

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



D-6565

"ESTUDIO ECONOMICO DE ALIMENTADORAS ELECTRICAS"

TESIS DE GRADO
PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

ESPECIALIZACION POTENCIA

PRESENTADA POR
MARCOS XAVIER CHOOTONG CH.

GUAYAQUIL-ECUADOR
1.981

A G R A D E C I M I E N T O

Al Inc. LEO SALOMON FASH
Director de Tesis, por
su ayuda y colaboración
para la realización de
este trabajo.

Y a todos aquellos que
hicieron posible mi for
mación:

a mis profesores,

a mis amigos,

A G R A D E C I M I E N T O

Y a mi tía NATALIA .

D E D I C A T O R I A

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MI ABUELITA E.D.D.

A handwritten signature in cursive script, reading "Leo Salomon F.", positioned above a horizontal dotted line.

ING. LEO SALOMON F.

Director de Tesis

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 POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).



MARCOS XAVIER CHOOTONG CH.

R E S U M E N

El presente trabajo, trata de investigar la relación entre las variables eléctricas, y la economía del proyecto de alimentación de energía eléctrica. En los apéndices, se introduce información a la que continuamente se hace referencia en esta Tesis. En el primer capítulo se deducen y analizan expresiones que aproximan a la función Costos Anuales del proyecto. Estas expresiones no dan valores aplicables directamente a la práctica, pero nos muestran la forma y características de la curva de costos.

En el segundo capítulo, se presentan ideas para modificar convenientemente la forma de la función costos. En el tercer capítulo, se construye un modelo que simula por computadora la función costos totales anuales del proyecto de alimentación eléctrica, considerando la mayor precisión posible a la evaluación de la función. En el cuarto capítulo, se exponen conceptos de optimización estudiados por Investigación de Operaciones e Ingeniería Económica, aplicándolos al caso de las alimentadoras eléctricas. Finalmente, en el quinto capítulo se muestran las conclusiones y se pone a consideración del lector un conjunto de recomendaciones.

I N D I C E G E N E R A L

	Pág.
RESUMEN	vii
INDICE GENERAL	viii
INDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ABREVIATURAS	xv
INTRODUCCION	xvii
I. FORMULACION Y ANALISIS DE LOS COSTOS	
DEL PROYECTO DE UNA ALIMENTADORA ELECTRICA	1
1.1. Los Costos Variables.	1
1.2. Los Costos Fijos.	4
1.3. Primera Aproximación al Problema, con un Modelo Matemático.	6
1.4. Introducción al Análisis de Sensibilidad de la Función Costos Totales Anuales de una Alimentadora Eléctrica.	25
1.5. Segunda Aproximación al Problema, Utilizando una Función de Demanda de la Forma $DEM(t) = D_0 \cdot e^{at} + K \cdot E(h)$.	31
II. SOBRE LAS ALTERNATIVAS DEL PROYECTO	
DE ALIMENTACION ELECTRICA.	39

2.1. Conveniencia de Distribuir la Inversión.	39
2.2. Elementos Básicos de la Alimentadora Eléctrica. Alternativas para Ampliación Programada de Capacidad de Alimentadoras Eléctricas.	45
2.3. Costos de Cada Alternativa.	48
III. CONSTRUCCION DE UN MODELO QUE SIMULA EL COMPORTAMIENTO DE LOS COSTOS DE UNA ALIMENTADORA ELECTRICA UTILIZANDO UN COMPUTADOR DIGITAL.	51
3.1. Definición de las Variables que entran en los Cálculos.	51
3.2. Deducción de las Ecuaciones que rigen el Comportamiento Económico de las Alimentadoras Eléctricas.	55
3.3. Algoritmo para el Cálculo del Costo Optimo de una Alimentadora Eléctrica, Utilizando un Computador Digital.	59
3.4. Notas Sobre el Uso del Modelo, Aplicación para Resolver Problemas Típicos de Ingeniería Eléctrica.	64
IV. ASPECTOS DEL ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS PARA ALIMENTADORAS ELECTRICAS.	88
4.1. El Punto de Costo Mínimo de una Alternativa de Alimentadora Eléctrica.	88
4.2. Sobre las Técnicas para la Selección de la	

