



T
621.3191
D363

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"METODOLOGIA PARA LA PROYECCION DE LA DEMANDA EN
SISTEMAS DE DISTRIBUCION UTILIZANDO AGRUPAMIENTO".



TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION: POTENCIA

Presentada por:

CARLOS FRANCISCO DEL POZO CAZAR

GUAYAQUIL - ECUADOR

1.985



D-7068

CIB



AGRADECIMIENTO



Al ING. CRISTOBAL MERA G.,
Director de Tesis, por su
ayuda y colaboración para
la realización de este tra
bajo.



DEDICATORIA



- A MIS PADRES

- A MIS HERMANOS



ING. GUSTAVO BERMUDEZ FLORES
SUB-DECANO DE LA FACULTAD
DE INGENIERIA ELECTRICA.

ING. CRISTOBAL MERA G.
DIRECTOR DE TESIS

ING. JORGE FLORES MACIAS
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL

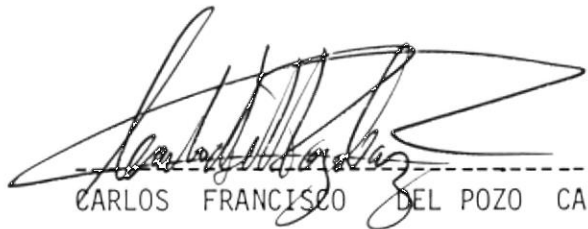
ING. JORGE CARIBOGA V.
MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL



DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de -
1a ESPOL).



CARLOS FRANCISCO DEL POZO CAZAR

R E S U M E N

En la presente ^{proyecto de} ~~tesis~~ se expondrá una metodología para el estudio de la proyección de la demanda, la misma que consiste en la división del área ocupada por el sistema de distribución en una cuadrícula, donde cada uno de sus elementos tendrá los respectivos datos históricos para realizar el levantamiento del crecimiento de la demanda, dicho levantamiento puede realizarse a base de dos métodos matemáticos, el uno denominado de tendencias, el cual proyecta el crecimiento de la demanda únicamente como función del tiempo, y el segundo método denominado de multivariantes, el cual proyecta la demanda pero como una función que relaciona además del tiempo otros factores, como por ejemplo el nivel de consumo de los abonados, el nivel de ingreso de los mismos, el tipo de abonado, la forma de utilización de la tierra, etc., pero que a diferencia del primero requiere de una gran cantidad de datos adicionales a la demanda.

Escogido uno de estos métodos de acuerdo a la informa

VII

ción estadística obtenida, se lo aplica a cada uno de los elementos de la cuadrícula original, luego se procede a realizar una comparación entre cada uno de estos elementos de sus respectivos levantamientos y si presentan curvas de crecimiento parecidas se los agrupa, dando el nombre a la metodología de proyección es decir proyección por agrupamiento.

De cada grupo formado por varios elementos de la cuadrícula se obtiene una curva de levantamiento promedio y se procede a realizar la proyección de dicha curva, la cual será sumada con las curvas de los demás grupos para obtener la proyección de la demanda total del sistema de distribución.

Dicha proyección será ajustada siguiendo procedimientos que relacionan el valor proyectado con el factor de diversidad de cada grupo.

Al tiempo en que se realiza las proyecciones la información adicional referente al error que se presenta se va generando, es así que el método presenta como condiciones de aceptación o buen levantamiento - cuando los valores proyectados estén en un rango de más o menos tres desviaciones standard de la media calculada.

VIII

Una vez presentada la proyección total y el posible error de la misma se habrá completado la proyección de la demanda total del sistema.

INDICE GENERAL

	<u>PAGS.</u>
RESUMEN -----	VI
INDICE GENERAL -----	IX
INDICE DE FIGURAS -----	XI
INTRODUCCION -----	13
CAPITULO I	
GENERALIDADES -----	15
1.1. OBJETIVOS DE LA PROYECCION -----	15
1.2. METODOS DE PROYECCION -----	17
1.2.1. Métodos de tendencias -----	19
1.2.2. Métodos de simulación -----	30
CAPITULO II	
METODOLOGIA DE AGRUPAMIENTO -----	38
2.1. SELECCION DEL AREA -----	38
2.2. DIVISION DEL AREA EN CUADRICULAS -----	42
2.3. MUESTREO POR AGRUPAMIENTO -----	46

2.4. FORMACION DE GRUPOS DE ACUERDO A SIMILARES CRECIMIENTOS DE CARGA -----	52
2.4.1. Curvas patrones -----	53
2.4.2. Numeración de los grupos -----	54
CAPITULO III	
PROYECCION DE LA DEMANDA DE CARGA-----	60
3.1. PROYECCION DE LA DEMANDA DE LOS GRUPOS-	60
3.1.1. Consideraciones de error de la proyección -----	63
3.1.2. Incertidumbre de la proyección ---	67
3.2. PROYECCION DE LA DEMANDA DEL AREA TOTAL-	71
CAPITULO IV	
ANALISIS DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA PROYECCION -----	74
4.1. TASAS DE CRECIMIENTO -----	74
4.2. NIVELES DE SATURACION -----	76
4.3. AREAS DE CRECIMIENTO LENTO -----	78
4.4. AREAS DE CRECIMIENTO RAPIDO -----	80
4.5. AREAS DE NO CRECIMIENTO -----	81
4.6. ESQUEMAS GENERALES -----	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	105
BIBLIOGRAFIA -----	109

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGS.</u>		<u>PAGS.</u>
CAPITULO I		
1.1.	FORMA DE LA CURVA TIPO S -----	22
1.2.	MODELO DEL PROCESO DE PROYECCION -----	35
CAPITULO II		
2.1.	SUPERFICIES NORMALMENTE USADAS COMO AREA DE SERVICIO EN LOS ELEMENTOS DE LA CUADRICULA -----	44
CAPITULO III		
3.1.	ZONAS DE INCERTIDUMBRE -----	70
CAPITULO IV		
4.1.	INTERVALOS DE CRECIMIENTOS -----	74
4.2.	CURVA DE CRECIMIENTO LENTO -----	79
4.3.	CURVA DE CRECIMIENTO RAPIDO -----	80
4.4.	MUESTREO DE LOS ELEMENTOS DE LA CUADRICULA -----	91
4.5.	CURVAS DE LEVANTAMIENTO DE CADA CUADRICULA -----	92
4.6.	CURVA PROMEDIO DE LOS GRUPOS -----	94

<u>FIGS.</u>		<u>PAGS.</u>
4.7.	CURVA DE SUMADA DEMANDA	
	1. LEVANTAMIENTO DE LA SUMA DE DEMANDA -----	96
	2. SUMA DE LEVANTAMIENTOS DE DEMANDA -----	96
4.8.	CURVA DE PROYECCION DE LA DEMANDA -----	98
4.9.	CURVA MOSTRANDO AL PUNTO DE SATURACION -----	99
4.10.	CURVA DE LA DEMANDA CON ZONA DE INCERTIDUMBRE	103

INTRODUCCION

Pensando en un sistema de distribución como un conjunto formado por tres elementos básicos que son:

- Puntos de demanda de energía eléctrica
- Puntos de fuentes de energía eléctrica
- Lazos de conexión entre la fuente y los puntos de demanda.

y cuyo objetivo es el de dar servicio desde las fuentes a los puntos de demanda, es decir integrar los elementos - del sistema.

De estos elementos del sistema el más incierto o menos específico es el primero (puntos de demanda), porque sólo se puede estimar la magnitud y localización de dichos puntos, es decir su representación es solo probabilística, y para planificar el desarrollo de un sistema debemos proyectar el crecimiento de la demanda eléctrica y por lo - tanto el nivel de incertidumbre en la magnitud de ella - aumenta, e igual o mayor nivel se obtiene al determinar



la localización del punto de demanda.

Al observar estos niveles de incertidumbre, nos vemos en la necesidad de disminuirlos, y para ello se necesita estudiar el sistema lo más detalladamente posible, involucrando el estudio por áreas de demanda más pequeñas, siendo dicho estudio relacionado con un - gran trabajo al momento de planificar el servicio de alimentación de energía eléctrica.

El presente estudio se basa en conocer la demanda de estas pequeñas áreas para que luego sean integradas y así determinar el total de demanda de energía del sistema.



C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1. OBJETIVOS DE LA PROYECCION

El análisis del sistema de potencia involucra el conocimiento de la demanda de energía eléctrica , en sus distintos niveles, sean estos altos, medios y bajos, o de acuerdo a la clasificación establecida de consumos como residencial, comercial e industrial.

En general, el conocer dichos valores y la totalidad del conjunto es la finalidad del estudio de la Proyección de Demanda.

Pero dichos valores están relacionados con una serie de parámetros que le dan la verdadera significación a los mismos, por lo tanto en la proyección están relacionados conceptos como:

- Tasas de crecimiento: Que determinan la razón de incremento del consumo de energía.
- Niveles de Saturación: Que determinan el posible máximo consumo de energía para un área determinada.
- Areas de crecimiento lento: Determinada en la proyección y clasifica las áreas de acuerdo al consumo a la vez que determina el tipo de servicio a ser entregado.
- Areas de crecimiento rápido: Determinadas en la proyección y muestra a aquellas áreas de mayor consumo de energía.
- Areas de no crecimiento: Caracteriza a aquellas zonas que interviniendo en la zona de demanda , han sido clasificadas - como áreas de no utilización como parques, zonas verdes, terrenos de distracción particular, etc.

El propósito de la proyección por pequeñas áreas es que se pueda representar cuidadosamente la distribución de carga no uniforme del área en estudio, así como también describir geográficamente la localización de las fuentes de energía.

- * En general realizar el estudio de la proyección de la demanda implica conocer el pasado o historia del crecimiento real de la zona o área en estudio, su clasificación de acuerdo a los distintos tipos de consumidores, así como también el nivel de consumo que posean, para con estos datos aplicar los métodos de proyección que se considerarán y estimar la carga en el futuro para que sea utilizada en el diseño del sistema de potencia o en las diferentes alternativas de servicio que se consideren.

1.2. METODOS DE PROYECCION

Una variedad de métodos han sido aplicados para el cálculo de proyección de la demanda en sistemas de distribución y que de acuerdo a la necesidad de datos han sido clasificados en dos grupos así:

- a. Métodos por tendencias

b. Métodos por multivariables

Métodos de Tendencia: Los datos históricos requeridos solo están relacionados con la demanda, luego se proyecta haciendo tender una curva específica hacia la totalidad de los datos.

Métodos de Multivariables: Denominado también de simulación tiene un requerimiento mayor de datos - que no solo incluyen a la demanda sino también información como datos socio-económicos, demográficos, tipos y niveles de consumo, etc. El objetivo de este método es simular una curva con los datos obtenidos de tal manera que este siga más fielmente el crecimiento de la demanda.

Cada uno de estos métodos tiene fines diferentes colaterales al de obtener la demanda, así en el método por tendencias que asume que en el futuro sigue el mismo desarrollo del área en estudio, no profundiza en los factores que producen el crecimiento - con la demanda y no los relaciona para obtener una curva que siga fielmente la demanda, en cambio en los métodos de multivariables los fines perseguidos se aumentan, interesando a parte de la demanda en los factores que la producen, da justificaciones pa

ra el uso de la tierra, la influencia determinante de las condiciones ambientales, etc.

Para seleccionar un método de proyección adecuado deben intervenir varios factores, entre ellos anotamos los siguientes:

Complejidad de los datos requeridos

Dificultad al obtener la información

Ventajas sobre otros métodos

El error que se obtiene al utilizar dicho método

El nivel de incertidumbre de los resultados.

1.2.1. Método de Tendencias

La aplicación de este método en la proyección utilizando el agrupamiento de áreas, se fundamenta en el uso de series de tiempo. Efectivo para generar proyecciones de la demanda en cortos rangos cuando se dispone de suficientes datos históricos, de desarrollo rápido y provee del suficiente cuidado al realizar la proyección.

El método es utilizado para determinar la de

manda pico del sistema, la misma que se encuentra influenciada por varios factores tales como las condiciones climáticas, número de abonados, niveles de consumo, etc., pero unas simples relaciones matemáticas entre demanda y tiempo resuelve la dependencia de la demanda con los factores anotados, obteniendo en la proyección buenos resultados.

Típicamente el levantamiento de datos históricos sigue patrones no regulares a las curvas exponenciales dando formas que resultarían de la suma de varias funciones, pero en general guardan cierta similitud en su forma con una letra S, denominando a estas curvas como "curvas S".

Esta forma de curva da una interpretación del levantamiento de la demanda como si tuviera un bajo crecimiento en el inicio del período en estudio, luego el crecimiento es acelerado, para terminar con un crecimiento suave y tendiendo hacia un nivel de saturación.

El período de crecimiento acelerado resulta

de varios factores, así por ejemplo el incremento de abonados en forma acelerada, el cambio de consumo eléctrico, cambio en las condiciones económica de los abonados, entendiendo esto como a mayor ingreso mayor consumo, etc.

La forma de la curva es la que se muestra en la figura N^o 1.1.

