor peso o mayor correlación sobre mi variable dependiente y así obtener resultados aceptables.
- El pronostico de demanda de energía eléctrica utilizando la metodología de regresión lineal puede ser implementada a otros casos de estudio, como alguna otra área del sistema eléctrico nacional, pero tomando en cuenta que por su ubicación geográfica de cada área puede estar relacionada con diferentes variables a la de este trabajo, variables tales como humedad relativa, huelgas, días festivos, catástrofes ambientales o de otro tipo etc, los cuales pueden afectar el comportamiento de la demanda de energía eléctrica.

REFERENCIAS

- [1] J. Robles García, D. Romero y S. Peña S., “PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO EL MODELO DEL VECTOR AUTORREGRESIVO” Sección de graduados de la ESIME del IPN.
- [2] J. Robles García, D. Romero y S. Peña S., “PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDOREGRECIÓ LINEAL” RVP-AI/2000 Julio 2000
- [3] J. Riquelme, J.L. Martínez y A. Gómez, “POSIBILIDADES DE LAS REDES NEURONALES EN LA PREDICCIÓN DE LA DEMANDA ELÉCTRICA A CORTO PLAZO” Mercado Eléctrico M-1630 Sevilla.
- [4] M.C. Salvador Acha Daz, Tesis de maestría “METODOS PARA PRONÓSTICO DE LA DEMANDA A MEDIANO PLAZO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA”, Sección de graduados de la ESIME del IPN. Marzo de 1982 México, DF.
- [5] Saleh M. Al-Alawi Syed M. Islam “PRINCIPLES OF ELECTRICITY DEMAND FORECASTING, PART 1, APPLICATIONS (TUTORIAL)”, Power Engineering Journal, June 1996.

- [6] Saleh M. Al-Alawi Syed M. Islam “PRINCIPLES OF ELECTRICITY DEMAND FORECASTING, PART 1, APPLICATIONS (TUTORIAL)”, Power engineering journal, June 1996.
- [7] C.W.Gellins, “DEMAND FORECASTING FOR ELECTRIC UTILITIES”, Published by the Fairmont Press, Inc. 1992.
- [8] Makridakis Wheelwrioth. “METODOS DE PRONOSTICO”, Noriega Limusa 2000.
- [9] Robert S. Pindyck. Y Daniel L. Rubinfeld. “ECONOMETRIA MODELOS Y PRONOSTICOS“, McGraw Hill, 2000.
- [10] Bernard Ostle, “ESTADISTICA APLICADA”, Noriega Limusa, 2000.
- [11] Gabriel Allende Sancho, Tesis de Maestría “PRONÓSTICO DE LA DEMANDA DE ENERGIA ELECTRICA A MEDIANO PLAZO EMPLEANDO UNA RED NEURONAL DE RETROPROPAGACIÓN”, sección de graduados de la ESIME del IPN. Diciembre 2004 México DF.
- [12] <http://www.sistemasypronosticos.com>

APÉNDICE I [12]

Forecast Pro XE es un software de pronóstico rápido, y fácil, es un paquete fácil de utilizar a la vez es fácil de aprender, con simplemente proveerlos datos históricos que se quiere pronosticar.

Forecast Pro XE ofrece una amplia gama de modelos de pronóstico y todas las ayudas que requiere para diagnosticar utilizando métodos estadísticos probados.