Alternativa más Conveniente.	92
4.3. Criterios para Decidir sobre Remplazamiento del Equipo de una Alimentadora Eléctrica.	103
4.4. La Programación Dinámica en el Problema de las Alimentadoras Eléctricas.	110
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	119
5.1. Análisis de las Consecuencias Económicas de Cada Alternativa, Utilizando los Gráficos Proporcionados por el Modelo.	119
5.2. Análisis de Sensitividad de la Función Costos Utilizando el Modelo.	122
5.3. Aprovechamiento del Uso del Modelo de Costos, para Corrección de las Variaciones en la Proyección a largo plazo.	125
5.4. Costos de la Energía vs. Costos del Capital.	129
5.5. Eficiencia de Ingeniería vs. Eficiencia Económica.	133
5.6. La Estrategia a Seguir.	134
APENDICES	137
A. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA FUNCIONES CONTINUAS	138
B. ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA LA FORMULACION GENERAL DE LA FORMA $CVP = a \cdot x^n + b/x^m$.	144
C. RESUMEN DE LAS ECUACIONES DE LA TASA DE INTERES.	149
D. ANALISIS DE UNA FUNCION $f(t) = k_1 + k_2 \cdot t + k_3 \cdot t^2 +$ $+ k_4/t$.	156

E. DEDUCCION DE LAS ECUACIONES DE APROXIMACION AL COSTO TOTAL ANUAL CUANDO LA DEMANDA TIENE LA FORMA DE UNA EXPONENCIAL MAS UN ESCALON.	164
F. PROGRAMA EN LENGUAJE PASCAL. LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTADOR CON EL QUE SE SIMULAN LOS COSTOS DE LA ALIMENTADORA ELECTRICA.	173
G. PROGRAMA EN LENGUAJE PASCAL. LISTADO Y EJEMPLO DEL PROGRAMA PARA CALCULAR LA TASA DE RETORNO DE INVERSION, CUANDO SE COMPARAN DOS ALTERNATIVAS DE PROYECTOS.	194
H. DEDUCCION DE LAS EXPRESIONES DE REMPLAZO OPTIMO.	204
BIBLIOGRAFIA.	215

I N D I C E D E F I G U R A S

FIGURA	TITULO	PAGINA
I-1	PENALIZACION DE LA SOBREDIMENSION	10
I-2	a) COMPONENTES DE LA FUNCION COSTOS TOTALES ANUALES CTAN(t)	15
	b) LA FUNCION CTAN(t)	15
I-3	GRAFICO DE LA FUNCION DEMANDA, de la forma $DEM(t) = D_0 \cdot e^{a \cdot t} + k \cdot E(h)$	32
II-1	EFEECTO DE UNA INVERSION DISTRIBUIDA SOBRE LOS COSTOS TOTALES ANUALES DEL PROYECTO	43
III-1	DIAGRAMA DE FLUJO DE UN PROGRAMA PARA CALCULAR CTAN	52
III-2	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA CAMBIADATOS	61
III-3	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA MODELO	62
III-4	ESTRUCTURA DEL PROGRAMA ANALIZADOR	63
III-5	SALIDA DEL PROGRAMA CAMBIADATOS	67
III-6	SALIDA DEL PROGRAMA CAMBIADATOS	68
III-7	SALIDA DEL PROGRAMA CAMBIADATOS	69
III-8	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	70
III-9	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	71
III-10	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	73
III-11	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	75