Basicamente las relaciones de demanda y tiempo para este tipo de proyección - guardan las siguientes expresiones básicas que son:

a. La demanda como función lineal del tiempo

$$1. D = a + bT$$

b. La demanda como una función lineal del - tiempo y de una nueva variable Z

$$2. D = a + bT + cZ$$

donde esta nueva variable tendrá más sig

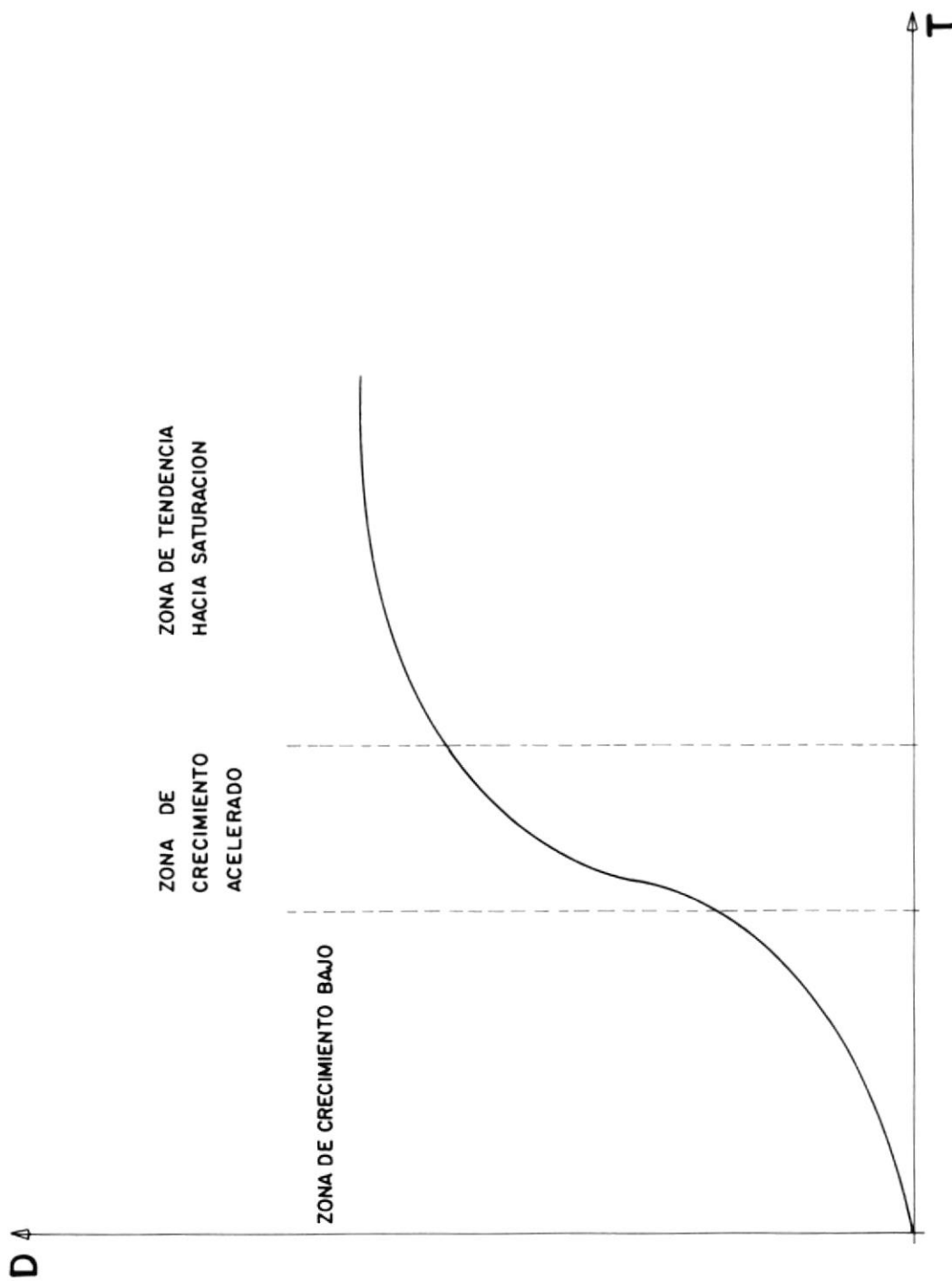


FIGURA N° 1.1. FORMA DE CURVA TIPO S



nificado cuando se analice la demanda en términos más particulares, por ejemplo Z puede representar el costo de energía.

Se puede independizar esta ecuación de cualquier otra variable e introducir un exponente fraccionario a la relación de tiempo con lo que se puede escribir la ecuación de la siguiente manera:

$$2'. D = a + bT + C T^{1/3}$$

c. La demanda es una función cúbica modificada dando la forma de una curva S.

El uso de la demanda como un término polinomial asegura que la razón de crecimiento de la demanda disminuirá cuando el tiempo tienda a incrementarse.

La expresión para esta forma de relación es:

$$3. T = a + bD + c D^2 + dD^3$$

{ Con el objeto de dar un nivel de saturación a

la zona podemos tratar de que la curva pa
se por un valor de demanda fijado en el -
tiempo/ designando estas condiciones fija
das con el subíndice S tenemos:

Las tres relaciones anteriores tendrán ahora
fijados un nivel de saturación.

$$4. D = a_s + b(T - T_s)$$

$$5. D = a_s + b(T_s) + c(Z - Z_s)$$

$$6. I = a_s + b(D - D_s) + (D^2 - D_s^2) + d(D^3 - D_s^3)$$

con el objeto de dar más flexibilidad a l
modelaje de la curva y un tratamiento más
cuidadoso se puede usar el logaritmo de la
demanda en vez de la demanda misma, así:

$$7. \lg D = a + bT$$

$$8. \lg D = a + bT + cZ$$

$$9. T = a + b \lg D + c(\lg D)^2 + d(\lg D)^3$$

Si para las mismas ecuaciones donde se utilij

za el logaritmo de la demanda utilizamos el nivel de saturación fijado

$$10. \text{LgD} = a + b(T - T_s)$$

$$11. \text{lgD} = a + b(T - T_s) + c(Z - Z_s)$$

$$12. T = a + b(\text{lgD} - \text{lgD}_s) + c(\text{lgD} - \text{lg}^2\text{D}_s) + d(\text{lgD}^3 - \text{lg}^3\text{D}_s)$$

Con lo que obtenemos doce alternativas diferentes de representación de la forma de las curvas de levantamiento.

Para la determinación de los coeficientes de estas ecuaciones puede usarse el método de los mínimos cuadrados, el mismo que da los valores más probables de una cantidad escogiendo los de tal manera que minimize la suma de los cuadrados de las desviaciones de estas medidas lo que equivale a minimizar el valor de:

$$\sum (x - \hat{x})^2$$

Donde:

X es la magnitud del valor medio

\hat{X} es el valor calculado de la variable dependiente.

Se asume que la variable independiente se medirá sin error

X especifica la demanda; y,

T especificará el tiempo

Las ecuaciones 3,6,9 y 12, fijan la demanda - pico como variable dependiente y el tiempo como variable independiente.

El proceso de minimización de la función error $\Sigma(D - \hat{D})^2$ tienen el efecto de reducir la varianza en la demanda.

La minimización es acompañada por un juego de derivadas parciales del error con respecto a cada coeficiente y obteniendo los resultados de un juego de ecuaciones simultáneas para valores de los coeficientes, así:

Para la expresión lineal de la demanda tenemos:

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma T \\ \Sigma T & \Sigma T^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma D \\ \Sigma DT \end{bmatrix}$$

Donde se observa que la segunda ecuación se obtiene de la multiplicación de la ecuación inicial por la misma variable independiente esto es:

$$\begin{aligned} a + b\Sigma T &= \Sigma D \\ a\Sigma T + b\Sigma T^2 &= \Sigma DT \end{aligned}$$

y se resuelve el sistema para la totalidad de los puntos. Dependiendo del modelo de la curva seleccionada, la expresión de la de manda será cambiada por el logaritmo de la misma, cuando la ecuación original así lo muestre.

Cuando interviene una nueva variable como - la mostrada en la ecuación dos, la solución matricial se presenta de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} n & \Sigma T & \Sigma Z \\ \Sigma T & \Sigma T^2 & \Sigma TZ \\ \Sigma Z & \Sigma TZ & \Sigma TZ^2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma D \\ \Sigma DT \\ \Sigma DZ \end{bmatrix}$$

Se observa en esta ecuación que la expresión original se multiplicó separadamente por ca da una de las variables independientes T y Z respectivamente.

Esta ecuación se puede escribir sustituyendo el valor de la demanda por el logaritmo de la misma.

Las ecuaciones 3.6.9.12, emplean el tiempo como variable dependiente y tendrá como fun ción de minimización del error la siguiente:

$$\Sigma(T - \hat{T})^2$$

Donde:

T es el valor medido y

\hat{T} es el valor calculado del tiempo según la ecuación

El cambiar la variable independiente tiene por efecto minimizar la varianza en el año en el cual ocurre un pico de carga, midiendo la varianza en este caso a lo largo del eje

del tiempo, y las ecuaciones para determinar los coeficientes en forma matricial quedarán como se indica, tanto para la expresión $\ln \frac{D}{D_s}$ de se utiliza la expresión de la demanda D , como cuando se utiliza su logaritmo y dicha matriz será:

$$\begin{bmatrix} a & \Sigma D & \Sigma D^2 & \Sigma D^3 \\ \Sigma D & \Sigma D^2 & \Sigma D^3 & \Sigma D^4 \\ \Sigma D^2 & \Sigma D^3 & \Sigma D^4 & \Sigma D^5 \\ \Sigma D^3 & \Sigma D^4 & \Sigma D^5 & \Sigma D^6 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma T \\ \Sigma TD \\ \Sigma TD^2 \\ \Sigma TD^3 \end{bmatrix}$$

Cuando se fija un punto por donde pasará la curva es decir dando un nivel de saturación posible, los coeficientes para estas expresiones serán determinados por ejemplo: para la ecuación 1 se tiene:

$$b = \frac{\Sigma(D - D_s)(T - T_s)}{\Sigma(T - T_s)^2}$$

Como se ha especificado anteriormente el subíndice s representa los valores del punto especificado.

Se puede reemplazar D por su expresión logarítmica y se tendría:

$$b = \frac{\Sigma(\lg D - \lg D_s) (T - T_s)}{\Sigma(T - T_s)^2}$$

1.2.2. Método de Simulación

Denominado también método de multivariable y dicho término implica la relación entre un juego de variables, en la cual, conocidas unas, se podrán determinar las otras.

En un sistema de potencia, los datos utilizados para la proyección de la demanda pueden caer en esta categoría de clasificación, denominándolos:

- a. Datos de control
- b. Datos de demanda

Las relaciones entre cada grupo de datos, establece en el grupo de datos de control variables dependientes y variables independientes, y en los datos de demanda se tiene

también las dos clases de variables.

Las variables de demanda se operarán dando como resultado un juego de variables de control.

Este concepto es utilizado para desarrollar el algoritmo de proyección de la demanda usando un gran grupo de datos que pueden ser clasificados como:

- Variables de Demanda
- Variables de control

Entre las variables de demanda se pueden anotar:

- Demanda total
- Servicio general monofásico
- Servicio general trifásico
- Consumos residenciales monofásicos
- Consumos residenciales trifásicos
- Consumos comerciales monofásicos
- Consumos comerciales trifásicos

Y en las variables de control podemos contar:

- Número de abonados residenciales
- Número de abonados comerciales
- Clasificación de los abonados residenciales
- Clasificación de los abonados industriales

Estos datos se pueden escribir en forma de vector característico de cada pequeña área, así:

$$\left[\begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_s \\ X_{s+1} \\ \vdots \\ X_r \end{array} \right]_i = \left[\begin{array}{c} \text{Variables de la demanda} \\ \text{Variables de control} \end{array} \right]_i$$

Donde:

- i representa el número del área
- r es el número total de variables
- s es el número de variables de demanda
- $r-s$ es el número de variables de control

Se representa también a qué año corresponden los datos obtenidos con la siguiente notación:

$$X_i (T) = [X_i]^T = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} X_{1i}^T \\ X_{2i}^T \end{bmatrix}$$

Donde:

t especifica el año

Para pasar de las variables de control a las de demanda se puede utilizar transformaciones lineales de tal manera que

$$X_1 = A X_2$$

$$X_2 = A^{-1} X_1$$

En forma general debido a que se tienen varios períodos de tiempo se tendrán variables del siguiente tipo

$$X(t - 1, t - 2)$$

$$X(t, t-1)$$

Y un resultado de salida especificado por

Y que será la variable proyectada.

En forma general el esquema básico de proyección se muestra a continuación - en la figura N° 1.2.

Las ecuaciones que muestran la proyección serán

$$Y(t-1) = A_1 X(t-1, t-2)$$

$$E(t-1) = Y(t-1) - \hat{Y}(t-1)$$

$$\hat{Y}(t) = A_2 X(t, t-1) + B E(t-1)$$

La variable de salida $Y(t)$ se la obtiene como una relación lineal entre las variables de entrada y salida mas una modificación adicional basada en el error de proyección - que se obtiene también de relaciones lineales de los datos históricos del sistema.

A_1 y A_2 se determinan por las relaciones espaciales que existen entre las pequeñas - áreas.