Para comenzar a utilizar Forecast Pro XE, una vez al haber recopilado nuestros datos históricos formamos una hoja de cálculo en Excel con el respectivo formato, para después poderla llamar desde el software.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Demanda	fem_Yuc	hum rela	Rad sol_Yuc	prec lluvi	Tem_O_R	hum rela_q	Rad sol_O_R	prec lluvi_q	Tem_cam	hu rel cam	Rad sol_C
2	description	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
5		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
6	Ene-00	778	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Feb-00	791	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Mar-00	884	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	Apr-00	857	41.0	100	1078	1.02	30.8	92	1065	1.02	38.3	94
10	May-00	898	39.7	100	1194	12.19	31.9	100	1194	6.6	39.5	100
11	Jun-00	854	36.6	100	1215	17.02	32.6	100	1196	12.45	36.4	100
12	Jul-00	863	38.4	100	1202	13.21	33.7	100	1125	6.35	37.4	100
13	Ago-00	884	35.4	100	1277	16.26	35.7	100	1200	20.32	35	100
14	Sep-00	891	35.7	100	1146	15.75	33.7	100	1165	18.54	34.7	100
15	Oct-00	875	34.5	100	1063	11.94	33.1	100	1131	14.73	33.8	100
16	Nov-00	908	35.9	100	948	10.92	33.6	100	1055	12.7	35.2	100
17	Dic-00	873	33.5	100	898	4.06	30.8	100	913	22.61	33.4	100
18	Ene-01	869	34.9	100	1066	2.29	29.4	100	1036	9.4	35.5	100
19	Feb-01	869	35.7	100	1090	3.3	30.4	100	1095	5.08	35.2	100
20	Mar-01	917	38.9	100	1139	2.54	32.7	100	1163	13.46	38	100
21	Abr-01	922	37.8	100	1168	5.33	31.5	100	1172	2.29	38.4	100
22	May-01	930	38.9	100	1145	8.64	35.4	100	1240	14.48	38.3	100
23	Jun-01	945	38.0	100	1202	23.11	32.8	100	1185	9.4	37.1	100
24	Jul-01	916	36.6	100	1198	16.76	33.3	100	1180	9.4	35.4	100
25	Ago-01	949	35.8	100	1254	17.02	34.3	100	1245	10.67	34.9	100
26	Sep-01	947	36.7	100	1188	19.55	35.1	100	1228	12.19	35.8	100
27	Oct-01	970	36.7	100	1087	16.51	34.7	100	1123	12.45	36.1	100
28	Nov-01	910	34.1	100	931	4.57	32	100	1002	7.62	32.9	100
29	Dic-01	939	34.3	100	883	9.4	31.6	100	953	10.67	32.7	100
30	Ene-02	913	35.6	100	997	5.33	31.2	100	1020	9.91	33.7	100
31												

Figura.- A-1 Hoja de cálculo de Excel.

Una vez teniendo nuestra hoja de cálculo la mandamos llamar desde el software el cual, nos aparecen nuestras variables que intervienen en nuestro pronóstico, en el cual nosotros podemos escoger nuestras variables que intervendrán y así mismo poder saber cual variable tiene mas peso para nuestro pronóstico, y poder observar con que variables tengo mejores resultados.