III-12	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	77
III-13	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	78
III-14	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	80
III-15	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	82
III-16	SALIDA DEL PROGRAMA MODELO	84
IV-1	EL TIEMPO DE INVERSION Y TIEMPO DE RUPTURA	90
IV-2	DIAGRAMA DE LOS PASOS CUANDO SE EFECTUAN COMPARACIONES ENTRE MULTIPLES ALTERNATIVAS	94
IV-3	DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CALCULO DE LA TASA DE RENDIMIENTO DE LA INVERSION, PARA TIEMPOS DE VIDA IGUALES	96
IV-4	METODO PARA VIDAS DESIGUALES	98
IV-5	EL PUNTO OPTIMO DE REMPLAZO ECONOMICO	106
IV-6	FORMA MODIFICADA DE LA CURVA DE LA FUNCION COSTOS ANUALES DE LA ALIMENTADORA ELECTRICA	108
IV-7	DIAGRAMA DE DECISIONES	111
V-1	a) EFECTO DE UN ESCALON DE DEMANDA EN EL AÑO H	126
	b) EFECTO DE UNA VARIACION EN LA TASA DE INTERES, E INCREMENTO DEL COSTO DE LA ENERGIA	127
V-2	RELACION INVERSA ENTRE LA ANUALIDAD DEL COSTO DEL CONDUCTOR Y EL COSTO DE SUS PERDIDAS RESISTIVAS	130
V-3	INTERRELACION ENTRE LA COMPONENTE DECRECIENTE Y LA COMPONENTE CRECIENTE	131

A-1	LAS COMPONENTES DE LA FUNCION OBJETIVO	140
A-2	EL INTERVALO ADMINISTRATIVO DE OPERACION	140
C-1	REPRESENTACION MEDIANTE UNA SERIE UNIFORME DE COSTOS	151
C-2	EL COEFICIENTE DE FACTOR DE PAGO SIMPLE - CANTIDAD COMPUESTA	151
C-3	EL VALOR ANUAL UNIFORME R	151
D-1	TERMINOS QUE COMPONEN LA FUNCION $f(t)$	157
D-2	PUNTO MINIMO DE $f(t)$	157
F-1	LISTADO DEL PROGRAMA CAMBIADATOS, EN LENGUAJE PASCAL	174
F-2	LISTADO DEL PROGRAMA MODELO 1, EN LENGUAJE PASCAL	181
F-3	EJEMPLO DE UNA SALIDA DE RESULTADOS LISTADOS Y GRAFICADOS DEL PROGRAMA MODELO	192
G-1	LISTADO DEL PROGRAMA ANALISIS, EN LENGUAJE PASCAL	195
G-2	SALIDA DEL PROGRAMA ANALISIS CUADRO DE LOS COSTOS TOTALES ANUALES DE LOS DIFERENTES PLANES DE UN PROYECTO	200
G-3	SALIDA DEL PROGRAMA ANALISIS CALCULO DE LA TASA DE RETORNO ENTRE DOS ALTERNATIVAS	202
H-1	INFLUENCIA DE LA TASA DE RETORNO SOBRE LA FUNCION COSTOS ANUALES	205

I N D I C E D E A B R E V I A T U R A S

- A, B, C : Constantes para la expresión de T_0 .
- A', B', C' : Constantes para la expresión de $T_0(t)$.
- a_1, a_2 : Constantes para la expresión de DEM(t).
- a : Constante de crecimiento exponencial de la demanda.
- CAP : Capacidad de la Alimentadora.
- CF : Costos Fijos.
- CFA : Costos Fijos Anualizados.
- CT : Costos Totales.
- CTA : Costos Totales Anualizados.
- CV : Costos Variables.
- CVA : Costos Variables Anualizados.
- CPP : Costos de Pérdida de Potencia.
- CPE : Costo de Pérdidas de Energía.
- CTAN(t) : Función del tiempo, Costos Totales Anuales.
- DEM(t) : Función del tiempo, Demanda.
- D_i : iésima Decisión.
- Do : Demanda Inicial.
- e : Base de los logaritmos naturales.
- Fc : Factor de Carga.
- FC : Factor de Costos.
- FPER : Factor de pérdidas.