B es el coeficiente de autoregresión y tiene

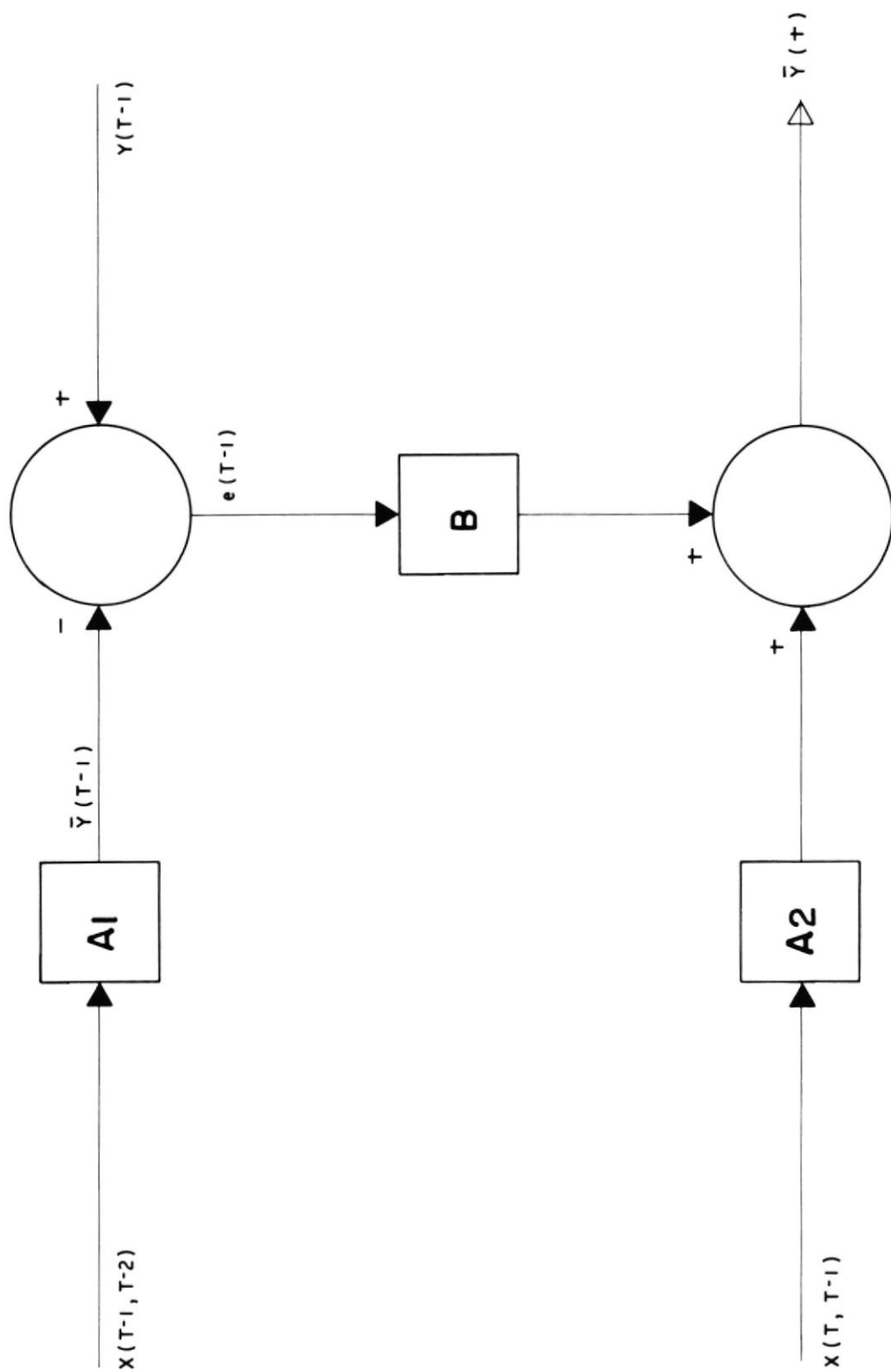


FIGURA N° 1.2. MODELO DEL PROCESO DE PROYECCION

valores entre - 1 y 1.

Para establecer las relaciones que fijen A_1 y A_2 se requiere que las variables de control sean estadísticamente independiente, pero sin embargo existe cierta relación entre dichas variables.

Pero se puede resolver este problema utilizando una técnica matemática que es la operación o representación de una matriz a través de sus eigenvalores y eigenvectores, dando lugar a la representación de A por:

$$A = R_{yx} R_{xx}^{-1}$$

Donde:

y y x indican las magnitudes normalizadas de las variables de entrada y salida de los datos de cada pequeña área.

R_{yx} es la matriz que se obtiene de la relación entre las variables de entrada y salida y R_{xx}^{-1} es la matriz que especifica la correlación de los datos de entrada.

El determinar A a través de sus eigenvalores y eigenvectores es un método de solución llamado Análisis de Componentes principales que además indica el número de relaciones en los datos.

Sustituyendo la matriz de correlación de variables por la forma dada por sus eigenvalores y eigenvectores, entonces A se determina como:

$$A = R_{yx} \Delta^{-1/2} \Phi^T$$

Donde:

Δ es una matriz diagonal de los eigenvalores de R_{yx} y Φ es la matriz de los eigenvectores correspondientes.

C A P I T U L O I I

METODOLOGIA DE AGRUPAMIENTO;

2.1. SELECCION DEL AREA

Para la aplicación del método de proyección por agrupamiento el área escogida debe cumplir ciertas condiciones tanto a nivel geográfico como de información estadística (datos históricos) en diferentes aspectos.

En el aspecto geográfico el método de agrupamiento - implica la división del área total en estudio en pequeñas subáreas y más exactamente en una cuadrícula, por lo tanto se debe cumplir con requerimientos físicos para tener subáreas con formas físicas lo más - cercanas a las cuadrículas, sin embargo más importante que su aspecto físico es en sí la magnitud del área de la cuadrícula en que fue dividida el área total.

A nivel de información estadística histórica se re quiere varios puntos así:

- a. Suficiente información de datos de demanda
- b. Clasificación de los abonados
- c. Consumos de cada abonado
- d. Factores socio-económicos
- e. Usos de la tierra

La suficiente información de datos de demanda.- Representa la base del estudio, es obtenida de las em presas de suministros de energía eléctrica, e im plica obtener el desarrollo del crecimiento de la demanda para el área en estudio.

Para ambos métodos analizados se requiere de un mí nimo de información de demanda la misma que puede ser cuantificada en cinco años para obtener buenos resultados en el método de tendencias y dos años pa ra el método de multivariables.

La clasificación de los abonados.- Se clasificarán de acuerdo al servicio y usos de energía eléctrica, así se tiene:

- a. Abonados Industriales

- b. Abonados Comerciales
- c. Abonados Residenciales
- d. Otros. ✓

La última clasificación encierra un conjunto de abonados como son las entidades gubernamentales, municipales, servicios publicos, etc.

De acuerdo al uso de la energía lo relacionamos con sus niveles de consumo y se pueden clasificar en:

- a. Consumos de nivel alto ✓
- b. Consumos de nivel medio ✓
- c. Consumos de nivel bajo ✓

Aplicando cada uno de estos niveles a la primera clasificación establecida.

El consumo de cada abonado.- Esta relacionado con la forma de consumo así tenemos:

- a. Consumos trifásicos
- b. Consumos monofásicos

Además se debe obtener los datos de los consumos picos, promedios y máximos durante el día. ✓



Estos datos formarán el conjunto de datos históricos que se utilizarán para establecer cual es el crecimiento de la demanda de la pequeña área.

Para determinar estos consumos en las pruebas iniciales de este método deben utilizarse instrumentos - que registren tanto el consumo como la demanda del abonado, guardando esta información y registrándola en períodos de tiempos muy cortos por ejemplo cada media hora para que después sea procesada.

Factores socio-económicos.- Entre ellos se puede - anotar por ejemplo el nivel de ingreso per cápita - de los usuarios, el nivel económico de la zona, grado de servicios que posee la zona, etc.

Usos de la tierra.- Los factores socio-económicos - están relacionados con el uso de la tierra, es decir la forma en como de acuerdo a sus ingresos se distribuyen por ejemplo los abonados residenciales en el área, las distribuciones de zonas comerciales, el área ocupada por industrias, los servicios institucionales, tierras destinadas a la agricultura, espacios naturales, áreas de distracción, etc.



2.2. DIVISION DEL AREA EN CUADRICULAS

El área total en estudio será dividida en cuadrículas, teniendo como punto de tope para el tamaño de las mismas las disponibilidades de datos o de información estadística.

Se asigna a cada elemento del área total dividida su propia información histórica estadística, y si la división se la hace siguiendo una cuadrícula - se asegurará que cada elemento tenga el mismo tamaño geográfico.

La división geográfica en la mayoría de los casos no se puede realizar como una cuadrícula perfecta, pero sin embargo debido al muestreo realizado podemos forzar a que dichos elementos se encuentren dentro de los elementos de la cuadrícula.

El tamaño del área varía teniendo como límites - las siguientes condiciones:

- a. Que el área sea lo suficiente pequeña que represente a los transformadores de distribución individualmente para un mejor estudio de las

cargas en la planificación.

- b. Que el tamaño del área sea grande de tal manera que se pueda representar el sistema como un gran número de transformadores de distribución por cada cuadrícula, dando como resultado niveles de errores elevados por perder información.

El tamaño de las áreas normalmente para estos estudios es:

- a. 1 milla cuadrada = 1 sección
- b. 1/2 milla cuadrada = 1/4 de sección
- c. 1/4 milla cuadrada = 1/8 de sección

El gráfico siguiente representa dicha distribución. Ver figura N^o 2.1.

Normalmente se llega a un compromiso entre el tamaño del área y el período de estudio, dependiendo dicho compromiso de la cantidad y calidad de información que se obtenga del área en estudio, además el principio básico de la división del área donde se encuentra el sistema de distribución estudiado es físico, llegando a limitarse el tamaño de

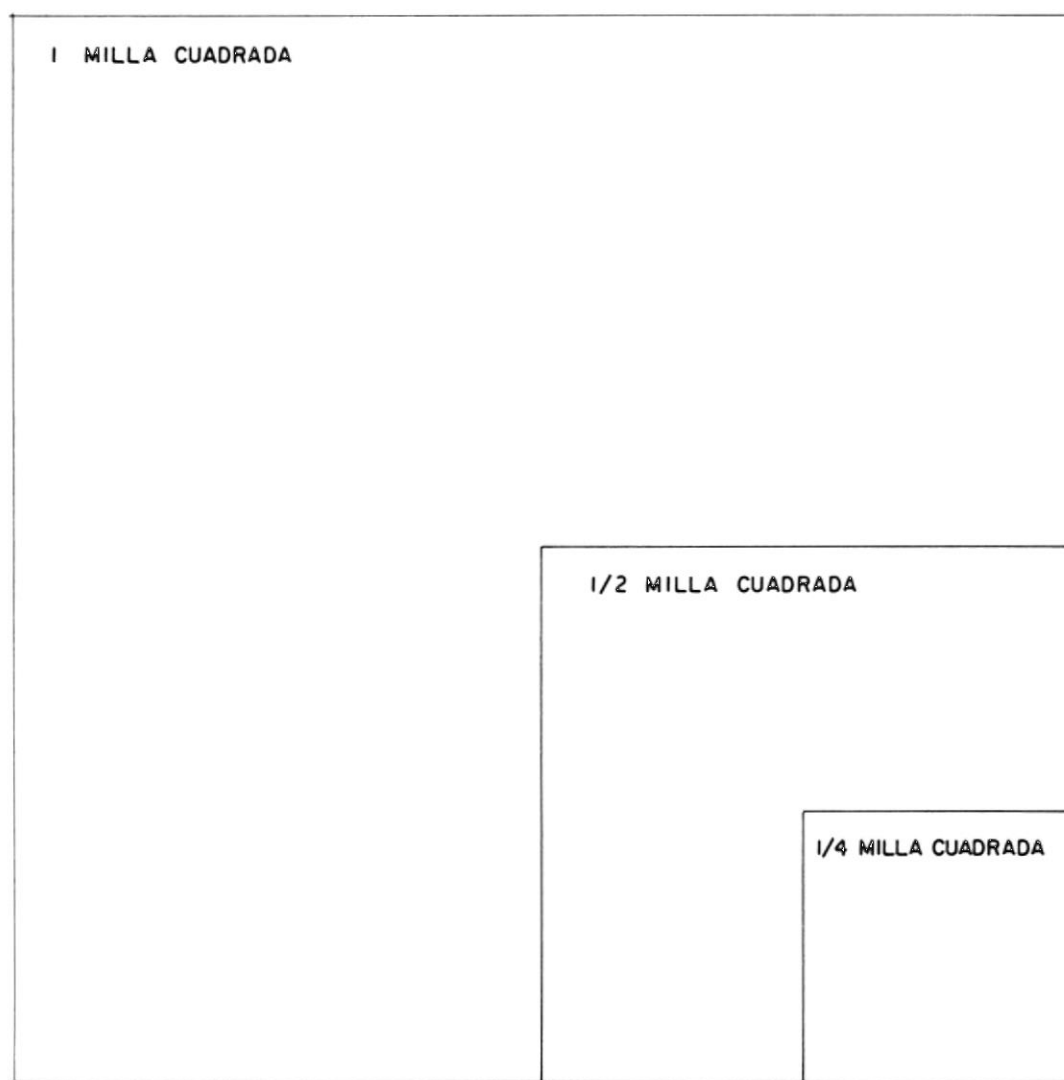


FIGURA N° 2.1. SUPERFICIES NORMALMENTE USADAS COMO AREA DE SERVICIO
EN LOS ELEMENTOS DE LA CUADRICULA

la división solo por la cantidad de información histórica de los datos de demanda y sus relacionados que se tengan del área.

Dependiendo de la densidad de carga del área podemos determinar las áreas de mayor demanda del sistema y permitirá reconocer si el nivel de saturación es alto o bajo.

Es importante señalar también que tanto en la selección del área, división y muestreo de los abonados se requiere diversidad de clases, pero en cada elemento de la cuadrícula se tratará y se observará que en elevado porcentaje la muestra presente condiciones socio-económicas similares, permitiendo esto comparar y agrupar elementos de la cuadrícula.

En lo referente al uso de la tierra como plan de desarrollo urbano no interviene en la selección del tamaño del área pero si en elevado grado en la clasificación de las mismas, ya que dichos planes determinan que clase de abonados se asentarán en el área, el posible nivel de consumo, y si dichos programas no se han realizado, pero se

tiene la certeza de que se ejecutarán, entonces darán importante información para el análisis por inferencias de áreas que se realizará para la clasificación de las mismas.

2.3. MUESTREO POR AGRUPAMIENTO

En el proceso de realización del muestreo se pueden diferenciar los siguientes aspectos:

- a. Determinación de la población y de la unidad muestral.
- b. Tamaño y selección de la muestra
- c. Tratamiento estadístico de los resultados del muestreo.

Para determinar la muestra es preciso determinar estadísticamente la población a la cual pertenece la muestra base del estudio.

Si los datos que se quieren obtener son relativos a cada abonado será preciso conocer el número aproximado al total de abonados donde se encuentren.

Dicho resultado hará posible muestrear la población es decir elegir los elementos que constituyen la muestra y estimar los valores de la población.

La forma de interpretación de un abonado muestreado será a través del coeficiente de elevación que se define de la siguiente manera:

$$c.e = \frac{\text{Número total de la población muestreada}}{\text{Tamaño de la muestra}}$$

La misma que se interpreta de la siguiente manera:

A qué cantidad de la población representa cada uno de los elementos muestreados.