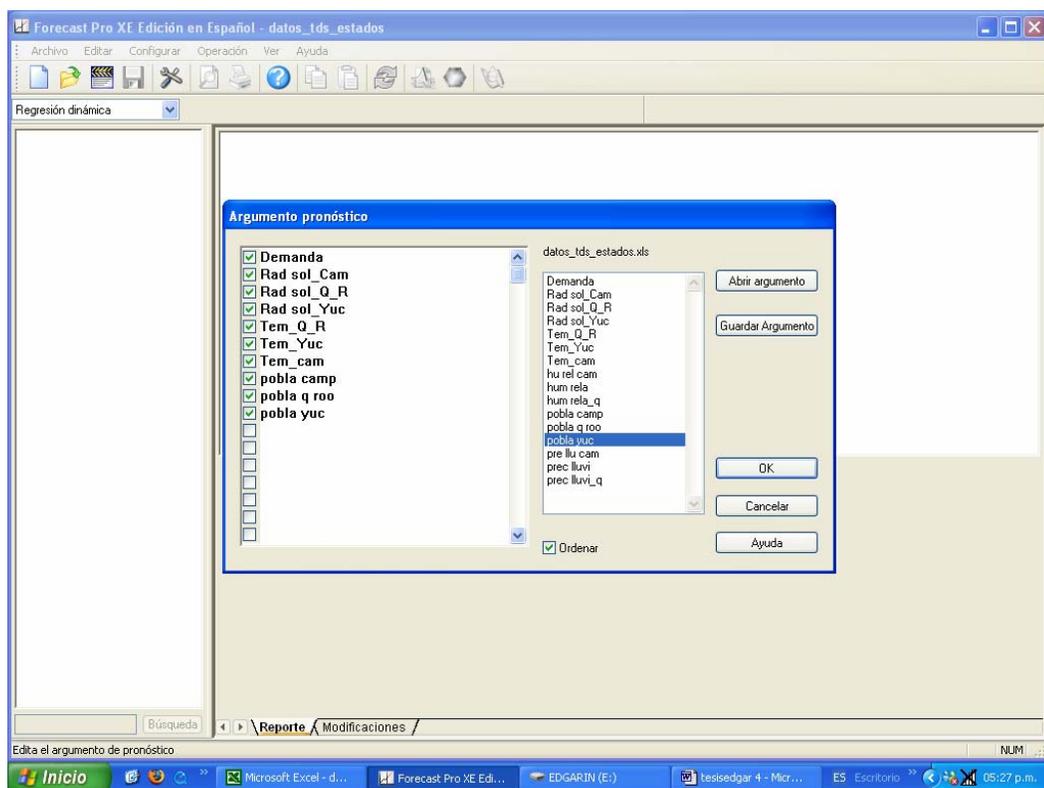


Figura.- A-2 Llamado de variables y selección de las mismas desde el software.

Una vez seleccionado las variables el software realiza el pronóstico y nos va guiando durante el proceso indicándonos que variables nos conviene mantener o que variables no tienen significado para nuestro pronóstico.

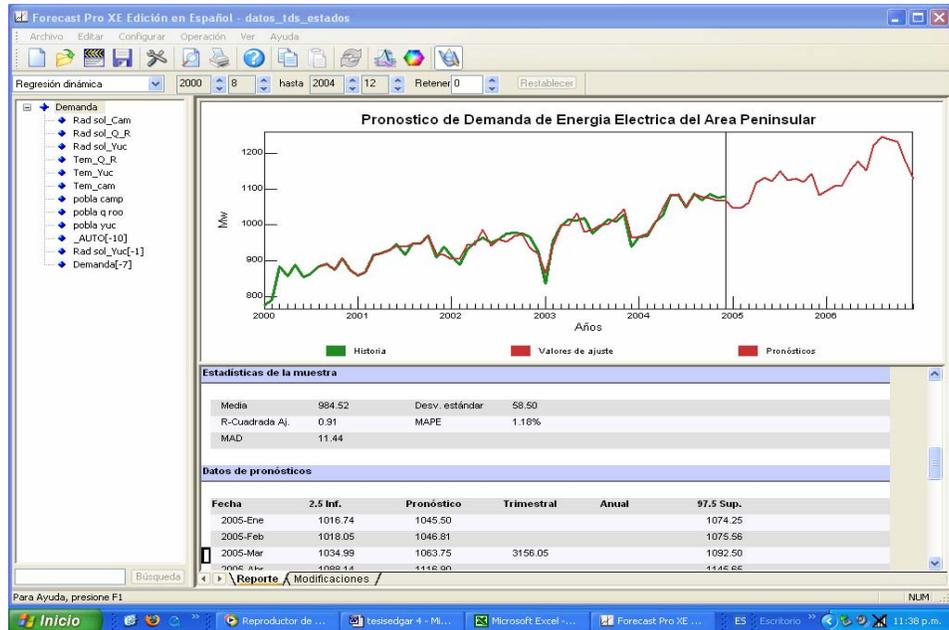


Figura.- A-3 Realización del pronóstico con variables climatológicas.

Como se ve a grandes rasgos no es complicado saber utilizar y poder familiarizarse con el software ya que incluso tiene muy parecido a algún paquete de Office, lo complicado será recaudar los datos de las variables para nuestro pronóstico y que provengan de fuentes confiables.