- FP : Factor de Potencia.
- FAD : Factor de Ajuste de Demanda.
- h : Año en que se produce el escalón ESC(h).
- I(t) : Función del tiempo, Corriente.
- INVo : Inversión Inicial.
- KVA : KiloVoltiosAmperios.
- KVLL : Kilo Voltios entre líneas.
- KW : Kilo Watios.
- k : Magnitud del Escalón de Demanda.
- K : Término de sensibilidad.
- k_1, k_2, k_3, k_4 : Constantes de la función f(t).
- MANTAN : Valor del Mantenimiento Anual.
- PENAL : Costos por Penalización.
- PERD : Costos por Pérdidas.
- PERDAN : Costos anuales por pérdidas.
- PREC : Precio de la Energía.
- PENALAN : Costos Anuales por Penalización.
- R : Resistencia del conductor.
- t : Tiempo en años.
- VLL : Voltaje entre líneas.
- W : Término de error.
- X : Reactancia de la línea.
- $\Delta V\%$: Delta Voltaje, en porcentaje.

I N T R O D U C C I O N

Con el fin de optimizar económicamente las decisiones de ingeniería, es importante conocer la relación entre los parámetros eléctricos y los costos del proyecto. El problema consiste en definir la función Costos del proyecto, analizarla, y tratar de obtener ventaja de esta información, utilizándola para nuestros fines de optimización.

De acuerdo con la complejidad de la función, está el método con que nos acercaremos a ella. Para visualizar su forma y características, lo más conveniente es hacer una aproximación a una forma simplificada que dé como resultado una función continua, que es más sencilla de analizar. Una vez que tenemos idea de las tendencias de la función, procedemos a una evaluación más exacta de ésta utilizando un computador, debido a que la aproximación más fiel corresponde a una forma discreta que es de difícil manejo analítico.

El problema económico de los proyectos de ingeniería, se estudia en Investigación de Operaciones e Ingeniería Económica. Estas ciencias ya han obtenido conclusiones generales de optimización, que se van a exponer y aplicar sobre el ca

so de las alimentadoras eléctricas, una vez que se haya obtenido su función de Costos.

La importancia de toda esta información, está en la guía que ofrece a los análisis del ingeniero, al presentarle la visión de las consecuencias económicas que tendrá cada decisión de ingeniería.

I. FORMULACION Y ANALISIS DE LOS COSTOS

DEL PROYECTO DE UNA ALIMENTADORA ELECTRICA.

1.1. Los Costos Variables

Se llama costos variables en el diseño de una alimentadora, a los que dependen de la carga que ésta se encuentre sirviendo. Los costos variables son dos: Costos por Penalización y Costos por Pérdidas. Los de Penalización, se refieren al capital invertido en exceso, en la sobredimensión inevitable de la capacidad de la alimentadora sobre la cantidad de energía que suministra en el instante de su construcción, y los de Pérdidas en el transporte de esa energía que son los ocasionados por la resistencia de los conductores de la alimentadora.

La condición ideal para evitar los costos por Penalización, es el seguimiento continuo de las variaciones de la carga a medida que ésta crece. Este tipo de seguimiento, es imposible porque la fabricación de los conductores no es en calibres continuos, porque no es económico trabajar en el punto de saturación del conductor, y porque luego de la construcción de la alimentadora, es necesario un cierto tiempo para que los beneficios de su operación compensen los de la inversión realizada, ya que a medida que

pasa el tiempo de operación de la alimentadora, los beneficios obtenidos se hacen acumulativos, mientras que la amortización anual de la deuda por inversión inicial, se va haciendo a su vez más y más pequeña. De aquí que lo aparentemente conveniente, es la extensión al máximo del tiempo mencionado de operación, si no fuera porque éste tiene sus límites, que son de dos consideraciones: técnica y económica. Cada una de éstas deberá ser evaluada, y se escogerá la de menor valor, pues la operación es aceptable cuando el proyecto cumple con todas las exigencias, y deja de serlo ante la falta de una de ellas.