El valor inverso del coeficiente de elevación se lo denominará Fracción del muestreo e indicará el porcentaje de la población que se muestrea y se lo determinará de la siguiente forma:

$$f.m. = \frac{1}{c.e} \times 100$$

Para obtener un estudio estadístico con elevados índices de representatividad es necesario que el tamaño de la muestra sea el adecuado, para ello -

existen varios métodos de cálculo del tamaño de la muestra y de la forma de como muestrearlo.

Consideremos una población de abonados eléctricos y de ellos observemos solo a un grupo, denominándolos al conjunto como "Grupo".

El muestreo por agrupamiento consiste en elegir - aleatoriamente un número de grupos tal que el número de elementos que pertenecen a ellos sea necesariamente y precisamente el tamaño de la muestra.

Como vamos a utilizar procedimientos aleatorios en la obtención de la muestra, se determinará cual es el tamaño necesario para que sea representativo de la población estudiada, utilizando para ello los siguientes conceptos:

- \bar{X} determinado como media aritmética
- σ determinado como variación standard

Con estos dos conceptos definamos la cuasi varianza V' donde:

$$V' = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 N_i}{N-1}$$

Donde la desviación standard de la muestra estará dada por:

$$\sigma(M) = \sqrt{\frac{(N_p - N)V'}{N_p N}}$$

Donde:

N es el tamaño de la muestra

N_p es el tamaño de la población

Asumiendo un error máximo permitido " K " oscilando dicho valor de " K " entre el siguiente intervalo.

$$Pr(\bar{X} - 2\sigma(M) \leq X \leq \bar{X} + 2\sigma(M))$$

y asumiendo que la muestra se encontrará más o menos entre la media poblacional y dos desviaciones standard, luego

$$2\sigma(M) = K$$

Donde:

Pr es la probabilidad de que el valor de la medición se encuentre en dicho intervalo, oscilando este entre:

$$0 < P_r < 1$$

Luego:

$$\sqrt{\frac{N_p - N V'}{N_p N}} = K$$

Donde K^2 será:

$$K^2 = \frac{4(N_p - N)V'}{N_p N}$$

Despejando N que es la incógnita o el tamaño de la muestra. Luego:

$$N_p N K^2 = 4(N_p V) - 4N V'$$

$$N = \frac{4N_p V'}{N_p K^2 + 4V'}$$

Rapidamente entonces, conocidos N_p , K , y V' se de terminará el tamaño de la muestra.

Previamente debemos resolver el valor de V' , para ello realizamos un muestreo de tamaño reducido - llamado muestreo piloto, acotando que debido a la experiencia se ha demostrado que la varianza es

muy estable dependiendo muy debilmente del tamaño de la muestra, y por esto se puede elegir libremente un tamaño de muestra piloto y estimar la cuasi varianza que será el valor que se utilizará para determinar el tamaño de la muestra.

Este tipo de muestreo presenta la ventaja evidente de disminuir proporcionalmente el tamaño de los grupos, el inconveniente presentado es que si los elementos muestreados presentan características co munes se afectaría el grado de representatividad de la muestra.

Este método es aconsejado para el estudio de la de manda porque dentro de cada área de servicio de un sistema de distribución se tiene una aleatoriedad en la clase de abonados que lo conforman.

El muestreo por agrupamiento abarca también el muestreo por etapas, es decir muestrear grupos dentro de cada grupo, hasta llegar a la unidad mues treal íntima que es el abonado.

Así si consideramos un elemento de la cuadrícula formado por un conjunto de cuadras, separadas por calles, entonces: se elige un determinado número

de calles dentro del elemento, constituyendo esto la primera etapa, luego se muestrean aleatoriamente las manzanas que pertenecen a estas calles seleccionadas, formando la segunda etapa, de las manzanas elegidas se selecciona aleatoriamente un grupo de ellas formando la tercera etapa y por último se muestrea aleatoriamente los abonados dentro de estas manzanas.

2.4. FORMACION DE LOS GRUPOS DE ACUERDO A SIMILARES - CRECIMIENTOS DE CARGA

Con la información estadística proveniente del muestreo, para cada pequeña área, se van formando un juego de datos, a los cuales se les aplica uno de los métodos de levantamiento seleccionados con el objetivo sólo de ver cual es la tendencia de la demanda en los años de información histórica que se tiene.

Con estos levantamientos realizados y con la numeración de los grupos formados por los elementos de la cuadrícula clasificados de acuerdo a similares crecimientos, se puede entonces detallar la información en los años subsiguientes al período de información histórica.

2.4.1. Curvas Patrones

Basados en las tres ecuaciones de proyección que expresan la relación de la demanda con el tiempo, siendo la primera la variable in dependiente o con el tiempo como variable in dependiente y la ecuación que relaciona el tiempo, la demanda y una nueva variable como fue explicada en 1.2.1., se puede obtener el conjunto de las doce ecuaciones desarrolladas.

Cada una de estas ecuaciones será aplicada a cada grupo de datos pertenecientes a los ele mentos de la cuadrícula y la que mejor coe ficiente de correlación presente será escogi da como la curva que represente el crec imiento histórico de la demanda del elemento de la cuadrícula.

Para determinar los coeficientes de las ecua ciones de levantamiento se utiliza el méto do de mínimos cuadrados como fue explicado en el Capítulo I.

Una vez fijada la curva que representa a ca

da elemento de la cuadrícula se procede a la formación de los grupos de acuerdo a similares crecimientos dando una numeración para cada grupo de curvas similares.

Las ecuaciones utilizadas se ven afectadas por el número de variables que pueden afectar la demanda pasando entonces a utilizar el método de multivariables con las mismas consideraciones explicadas para el método de tendencias.

2.4.2. Numeración de los Grupos

Para clasificar los elementos de la cuadrícula de acuerdo a su levantamiento fijamos cierta similitud entre sus curvas de crecimiento de demanda.

La primera clasificación se la realiza en base a las que mayor crecimiento de demanda presenten en el período histórico primero y las de menor crecimiento al final.

El objetivo fundamental de estas clasifica-

ciones es caracterizar al grupo formado por varios elementos de la cuadrícula por una sola curva que representará el promedio de las curvas de levantamiento histórico de los elementos de la cuadrícula.

La segunda y determinante clasificación de los elementos de la cuadrícula es a base de una definición de distancia que determina la similaridad del crecimiento de la demanda, y dicha distancia será:

$$D_{i,j} = \left\{ \left(\sum_{S=1}^{S=B} |L_j(s-p_j) - L_i(s-p_i)| + H(L_j(n)) - L_i(n) \right) \right\} / B+H$$

S número de años

L_j es el pico de carga para el año entre argumento para la celda j

L_i es el pico de carga para el año entre argumento para la celda i

B número de años en comun entre las celdas J e i

$L_j(h)$ nivel de carga estimada para la celda j en el año horizonte h

$L_i(h)$ nivel de carga estimada para la celda i en el año horizonte h

H período de proyección especificando el último año horizonte

P_j número de años excedente al periodo histórico de la celda j

P_i número de años excedente al periodo histórico de la celda i

Identificando la similitud en el crecimiento se formarán K grupos desde $K = 1$ a K , de tal manera de asignar a cada elemento de la cuadrícula a uno de los k grupos formados.

Los grupos formados en un número K estarán representados por una curva de crecimiento promedio de todos los elementos de la cuadrícula asignados a este grupo K .

Donde el valor pico de la carga para el grupo K en el año S está dado por:

$$L_k(s) = \left(\sum_{j=1}^j L_j(s-p_j) M(j,k) \right) / \sum_{j=1}^k M(j,K)$$

Donde:

$L_k(s)$ es el valor de la carga para el grupo k en el año s

$L_k(h)$ carga del año horizonte para el grupo k .

$M(j,k)$ 1 si la celda j es asignada al grupo k
0 si la celda j no es asignada al grupo k

En estos puntos las curvas de los grupos tiene un periodo de levantamiento que se establece de los datos históricos dando a la variable t un período de T años.

Los elementos de la cuadrícula que no han sido asignados a un grupo se los clasifica de la siguiente manera:

Los elementos de la cuadrícula que no posean datos históricos se les asignará un valor de carga por medio del análisis de inferencia de áreas vacantes, que consiste en asignar un valor de carga que se obtiene de la diferencia entre el valor del levantamiento total del área y el valor de la suma de los levantamientos individuales de cada elemento de la cuadrícula, dicha diferencia se asignará a los elementos de la cuadrícula que no posean datos históricos, si existen varios elementos de la

cuadrícula sin datos esta diferencia se repartirá en proporción al crecimiento de las zonas o cuadrículas vecinas.

Así, los elementos de la cuadrícula que posean datos históricos iguales a cero para todo el período T se los asigna al grupo 0.

Para aquellos que no llegan a completar el período de proyección, la clasificación se realizará bajo el mismo concepto de distancia.

$$D = \left(\sum_{s=A}^{S=C} |L_j(s-p) - L_k(s)| + |L_j(h) - L_k'(h)| \right) / C - A + 1$$

Donde:

A es el máximo valor entre 1 y p'

C es el mínimo entre Q_k y $T+p$

$C-A+1$ es el número de puntos de coincidencia

Q_k es el período T' para aquellos elementos cuya información histórica es menor que el período T considerado para las demás.

p'k' son seleccionadas desde el rango de pos

bles valores que minimizen el valor calculado D sobre todos los valores de $K=1$ a K haciendo de tal manera que:

$$P_j = p' \text{ y } K_j = K'$$

Si el período de coincidencia es mayor que $T/2$ el elemento de la cuadrícula se asigna al grupo k' haciendo que $k = k'$ y $p_j = p'$.

Cuando el período de coincidencia $C-A+1$ es menor que $T/2$ se vuelve a procesar la información con el objeto de asegurar que la asignación a los grupos es hecha al menos con la mitad de datos históricos, caso contrario se analizará la cuadrícula tratando de dar una justificación al crecimiento con la asunción de datos.

C A P I T U L O I I I

PROYECCION DE LA DEMANDA DE CARGA

3.1. PROYECCION DE LA DEMANDA DE LOS GRUPOS

Siguiendo la técnica de levantamiento señaladas para cada elemento de la cuadrícula se clasificará en grupos y a estos grupos caracterizados por una curva de levantamiento promedio es a los cuales la extrapolación o proyección será realizada.

Utilizando los mismos modelos de curvas anotados en el Capítulo I, se procede a realizar el levantamiento de cada grupo señalando el año horizonte con un máximo de cinco años, es decir

$t + 5$

a partir del último año histórico se proyecta cinco años hacia adelante, pero dicho período deberá ser

determinado en cada situación, pero con cinco años se obtiene buenos resultados por haberse observado errores menores.

Para la proyección por tendencias el método utilizado es de regresión simple, es decir una variable independiente y la otra dependiente, la forma de determinación de los coeficientes es a través del método de mínimos cuadrados como se explica en el Capítulo I.

Para el caso de la proyección utilizando multivariantes se tratará de estimar los parámetros de una función que se supondrá lineal entre la variable dependiente o endógena y las variables independientes o exógenas.

Los parámetros se estimarán de tal manera que se haga mínima la siguiente expresión:

$$D = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i - cz_i - \dots - fr_i)^2$$

Efectuando las derivadas parciales con respecto a los diferentes parámetros y se iguala la expresión a cero, y de acuerdo al número de variables se forman -



las ecuaciones necesarias para resolver el sistema.

En este caso de regresión por multivariantes el coeficiente de correlación múltiple debe calcularse de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R_{y,x,z,\dots,n}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{(y_i - a - bx_i - cz_i - \dots - fr_i)^2}{N}}{\sum \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N}}$$

Donde:

\bar{Y} es la media aritmética de la variable

El denominador de la expresión será la varianza de la variable y el numerador especifica la varianza residual.

El coeficiente de correlación múltiple debe ser corregido y dicha corrección se hará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R_{y,x,z,\dots,n}^2 = 1 - (1 - R_{y,x,z,\dots,n}^2) \frac{N-1}{N-H}$$

Donde:



N será el número de observaciones realizadas y
 H será el número de variables en estudio

3.1.1. Consideraciones de error en la proyección

Definiendo el error como el valor de la proyección menos el valor calculado de la demanda es decir:

$$E = D - \hat{D}$$

Donde:

D valor medido de la demanda

\hat{D} valor calculado de la demanda

Y de pruebas realizadas con el método de agrupamiento se han obtenido buenos resultados - cuando el período de proyección resulta estar comprendido en un rango de cinco años y dichos valores que evalúan la efectividad del método tienen como regla de medición el porcentaje de error que se presenta en la proyección.

Se puede comprobar que mediante este método de

muestreo por agrupamiento el error se incrementa linealmente con relación al incremento del número de años de la proyección.

La función de error frecuentemente presentada como una función de distribución Gaussiana está definida de la siguiente manera:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-1/2\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2}$$

Donde:

$F(x)$ representa la frecuencia de ocurrencia del evento x

\bar{x} es la media aritmética y

σ es la desviación standard en la distribución.

Dicha función $F(x)$ puede ser interpretada de dos maneras así:

- a. Como un resultado que puede ser derivado matemáticamente de consideraciones elementales.

b. Como una fórmula empírica que da errores que ocurren en el evento x y que determina la magnitud del mismo.

Desde un punto de vista teórico podemos asumir que un error aleatorio se puede pensar - como el resultado de un gran número de errores elementales, todos de igual magnitud y que pueden ser positivos o negativos.

Dicha función de Gauss puede relacionarse en su forma límite con una distribución binomial, en la cual el número de eventos independientes es muy largo con la probabilidad de que suceda un evento de acuerdo a su característica positiva o negativa igual a $1/2$.