El límite técnico, es bien conocido por los ingenieros, y comprende la 'Calidad de Servicio', en que se considera el rango de variación de voltaje, la confiabilidad de la alimentadora, el tiempo de vida de los equipos, obsolescencia, capacidad térmica de la línea, que son las razones técnicas que definen el límite de tiempo en que el proyecto puede operar acumulando beneficios. La única continuación cuando se llega al fin de la vida útil de equipos, es el remplazo, y para las otras causas, es posible llegar a extender la vida de operación, invirtiendo en equipos adicionales.

El límite económico, más subjetivo para los técnicos, es también el que debe ser investigado cuando se desea construir una alimentadora, ya que muchas veces resulta ser menor que el límite técnico, y aunque las condiciones técnicas se sigan dando para la operación, ésta realizada fuera del punto óptimo económico, no puede ser considerada cuando se planifica un proyecto, y se debe por tanto calcular. Este límite económico, como ya se puede observar, estará dado por los costos variables de pérdidas en el conductor, que son acumulativos y que equilibran al paso del tiempo, a los beneficios que se reciben durante la operación de la alimentadora, y que en los márgenes en que la demanda crece alrededor de la saturación de la capacidad de la alimentadora, constituye un rubro de costos de elevada magnitud, que decide si es conveniente ó no que el proyecto siga operando.

Como podemos notar, estas son variables interrelacionadas entre sí, y que cualquier variación que se efectúe sobre una de ellas, influenciará al comportamiento del conjunto. Por ejemplo, aumentar la capacidad de la alimentadora, utilizando un conductor de calibre mayor, incrementará los costos de inversión inicial, incrementará el costo de la penalización por capital no utilizado, y el tiempo

po de operación dentro de límites técnicos, disminuyendo las pérdidas por resistencia del conductor, y sin embargo, no sabemos si el tiempo óptimo económico ha crecido, ó si se reduce, ni si el costo total en anualidades del proyecto será mayor ó menor que con el conductor menor. Estas características de orden económico, son muy importantes ya que deciden la mejor alternativa para ejecutar el proyecto, por lo que el énfasis del presente estudio, está puesto principalmente en el análisis de estos cálculos y sus consecuencias.

1.2. Los Costos Fijos

Se clasifica entre estos costos fijos, la inversión, gastos de mantenimiento y de administración.

Los costos de la inversión, corresponden al uso del capital, ya que existen la obligación de pagar por el uso de los fondos del propietario como la obligación de pagar interés contractual por los fondos prestados.

Los costos de mantenimiento, son una cantidad anual que se gasta en las instalaciones del proyecto, a fin de mantener los equipos operando bajo condiciones propias, que los permitan cumplir las exigencias que el diseño técnico

deja establecidas. Estos gastos anuales crecen a medida que la tasa de retorno da mayor valor al capital con el paso del tiempo. Para cada año posterior, se considera gastos de mantenimiento que cuestan el equivalente al valor presente de los costos por mantenimiento en el año año cero. En este caso, se tienen las mismas consideraciones al valor futuro que se indican en las ecuaciones de la tasa de interés. (C).

Los costos de administración, tienen un comportamiento muy similar al de mantenimiento, por lo que se los puede incluir en el término con que se representan éstos en la operación anual del proyecto. El costo de las actividades de administración y mantenimiento, se estiman en un valor anual. Este valor dependerá de la eficiencia administrativa de la empresa, del número de alimentadoras a que se da servicio con los mismos equipos, y se incluye en el estudio de los costos totales, como el valor estimado equivalente para cada alimentadora, y se presupuesta pa-

(C) Ver Apéndice C. La variación del valor del capital con el tiempo, el 'valor futuro' del capital, y las expresiones para calcularlo.

ra que el proyecto opere durante su vida calculada de ope
ración.

Otra forma de ver los costos de inversión inicial, es la de observar que se halla formada por una inversión concen
trada en un tiempo determinado, que constará de una compo
nente indispensable para la operación del proyecto, y de otra que excede a la primera, que son reservas de capaci
dad de operación, para los siguientes años de operación del proyecto. Ambas componentes son indispensables, pero la segunda es el compromiso del diseño. Esto es, que con la primera componente de estos costos, se tiene la opera
ción presente de la alimentadora, pero la segunda, las re
servas, pueden tener mayor ó menor magnitud, de acuerdo a consideraciones de optimización económica del diseño, ya que la adquisición de tales reservas de capacidad de ope
ración será penalizada, porque en realidad se trata de un capital inmovilizado que puesto a producir devolverá in
terés que se pierde si se lo emplea en la sobredimensión de la capacidad de la alimentación.

1.3. Primera aproximación al problema, con un Modelo Matemático

Dado que una componente de la inversión será penalizada,

es importante entonces minimizar estos costos, tratando de reducir la sobredimensión de la alimentadora, y que la capacidad de alimentación se acerque lo más posible a la demanda. Dado que esta maniobra no puede efectuarse de manera continua, se distribuye la inversión de modo que ésta se efectúe en diferentes puntos del tiempo, incrementando la capacidad en los momentos oportunos. La oportunidad en que tales ampliaciones de capacidad se efectúan, está determinada por un cálculo de optimización económica que trata de ubicar la inversión en los puntos de la escala del tiempo donde el costo total sea mínimo.

Como una primera aproximación a nuestro planteamiento, observemos cómo se desarrollan las ecuaciones del costo en función de la variable tiempo, 't', y del cálculo del tiempo para el que se cumple el costo mínimo 'To', para una curva de demanda en forma de línea recta. Consideremos también para el análisis preliminar, una tasa de retorno igual a cero, lo cual se discutirá más adelante. Como ya dijimos, el costo total 'CT', es la suma de los costos Fijos 'CF', y Variables 'CV':

$$CT = CF + CV \quad , \text{ donde} \quad \text{Ec. I.1}$$

CT = Costos Totales,

CF = Costos Fijos ,

CV = Costos Variables .

Dado que estos costos son funciones que crecen y decrecen en el tiempo, independientemente de encontrar en qué tiempo el costo correspondiente a ese año es menor, se tiene que buscar el tiempo para el que los costos acumulados sean mínimos, para lo que se hace conveniente trabajar con anualidades uniformes, que transformen el conjunto de costos distribuidos irregularmente en el tiempo, en una serie uniforme de pagos anuales de fin de período, y tendremos entonces las variables 'CTA', 'CFA', y 'CVA' de costos anualizados, que se relacionan:

$$CTA = CFA + CVA \quad , \quad \text{donde} \quad \text{Ec. I.2}$$

CTA = Costos Totales Anualizados,

CVA = Costos Variables Anualizados,

CFA = Costos Fijos Anualizados.

Los costos Fijos, constan a su vez de la inversión, y el mantenimiento y administración, y si asumimos que la tasa de retorno es cero, despreciando la variación del valor del capital con el tiempo, tendríamos que las anualidades de la inversión simplemente se obtienen dividiendo

do la inversión realizada entre el número de años que se tiene operando el proyecto. El mantenimiento anual, también se puede expresar como una fracción ó porcentaje de la inversión inicial.

$$CFA = \frac{INVo}{t} + MANTAN \quad \text{Ec. I.3}$$

donde

INVo = La Inversión Inicial, que se considera concentrada en el tiempo cero,

MANTAN = término correspondiente al mantenimiento, que tiene forma de anualidad,

t = es el tiempo como variable de decisión.

Los costos variables, se componen de los costos por penalización y los de pérdidas:

$$CV = PENAL + PERD \quad \text{Ec. I.4.}$$

PENAL = costos por penalización,

PERD = costos por pérdidas.