La distribución de Gauss es utilizada por varias razones, así por ejemplo justifica el hecho de que los errores son aleatorios y además justifica la probabilidad de que una medida caiga dentro de los límites específicos, dando interés muy particular a que dicha medición caiga dentro de un valor especificado múltiplo de la desviación estándar -

el valor medio calculado, y la probabilidad de que dicha medición caiga dentro de esos límites especificado por:

$\bar{x} - \sigma$ como límite inferior

$\bar{x} + \sigma$ como límite superior

es:

$$P = \int_{\bar{y} - \sigma}^{\bar{x} + \sigma} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma^2} dx$$

Haciendo el cambio de la variable t por $(x-\bar{x})/\sigma$ se tiene:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-1}^{+1} e^{-t^2/2} dt$$

y en general la probabilidad de que una medida caiga dentro de un intervalo $T\sigma$ de la media es:

$$P(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-T}^{T} e^{-t^2/2} dt$$

Así por ejemplo la probabilidad de que una medición caiga de la media tres desviaciones standard será 0.997

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

Donde:

n es el número de datos para la curva dada.
 x el valor correspondiente a cada una de las observaciones.

Desgraciadamente cuando se calcula la desviación standard de esta manera la presencia de pocos puntos con valores grandes en la diferencia $(x - \bar{x})$ afectarán en forma significativa al valor de σ y el efecto es que la distribución normal resultante basada sobre los valores de \bar{x} y σ no reflejará el conjunto de datos colectados.

Se recomienda que la desviación standard sea evaluada basados en la característica de la distribución normal, lo cual indicará que el

68.3% de todos los puntos caerán en la re
gión de:

$$\bar{x} \pm \sigma$$

del valor de la media.

Para remover los efectos de errores extremos se desechan todos los puntos en distancias mayores a la media e igual a:

$$\bar{x} \pm 3\sigma$$

Se define también el error absoluto de tal manera que:

$$E_a = D_i - \bar{D}$$

donde:

D_i es la demanda actual

\bar{D} es la demanda media calculada

El error relativo será:

$$E_r = D_b - \bar{D}$$

Donde:

D_b es la demanda calculada en la proyección.

3.1.2. Incertidumbre de la proyección

El término incertidumbre nos define la condición aceptable de desviación de los resultados medidos comparados con los calculados, y dicha condición de aceptación se evidencia en la media más - menos un múltiplo de la desviación standard interpretando que "se espera con un nivel de incertidumbre de:

$$x \pm K\sigma$$

que los resultados medidos se encuentren en dicho rango.

Previamente definiendo y determinando el valor de la media y la desviación standard de la siguiente manera:

\bar{x} es la media aritmética

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N}$$

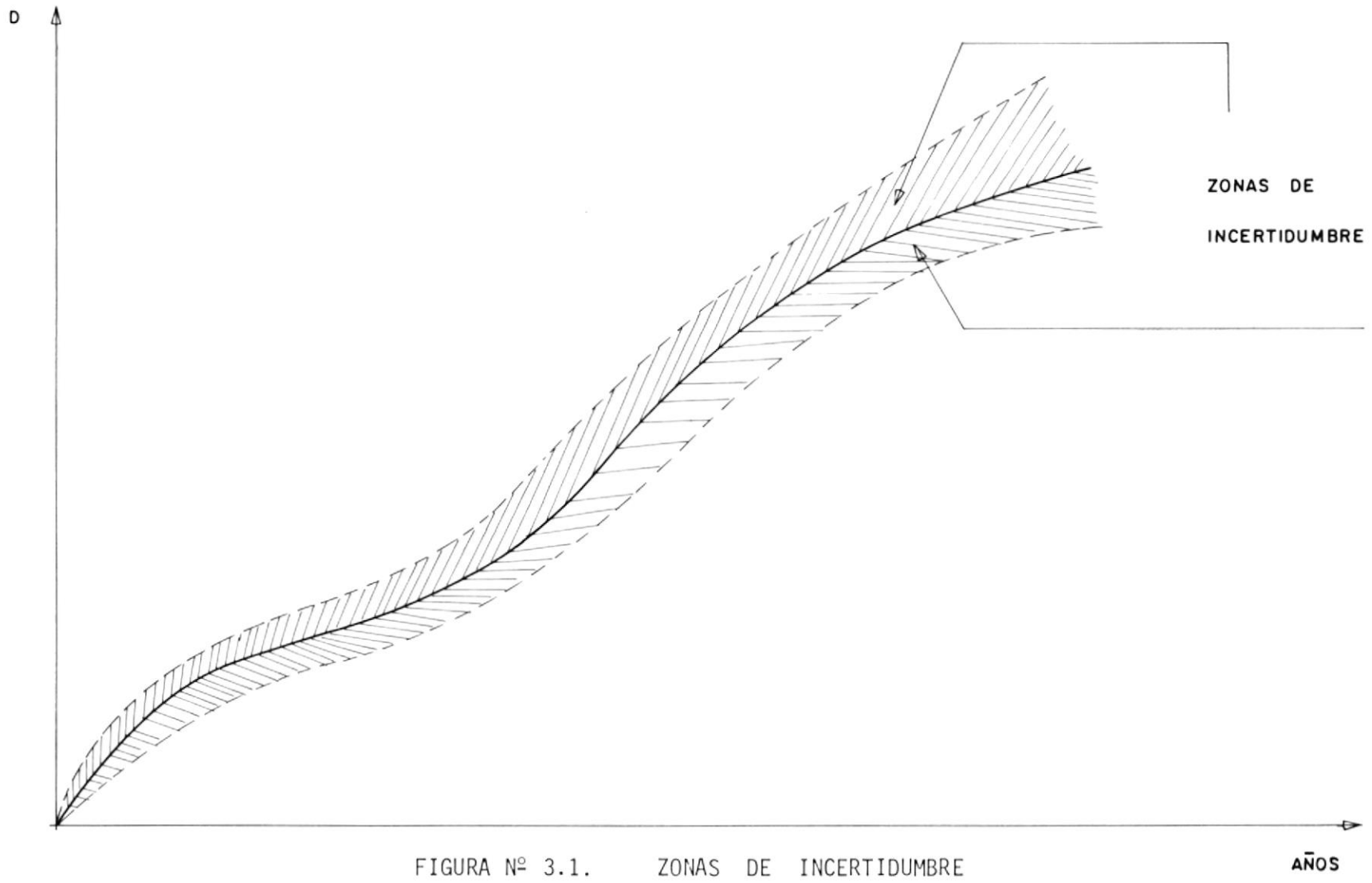


FIGURA Nº 3.1. ZONAS DE INCERTIDUMBRE

AÑOS

x_1 es la sumatoria de todos los datos de demanda

N es el número total de datos

σ es la desviación standard y será calculada de acuerdo a:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - x)^2}{N - 1}}$$

El valor k es un múltiplo entero escogido, de tal manera que los límites calculados siempre contengan la mayor cantidad de la población, pero sin embargo en un intervalo se puede tener la certeza de encontrar la demanda para un año específico con un valor de probabilidad igual a uno.

Dependiendo de las condiciones en que se determinaron los datos, se realizó el muestreo y se seleccionaron los grupos, la incertidumbre de encontrar la demanda aumenta considerablemente tal como lo muestra la gráfica 3. . a medida de alejarnos de los datos históricos.

3.2. PROYECCION DE LA DEMANDA DEL AREA TOTAL

Obtenida la proyección de la demanda especificada en

3.1., dando como resultado una curva de demanda promedio como característica del grupo, y con estas curvas se obtendrá la demanda total del área como la suma de la demanda de cada uno de los grupos.

Sin embargo, es necesario realizar un ajuste a la proyección individual de los grupos para especificar la demanda del área total.

Cuando la proyección ha sido realizada para cada grupo los picos de demanda no ocurrirán simultáneamente y es necesario recurrir al concepto de demanda diversificada la cual involucra el hecho de determinar los factores de diversidad, de la siguiente manera:

$$f.d = \frac{\text{Pico de demanda de cada grupo}}{\text{Contribución relativa al pico total de demanda del sistema.}}$$

Cada proyección individual es multiplicada por el factor de diversidad anterior antes de la suma realizada de las demandas de los grupos para determinar la demanda total.

La proyección así obtenida será ajustada de acuerdo a las siguientes indicaciones:

Se ajusta la demanda en forma proporcional al nivel de demanda del grupo de acuerdo a la siguiente expresión:

$$A_{i,t} = \frac{D_{i,t} D_{ACTi}}{f.d_i D_{i,t}}$$

Donde:

$D_{i,t}$ es la proyección de la demanda para el grupo i , en el año t .

$A_{i,t}$ es la proyección de la demanda ajustada para el grupo i , en el año t .

D_{ACTi} es la demanda específica para el grupo i , en el año t .

$f.d_i$ es el factor de la demanda diversificada para el grupo i

Luego se calcula la sumatoria de las demandas ajustadas de todos los grupos.

El resultado de la aplicación de esta ecuación año a año para los grupos dará la demanda total, la cual será presentada en compañía de los valores de incertidumbre que se determine con su media y desviación standard.

C A P I T U L O I V

ANALISIS DE LOS FACTORES QUE INCIDEN EN LA PROYECCION

4.1. TASAS DE CRECIMIENTO

Debido a las condiciones en que se presente - la curva de la demanda, es decir como función es continua y si es estudiada a intervalos de tiempos iguales, se puede entonces evaluar la tasa de crecimiento como el promedio de las tasas de los intervalos, tal como lo muestra la figura N° 4.1.

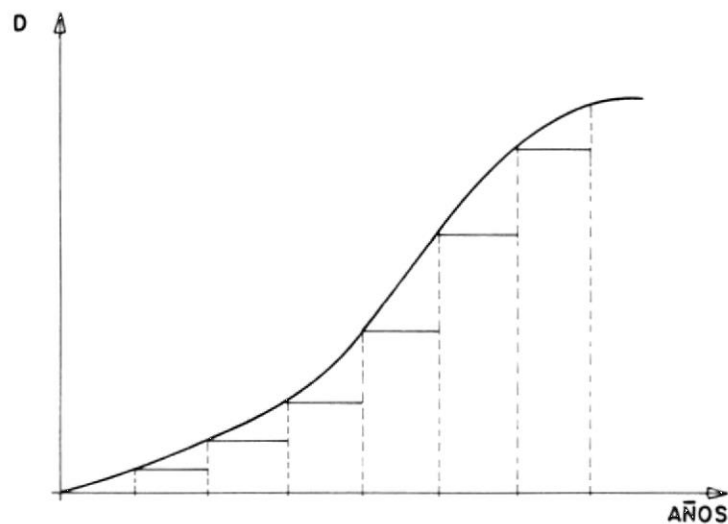


FIGURA N° 4.1. INTERVALOS DE CRECIMIENTO

Para cada intervalo existirá una tasa de crecimiento determinada por:

$$P_n = P_{n-1} (1 + r)^n$$

determinando la tasa entre P_0, P_1, P_2, \dots por el despeje de la ecuación anterior

$$r = \sqrt[n]{\frac{P_n}{P_{n-1}}} - 1$$

Luego la tasa promedio será:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N}$$

Donde:

r_i es la tasa por intervalos

Para el cálculo de dicho valor intervienen los valores históricos como los proyectados.

La tasa de crecimiento indicará la razón de crecimiento de la demanda para cada grupo formado por los elementos de la cuadrícula, y cada uno de ellos se someterán al valor de crecimiento estipulado.

4.2. NIVELES DE SATURACION

En base a la información proporcionada por los centros de estudio estadísticos referentes al desarrollo poblacional, económico, social del sector en estudio; y a la forma como se determinan y justifican los crecimientos se fijarán para el área eléctrica también los posibles niveles máximos de consumo de los sectores basados en las siguientes consideraciones:

- a. Análisis del sistema de distribución instalado
- b. Facilidades de ampliación y crecimiento del sistema
- c. Determinación de la clase de abonados y forma de utilización del área.
- d. La existencia o no de área útil de expansión.

Justificando cada uno de los puntos tenemos:

- a. Análisis del sistema de distribución instalado: Justifica el nivel de saturación en base a las condiciones de servicio de sistema de transmisión de energía.
- b. Facibilidades de ampliación del sistema: si el sistema fue diseñado lo suficientemente flexible como para soportar expansiones futuras, analizando tan

to condiciones técnicas como geográficas.

- c. Determinación de la clase de abonados y forma de utilización del área: Es el factor más importante indicativo del nivel de saturación por tener dependencia directa, es decir a mayor número de abonados se incrementa el nivel de consumo alcanzando más rápidamente el nivel de saturación de la zona, lo cual también justifica el máximo posible de energía que pueda ser requerida por el área donde se encuentra la clase de abonados estudiada.

Si la demanda se proyecta de acuerdo a los datos históricos para zonas con tasas de crecimientos elevadas obligará a fijar un punto de demanda en el año horizonte con el objetivo de hacer tender a la curva hacia ese punto, el cual fija el nivel de saturación posible para dicha pequeña área, esta consideración se la realiza en base a condiciones observables tanto físicas como técnicas y con un claro concepto del planificador.

- d. La existencia o no de área útil: entendiéndose por este término la disponibilidad de espacio fí

sico para un mayor asentamiento de abonados sin especificar sus clases, si dentro del área estudiada no existe espacio útil se fijará como tope de saturación el valor de la demanda del último año más cierto valor de crecimiento, pero con una tasa de crecimiento muy reducida.

4.3. AREAS DE CRECIMIENTO LENTO

Al realizar el levantamiento de los datos históricos y posteriormente la proyección, se determinará el grupo de menor tasa de crecimiento, denominando a cada una de las áreas que lo conforman como áreas de crecimiento lento, involucrando en dicha denominación los siguientes aspectos:

- a. Bajo crecimiento de la demanda
- b. Baja expansión de los abonados

La baja expansión de los abonados involucra efectos distintos de acuerdo a la zona, así por ejemplo si la zona es residencial el efecto se presenta en las condiciones económicas siempre y cuando el área esté ocupada en su totalidad, de lo contrario se puede tener un pobre asentamiento de abonados pero con un consumo significativo para el reducido número de ellos.

En las áreas tanto industriales como comerciales el desarrollo se presentará por lo regular con ta sas de crecimiento bajas, pero un poco más acentua das para zonas exclusivamente comerciales.

Las curvas representativas de estas áreas presentarán muy poca pendiente dando a suponer una tendencia hacia la saturación como lo muestra la figura N°4.2.