La penalización corresponde a la suma de los valores invertidos en sobredimensión, a lo largo del tiempo, y será entonces proporcional a la integral de la función diferencia entre la capacidad de la alimentadora y la deman

da. Para efectos de este estudio preliminar, demos a la curva de demanda una forma de línea recta, del tipo:

$$DEM(t) = a_1 + a_2 t \quad , \text{ en que} \quad \text{Ec.I.5}$$

$DEM(t)$ = función Demanda que depende del tiempo, en KW,

a_1 = demanda en el año 0 , que es una constante,

a_2 = coeficiente de crecimiento lineal.

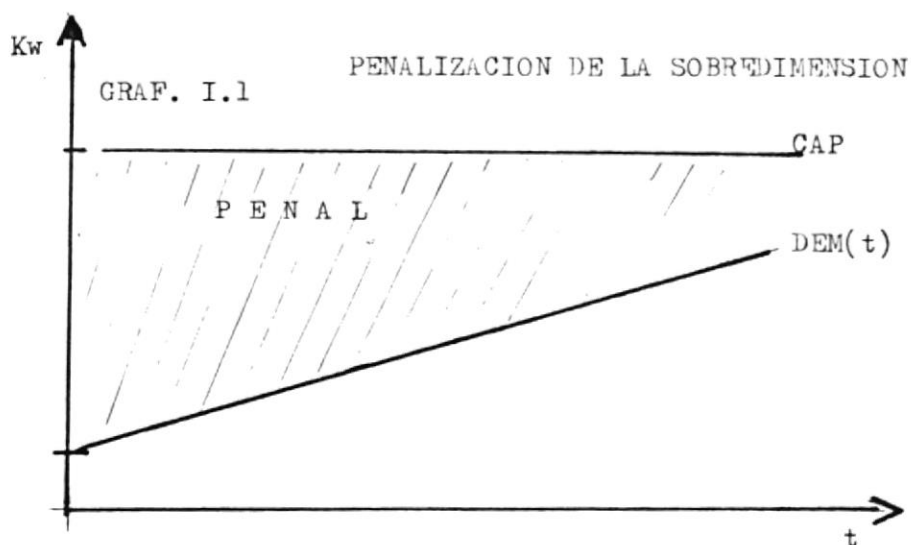
Y la integral que nos interesa, corresponde al área que se indica en el gráfico I.1 , y que se expresa:

$$PENAL = FC \cdot \frac{INV_0}{CAP} \cdot \int_0^t [CAP - DEM(t)] \cdot dt \quad \text{Ec.I.6}$$

donde

FC = Factor de costo de penalización,

CAP = Capacidad de la Alimentadora,



y reemplazando la expresión escogida para $DEM(t)$, tenemos:

$$PENAL = FC \cdot \frac{INV_0}{CAP} \cdot \int_0^t (CAP - a_1 - a_2 t) \cdot dt \quad \text{Ec. I.7}$$

cuyos términos son los ya definidos. Desarrollando:

$$PENAL = FC \cdot \frac{INV_0}{CAP} \cdot \left[(CAP - a_1) t - \frac{a_2 t^2}{2} \right] \Bigg|_0^t$$

$$PENAL = FC \cdot \frac{INV_0}{CAP} \cdot \left[(CAP - a_1) t - \frac{a_2 t^2}{2} \right] \quad \text{Ec. I.8}$$

pero éste es el valor del costo total de penalización de los t años, y distribuyendolo en anualidades uniformes, tendremos: dividiendo para t ,

$$PENALAN = FC \cdot \frac{INV_0}{CAP} \cdot \left[(CAP - a_1) - \frac{a_2 t}{2} \right] \quad \text{Ec. I.9}$$

Observemos que dado que CAP será siempre mayor que DEM la expresión $PENALAN$ (= Costos por Penalización Anual), será siempre positiva, que tiene forma de recta $mx + b$, con un valor de ordenada al origen positivo, y que decrece con el tiempo. Es importante anotar que $PENAL$ y $PENALAN$, no pueden tener valores negativos.