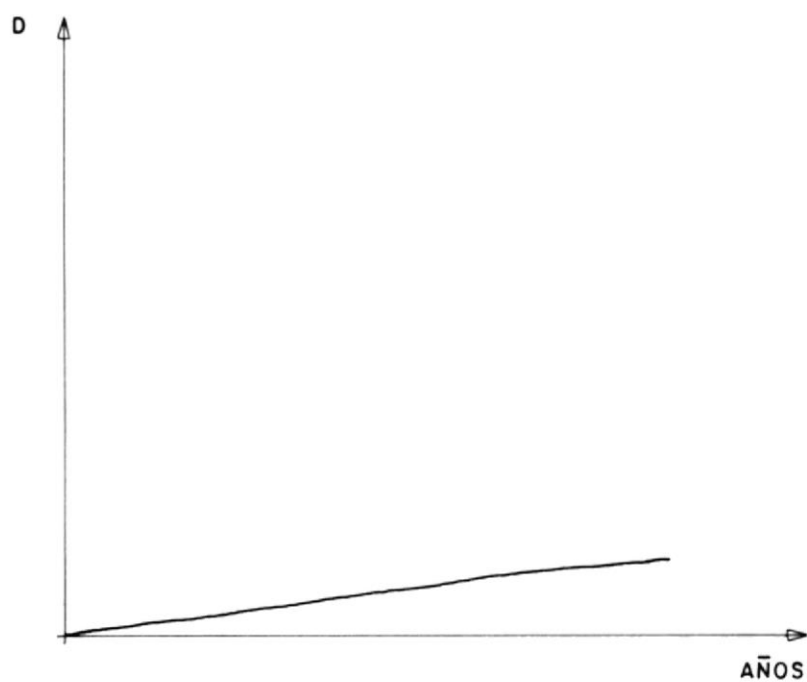


FIGURA N° 4.2 . CURVAS DE CRECIMIENTO LENTO

Como se muestra claramente estas curvas tendrán un crecimiento muy suave en sus comienzos, para luego tender hacia una posible asíntota, pero siempre con cierta tasa de crecimiento.

4.4. AREAS DE CRECIMIENTO RAPIDO

Bajo la misma definición anterior, dichas áreas quedan determinadas por el valor de la tasa de crecimiento, observando un rápido desarrollo del consumo de energía tanto en el levantamiento histórico como en la proyección de los mismos como lo muestra la siguiente figura N° 4.3 .

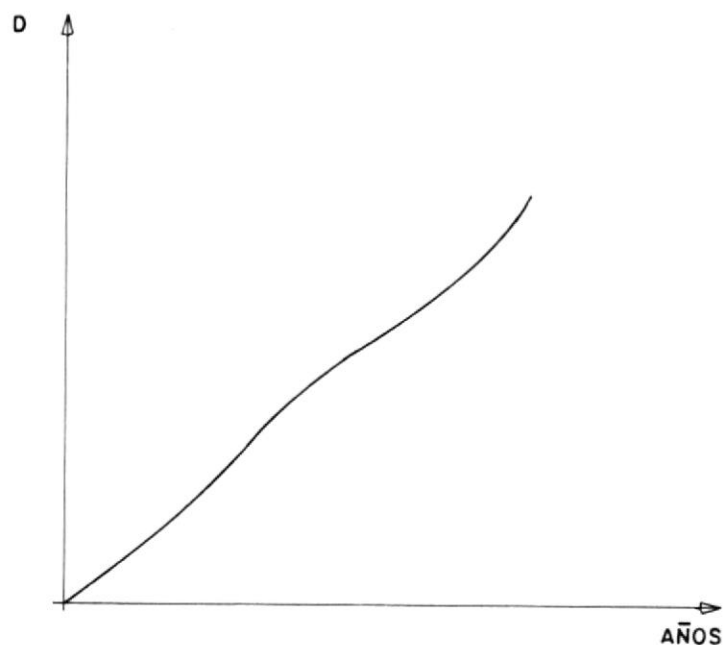


FIGURA N° 4.3. CURVA DE CRECIMIENTO RAPIDO

Se puede observar que un rápido crecimiento dará como resultados niveles elevados de consumo y que en el momento de proyectarlos pueden introducir errores al mostrar valores de demanda en rangos muy elevados y no alcanzables realmente como requerimientos del área.

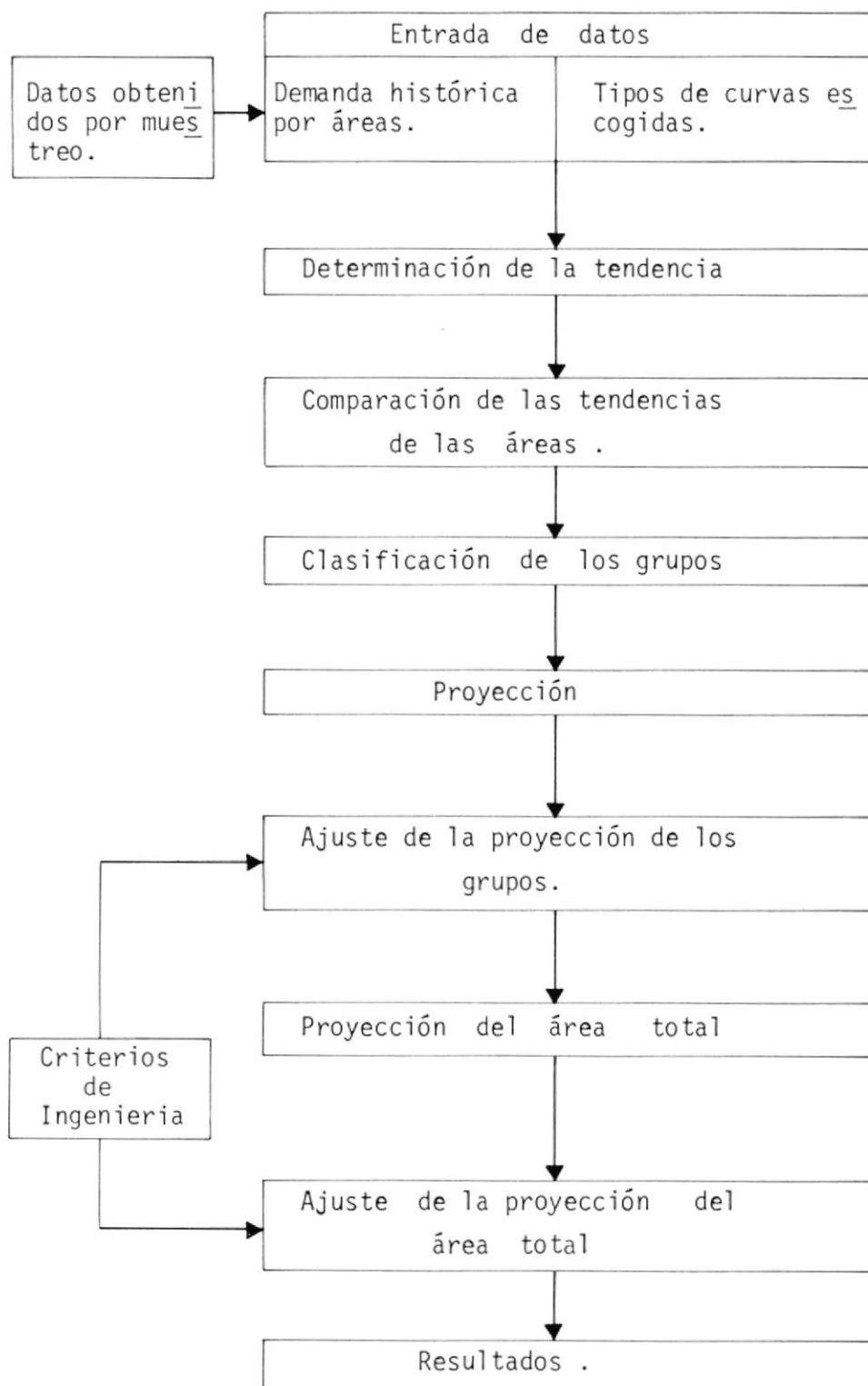
Para proyectar dichas áreas, es necesario fijar un punto de demanda para un año horizonte, tratando de que la curva de proyección tienda a pasar por él, con lo que se fijaría un punto de saturación, justificada de acuerdo a las consideraciones expresas en el punto 4.2.

4.5. AREAS DE NO CRECIMIENTO

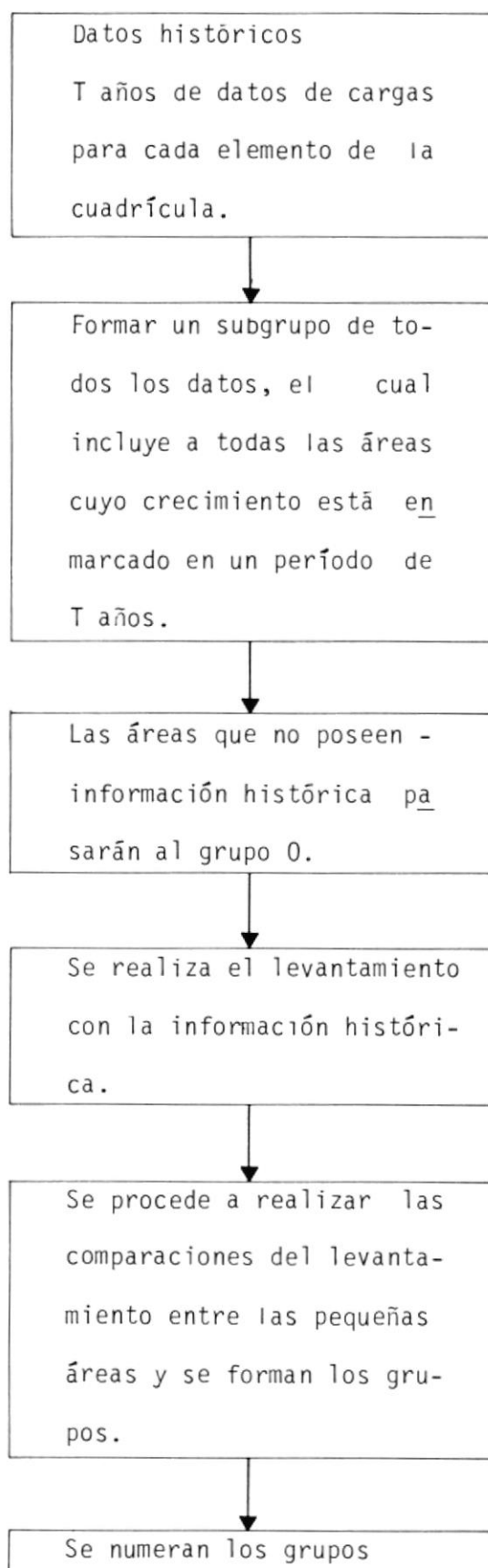
Como se lo expresa en el punto 2.4.2., al hablar de áreas que no poseían información histórica, que la proyección se la realizaba en base al método de inferencia de áreas el mismo que asignaba a dichas áreas cierto nivel de demanda, obteniendo dicho valor ya sea por comparación con las áreas vecinas o por diferencia en la proyección, es decir al proyectar por pequeñas áreas; y si estas se agrupan

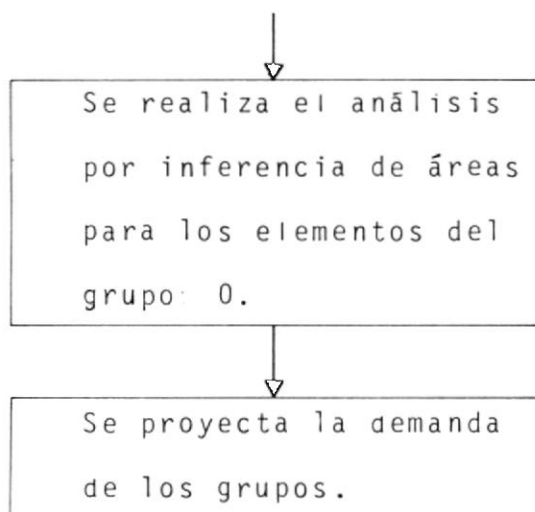
• realizando también la proyección del grupo se obtiene un valor de demanda que difiere de la demanda calculada como la suma de la demanda de las áreas pequeñas y es esta diferencia justamente la que se le asigna a las áreas sin información histórica, como observamos en este tipo de áreas pueden estar incluidas zonas o espacios verdes de la zona, parques, lagos, áreas de distracción como campos deportivos, escenarios públicos, etc., dando a todas ellas una separación del modelo de proyección, porque si consideramos que el rango aceptable de proyección abarca cinco años no se podría considerar en dichas zonas un consumo de energía en crecimiento sino en forma estable, dando valores de tasas de crecimiento con valores muy próximos a cero o nulos por completos.

4.6. ESQUEMAS GENERALES

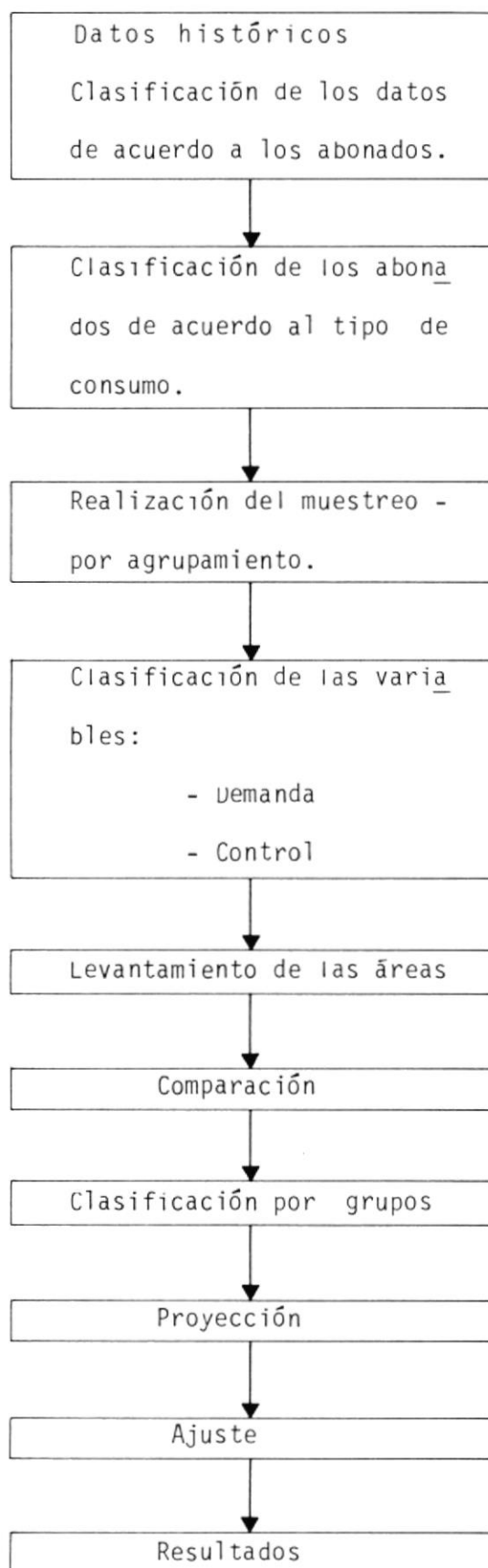


PROCESO DE AGRUPAMIENTO





PROCESO DE MULTIVARIABLE



EJEMPLO

Supongamos un área de una extensión de X millas cuadradas en la cual se tiene la siguiente población de abonados

Abonados	Cantidad
Industriales	20
Comerciales	38
Residenciales	126
Gubernamentales	2
Servicios-Públicos	1

Para determinar el tamaño de la muestra a seleccionar de la población debemos calcular la covarianza y para ello se debe realizar una muestra piloto así:

Abonados	Cantidad	Demanda Total
Industriales	3	10D
Comerciales	10	3D
Residenciales	29	D
TOTAL :	42	14D

Asumiendo D como un valor de referencia de la demanda sabemos que:

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i N_i}{N}$$

Donde:

\bar{x} media aritmética
 N número total de abonados
 X demanda por abonado

Luego:

$$\bar{x} = 2.1190$$

Calculando el factor de $(X_i - \bar{x})^2$ se tiene

Abonados	$(X_i - \bar{x})^2$	$(X_i - \bar{x})^2 N_i$
8	62.110 D ²	469.88 D ²
10	0.7762 D ²	7.76 D ²
29	1.2522 D ²	36.31 D ²

Ahora:

$$V' = \frac{\sum (X_i - \bar{x})^2 n_i}{N-1}$$

$$V' = 10.94$$

Considerando un error aceptable de la muestra de un 5 % luego:

$$k = 0.95$$

el tamaño de la muestra será:

$$N_a = \frac{4 N_p V'}{N_p K^2 + 4 V'}$$

$$N_a = 39$$

N_a tamaño de la muestra
 N_p total de la población
 V' covarianza

Calculando el coeficiente de elevación

$$c.e = \frac{\text{total de población}}{\text{Muestra}}$$

$$c.e = \frac{188}{39}$$

$$c.e. = 4.82$$

La fracción del muestreo será:

$$F.m = \frac{1}{c.e}$$

$$F.m = 21 \%$$

Los requerimientos para la división física del área en sus cuadrículas están basadas en:

1. Tener suficiente información estadística
2. Presentar buenas condiciones geográficas para la división.
3. Los abonados están divididos aleatoriamente en toda el área.
4. Poder dividir el área y obtener elementos de la cuadrícula con similares características socio-económicas.
5. Poder separar las cuadrículas de acuerdo al nivel de consumo.

Se realiza la división, de tal manera que en cada elemento de la cuadrícula se calcule el número de la muestra que sumados todos ellos será igual al tamaño

de la muestra total determinado anteriormente

	1	2	3	4	5
1	o	o	o	o	o
2	o o	o o	o o	o o	o
3	o	o o	o o	o o	o o
4	o o	o o	o o	o o	o o
5	o	o	o o	o	o

FIGURA N° 4.4. MUESTREO DE LOS ELEMENTOS DE LA CUADRICULA

En el gráfico anterior cada punto significará un abonado muestreado y relacionado con él supondremos toda la información necesaria requerida para aplicar uno de los métodos de proyección, es decir tendencias o multivariables.

Luego se realiza el levantamiento de los abonados muestreados en la cuadrícula con el objeto de obtener la curva total que representa dicho elemento.

Una vez realizados los levantamientos los cuales dan curvas con resultados hasta el último año histórico, se procede a agrupar aquellas que tienen

similitud en su crecimiento.

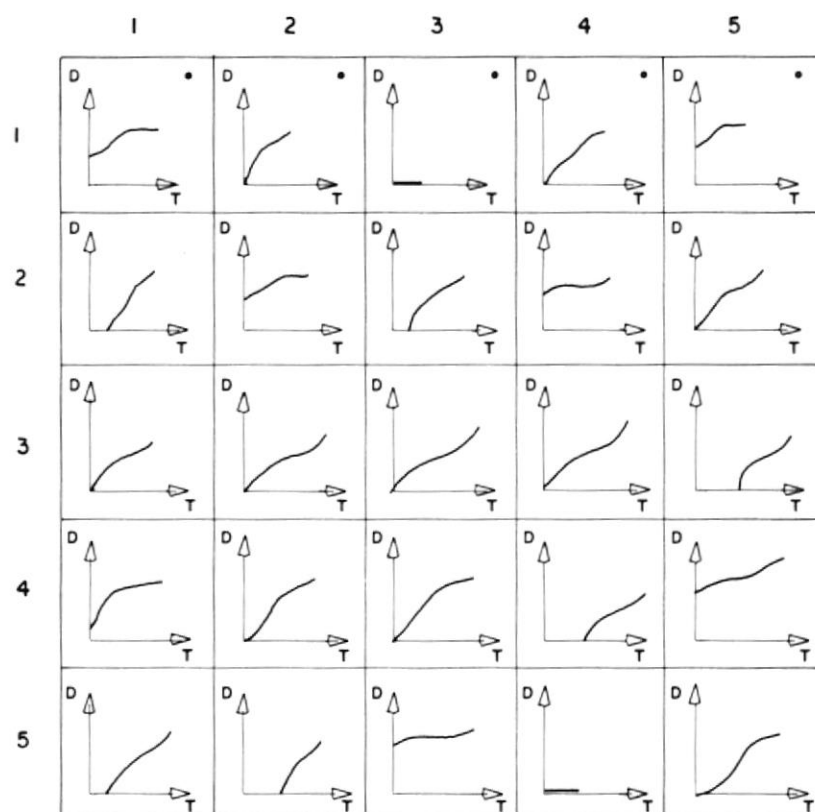


FIGURA N°4.5. CURVAS DE LEVANTAMIENTO DE CADA CUADRICULA

la agrupación se realizará utilizando el concepto de distancia definido de la siguiente manera:

$$D_{i,j} = \frac{B}{\sum_{i=1}^B} \{ |L_j(s-p_j) - L_i(s-p_i)| + H(L_j(h)) \} / (B+H)$$

cuya nomenclatura está descrita en el punto 2.4.2, realizando una comparación punto a punto entre dos curvas, y si son similares dichos resultados serán muy próximos a cero, este procedimiento se realiza entre todas las celdas.

Concluida la comparación para este ejemplo y suponiendo que se han formado seis grupos - que contienen elementos cuyo crecimiento es similar y agrupados de la siguiente manera:

El grupo 1 formado por las celdas (1,1); (1,5) ;
(2,2); (5,3).

El grupo 2 formado por las celdas (1,2); (1,4) ;
(2,1); (2,3); (5,1).

El grupo 3 formado por las celdas (2,5); (3,1) ;
(3,2); (3,3); (3,4); (4,2); (4,3); -
(5,5).

El grupo 4 formado por las celdas (2,4); (4,1) ;
(4,5).

El grupo 5 formado por las celdas (3,5); (4,4) ;
(5,2).

El grupo 0 formado por las celdas (1,3); (5,4).

Formados los grupos obtenemos la curva de proyección promedio de las celdas que lo forman así:

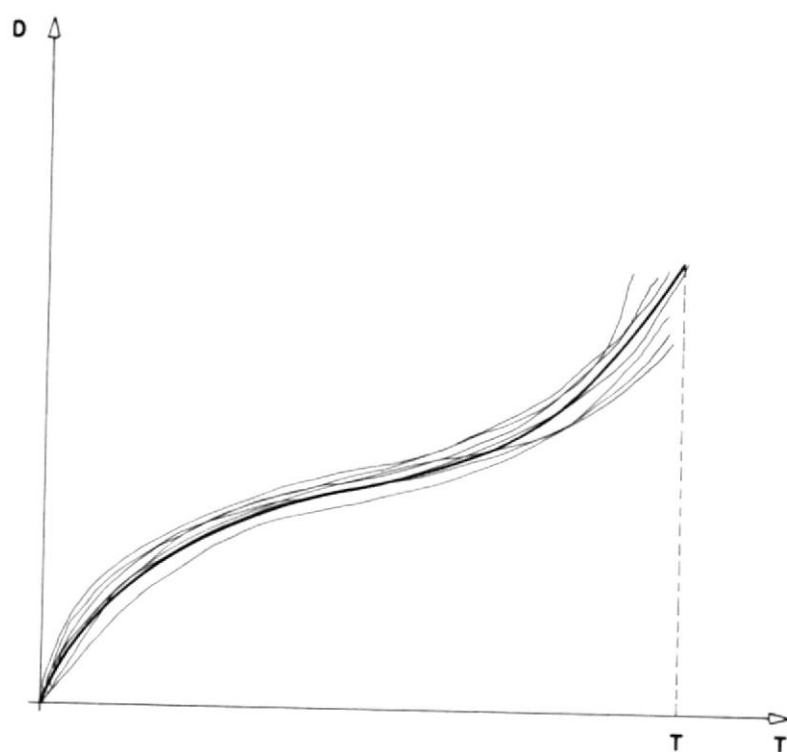


FIGURA N° 4.6. CURVA PROMEDIO DE LOS GRUPOS

El gráfico de esta figura indica la forma de representación de la curva promedio obtenidas para un grupo.

Una vez terminada la agrupación y representa-

ción del grupo por la curva correspondiente , analizamos aquellas celdas que fueron agrupadas por no tener información histórica así:

Aquellas celdas agrupadas en el grupo 0 se las tratará bajo el análisis de inferencia de áreas, pero se debe observar que:

- a. Si la celda posee una demanda pero no hay información.
- b. Si la celda es una zona de recreación.
- c. Si la celda es zona no utilizada hasta futuros planes.

Caso a: La celda posee una demanda pero no hay información . Se analizará las condiciones de los abonados en la misma, se comparará con las celdas vecinas, y de acuerdo a esto - asignamos una demanda de la siguiente manera:

Se agrupa a los vecinos y se calcula la demanda total de los abonados que conforman dichas celdas , luego se proyecta esta demanda calculada.



Con las curvas de las celdas vecinas calculamos - cual será la demanda total de todas ellas, con lo que se obtendrá dos gráficas así:

- i. La primera obtenida como el levantamiento de la suma de las demandas de los abonados de las celdas; y,
- ii. La segunda originada por la suma de la demanda obtenida por los levantamientos de cada celda.

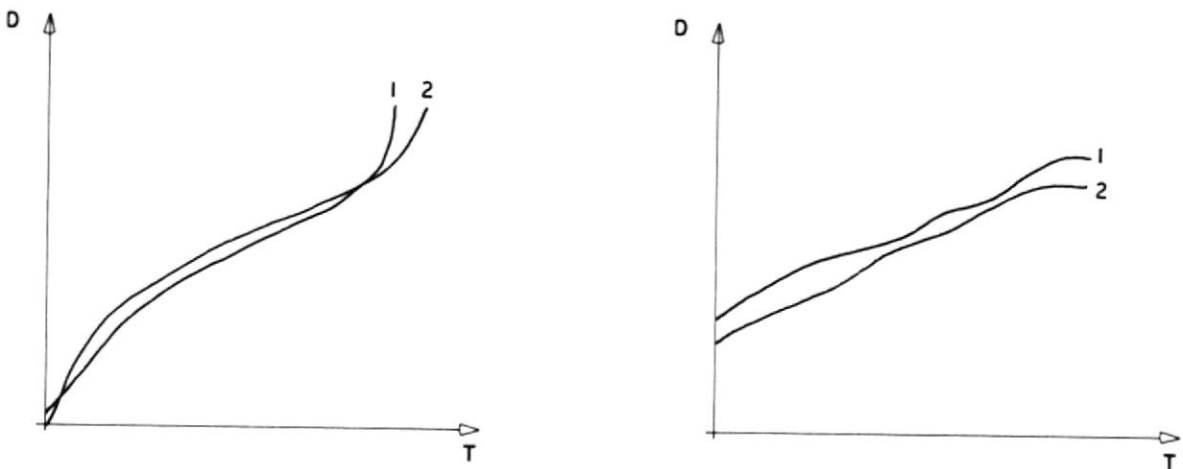


FIGURA Nº 4.7. CURVA DE SUMA DE DEMANDA

1. Levantamiento de la suma de las demandas 2. Suma de levantamiento de la demanda.
Para área 1.3. Para área 5.4.

Los gráficos muestran las dos curvas para cada celda agrupadas en el grupo 0, se observa la diferencia de valores en las dos curvas; y es justo



tamente esta diferencia la que se le asigna a la celda sin datos con el objeto de proyectarios y obtener su presunta demanda para el año horizonte.

Queda a consideración del planificador asignar un valor base de demanda de acuerdo al tipo de abonados y condiciones socio-económicas de la celda sin datos.

Caso b: La celda es una zona de recreación. No habrá la necesidad de realizar una comparación entre celdas vecinas y bastará asumir pequeños - pero justificados valores de demanda para obtener la proyección de la misma.

Caso c: La celda es un terreno vacío. La comparación como el caso a) podrá realizarse pero con las justificaciones de los planes de desarrollo urbano entregados por las entidades públicas las cuales deberán justificar también la posible demanda de energía en el momento de ingreso de las obras programadas.

Para el estudio de dichas celdas para un me

El análisis deberá ser apartado de la proyección del conjunto de los demás grupos.

Una vez formados los grupos, numerados y asignadas las demandas para aquellos que no la posean se procede a realizar la proyección para el año horizonte. De tal manera que se presenten curvas como la mostrada en la siguiente figura:

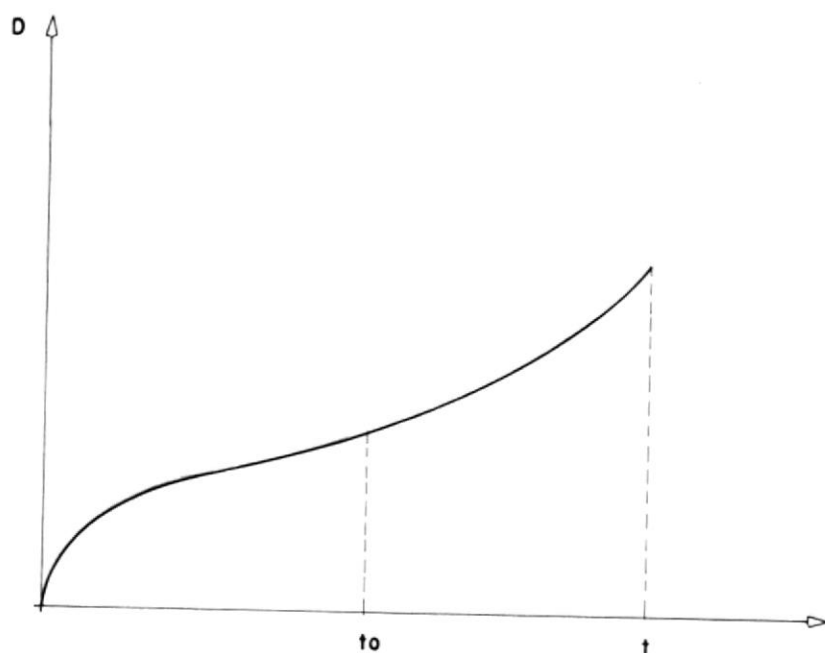


FIGURA Nº 4.8. CURVA DE PROYECCION DE LA DEMANDA

t_0 último año histórico

t año horizonte

Nuevamente para realizar la proyección recurriremos a las ecuaciones de proyección descritas

en el Capítulo I.

Si los grupos estudiados representan zonas que bajo las condiciones descritas en el punto 4.2., determinaban la saturación, entonces se podrán utilizar las ecuaciones que especifican un nivel de saturación como las mostradas en el punto 1.2.1., de tal manera que también bajo el criterio del planificador se fije dicho punto de saturación como lo muestra la figura.

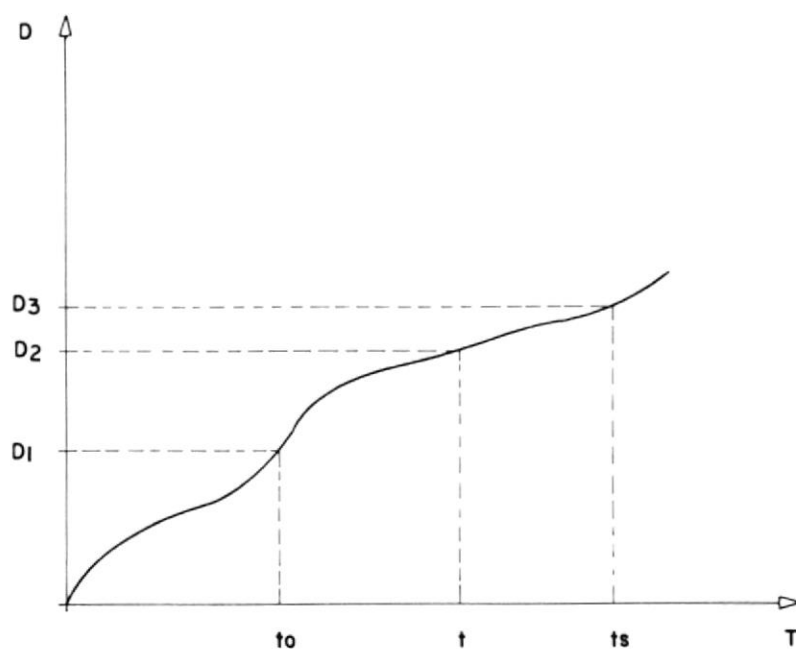


FIGURA N° 4.9. CURVA MOSTRANDO EL PUNTO DE SATURACION

Donde:

D_1 es la demanda para el año histórico t_0

D_2 es la demanda para el año horizonte t

D_3 es la posible demanda de saturación en el año t_s

Obtenidas las curvas y sus proyecciones para el año horizonte t se procederá a calcular la demanda total del sistema, la cual se consigue mediante la suma de las demandas proyectadas de cada grupo, pero para realizar dicha suma es necesario utilizar el factor de diversidad como se lo explica en el punto 3.2.

$$f.d = \frac{\text{Pico de demanda de cada grupo}}{\text{Contribución relativa al pico total de demanda del sistema.}}$$

Cada proyección de los grupos se multiplica por dicho factor de diversidad.

Luego se procede a realizar los ajustes necesarios a la proyección en forma proporcional al nivel de demanda así, de acuerdo a la ecuación de ajuste:

$$A_{i,t} = \frac{D_{i,t} D_{ACTi}}{\sum f.d_i D_{i,t}}$$

Los términos de dicha ecuación se explican en el punto 3.2.

Una vez aplicados los factores de diversidad y ajustadas las proyecciones se realiza la suma puntual de los levantamientos que darán como resultado la proyección de la demanda total del sistema.

Se obtiene también al igual que la demanda y dependiendo de la metodología de levantamiento utilizada, si es el caso de multivariantes estudios relacionados como por ejemplo las justificaciones futuras del uso de la tierra, el incremento de demanda para los distintos abonados, el nivel de demanda, etc.

Con las ecuaciones de proyección y sus levantamientos se presentan además los cálculos de error de la proyección y se lo determina de acuerdo a:

$$\hat{E} = D - \hat{D}$$

Donde:

D es el valor medido de la demanda

\hat{D} es el valor calculado de la demanda

determinando dicho error para cada punto de la proyección, con el error se presenta el nivel de insertidumbre que es la zona de los posibles valores de la demanda alrededor del punto medio para el año especificado.

De acuerdo con los criterios expuestos en el punto 4.2., se aceptará desviaciones de la media en valores de tres veces la desviación standard, es decir:

$$\bar{x} \pm 3\sigma$$

Donde:

σ se determinará de acuerdo a:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Donde:

\bar{x} será el valor de la media aritmética.

Con estas consideraciones tanto de levantamiento y de error, se obtendrá la curva de proyección total de la siguiente manera:

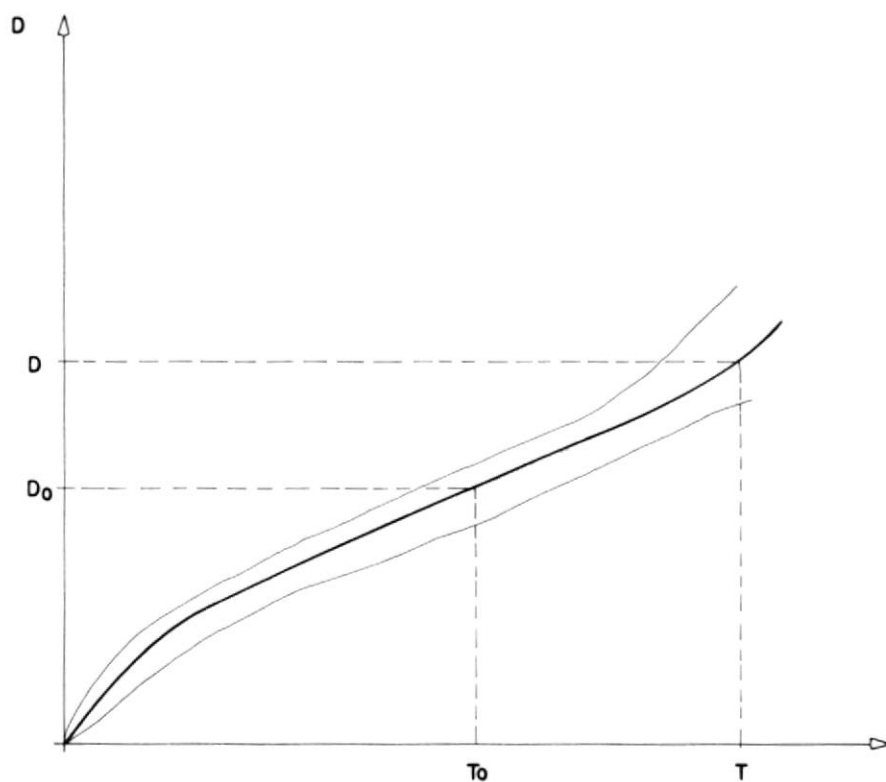


FIGURA N° 4.10. CURVA DE LA DEMANDA CON ZONA DE INCERTIDUMBRE
Donde:

T_0 es el último año histórico

T es el año horizonte

Para lo cual se ha realizado todo el cálculo de proyección.

Una vez proyectada la demanda se calcula las tasas de crecimiento, primero de cada una de las curvas - de los grupos y finalmente la de la proyección total de la demanda.

La de los grupos dará el crecimiento de todos los elementos que a el corresponden teniendo así:

- a. Zonas de alto crecimiento
- b. Zonas de bajo crecimiento
- c. Zonas de crecimiento medio

Cada una de ellas tendrá una tasa promedio - que será calculada por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{N}$$

Donde:

r_i se calcula para cada punto de L levantamiento de acuerdo a:

$$P_N = P_{n-1} (1 + r)^M$$

Una vez concluidas estas clasificaciones la información necesaria para el planificador está disponible para que realice los cálculos de expansión del sistema de distribución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al usar el método de tendencias en el estudio de la proyección de la demanda otorga al planificador una diversidad de curvas para el levantamiento de los datos históricos, así por ejemplo se tienen curvas como funciones lineales, exponenciales, logarítmicas y las denominadas curvas S, escogiendo alguna de ellas para cualquier elemento del área, además se puede especificar el límite de saturación, pero la obtención de buenos resultados tiene como directriz la disponibilidad de datos, normalmente para este método se requieren - por lo menos cinco o seis años de datos históricos, para que el período de proyección esté con resultados aceptables a nivel de errores en un rango de cinco años de proyección.

A diferencia con el método de Multivariantes, en que los requerimientos de datos son mayores, voluminosos y no solo relacionados con el crecimiento de la demanda sino por ejemplo con factores

ambientales económicos, etc. Los resultados que se obtienen presentan por lo general más exactitud, por el mismo hecho de considerar a la demanda como una función dependiente de los factores anotados, el tamaño del área de cada elemento de la cuadrícula - en este caso estará limitado solo por la disponibilidad de datos históricos, dicha disponibilidad es como período histórico por lo menos de dos años.

La facilidad que presenta el análisis por multi variables es la linealización de la demanda cuando se realiza el agrupamiento, dando esto la faci lidad de agrupar más elementos en menos grupos, con lo que se obtendrán buenas relaciones estadísti cas.

Del estudio realizado observamos que con el méto do de tendencias el único análisis que se puede rea lizar es el del crecimiento de la demanda, en cam bio por el método de multivariables se puede presen tar análisis relacionados con el crecimiento de los abonados, la forma de servicios, la influencia económica, etc.

Al hablar de los posibles niveles de error que se

obtienen en ambos métodos podemos decir que estos se van incrementando a medida que los años de proyección aumentan, esto está justificado por los pocos requerimientos de períodos de datos para la representación de los crecimientos de demanda. En el método de tendencias, el error presentado por razones de estudiar la demanda como función de tiempo únicamente es mayor que para el método de multivariables, el cual simula con los datos el crecimiento, luego para el primer método el nivel de incertidumbre será mayor que para el de multivariables.

El análisis de los dos métodos, tanto de tendencias como multivariables para el estudio de la proyección de la demanda, implica un buen desarrollo y aplicación de los procedimientos estadísticos mostrados, así mismo como de interpretación de dichos resultados, para que sean aplicados de la manera correcta en el estudio de la demanda, para que el error se minimize.

Se ha querido presentar los pasos primeros y fundamentales que se realizarán para el estudio por métodos de agrupamiento, dando la posibilidad de detallar de acuerdo a la suficiencia de datos al abo

nado mismo con todos los factores que éste origina y que afectan al consumo de energía eléctrica, y que entregarán como resultados la demanda en la zona misma donde se encuentre la influencia que tienen y que tendrán tanto la demanda de energía de ellos como los factores que intervienen en la misma en el conjunto total es decir el sistema de distribución estudiado.

Se recomienda al aplicar estos métodos que las facilidades que ellos presentan están relacionadas en forma directa con la calidad de datos que se obtengan, el nivel de implementación en un computador de esta metodología no encuentra topes, requiriendo sólo conocimientos matriciales y la diversidad de operaciones que con ellas se puede realizar con el objeto de ahorrar tanto espacio de memoria como tiempo de ejecución.

BIBLIOGRAFIA

1. EPRI - REPORT EL-1198, Research into load Forecasting and distribution planning.
2. HARTIGAN, J.A., Clustering algorithm .
3. H.L.WILLIS, A'Cluster Based VAI method for distribution load forecasting.
4. IEEE, Transactions on Power Apparatus and Systems.
5. DRAPPER - SMITH, Applied Regression Analysis.
6. BERNARD OSTLE, Estadística Aplicada.
7. A. PULIDO - SAN ROMAN, Estadística y Técnicas de Investigación Social.
8. R.A. DEWBERRY, Electric Distribution Systems Engineering
9. WILLIAM G. COCHRAN, Sampling Techniques
10. CURTIS F. GERALD, Applied Numerical Analysis.
11. INECEL, Estudio del Mercado de Energía Eléctrica de la ciudad de Guayaquil.
12. H.L. WILLIS, Fast algorithms for small area electric - load forecasting.



A.F. 141902