El costo de las pérdidas del proyecto, se puede representar como una función de la corriente I que circula por el conductor, y que a su vez es función de la demanda, y que se expresa:

$$\text{PERD} = \int_0^t I(t)^2 \cdot R \cdot \text{PREC} \cdot dt \quad \text{Ec. I.10}$$

donde PERD es el valor de los costos por pérdidas, que es proporcional a la integral del cuadrado de la corriente $I(t)$, que es una función del tiempo, y a

R = resistencia del conductor,

PREC = precio de una unidad de potencia perdida, durante un año,

FP = el factor de potencia de la carga, y tenemos:

$$\text{PERD} = \int_0^t 3 \cdot \left[\frac{\text{DEM}(t)}{3 \cdot \text{VLL} \cdot \text{FP}} \right]^2 \cdot R \cdot \text{PREC} \cdot dt$$

$$\text{PERD} = \int_0^t \left[\frac{a_1 + a_2 \cdot t}{\text{VLL} \cdot \text{FP}} \right]^2 \cdot R \cdot \text{PREC} \cdot dt \quad , \text{ donde}$$

VLL = voltaje entre líneas de la alimentadora,

y resolviendo la integral :

$$\text{PERD} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \int_0^t (a_1 + a_2 \cdot t)^2 \cdot dt$$

$$\begin{aligned}
 \text{PERD} &= \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \int_0^t (a_1^2 + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot t + a_2^2 \cdot t^2) \cdot dt \\
 \text{PERD} &= \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \left[a_1^2 \cdot t + 2 \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot \frac{t^2}{2} + a_2^2 \cdot \frac{t^3}{3} \right] \Big|_0^t \\
 \text{PERD} &= \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \left[a_1^2 \cdot t + a_1 \cdot a_2 \cdot t^2 + a_2 \cdot \frac{t^3}{3} \right]
 \end{aligned}$$

Ec. I.11

que es la expresión del costo total acumulado debido a las pérdidas resistivas. El costo promedio anual se obtiene dividiendo para el tiempo t :

$$\text{PERDAN} = \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \left[a_1^2 + a_1 \cdot a_2 \cdot t + a_2 \cdot \frac{t^2}{3} \right] \quad \text{Ec. I.12}$$

Y obtenemos el costo repartido anualmente de las pérdidas por la resistencia eléctrica del conductor. Entonces, la expresión para los costos totales al año, CTAN quedará:

$$\begin{aligned}
 \text{CTAN} &= \frac{\text{INVo}}{t} + \text{MANTAN} + \frac{\text{INVo}}{\text{CAP}} \cdot (\text{CAP} - a_1) - \frac{a_2}{2} \cdot t + \\
 &+ \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \left[a_1^2 + a_1 \cdot a_2 \cdot t + \frac{a_2}{3} \cdot t^2 \right]
 \end{aligned}$$

Ec. I.13

Donde podemos apreciar los términos que componen la

función Costos Totales Anuales. La primera componente, es una exponencial decreciente, la segunda y tercera son rectas, y la cuarta una parábola creciente. Graficando componentes y función total, tenemos el gráfico I-2 .

Arreglando los términos de la función costos totales anuales, tenemos:

$$\begin{aligned}
 CTAN = & \text{MANTAN} + \frac{\text{CF.INVo}}{\text{CAP}} \cdot (\text{CAP} - a_1) + \frac{a_1^2 \cdot \text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} + \\
 & + a_1 \cdot a_2 \cdot \frac{\text{R.PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} - \frac{\text{CF.INVo}}{\text{CAP}} \cdot \frac{a_2}{2} t + \\
 & + a_2^2 \cdot \frac{\text{R.PREC}}{3 \cdot \text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot t^2 + \\
 & + \frac{\text{INVo}}{t}
 \end{aligned}$$

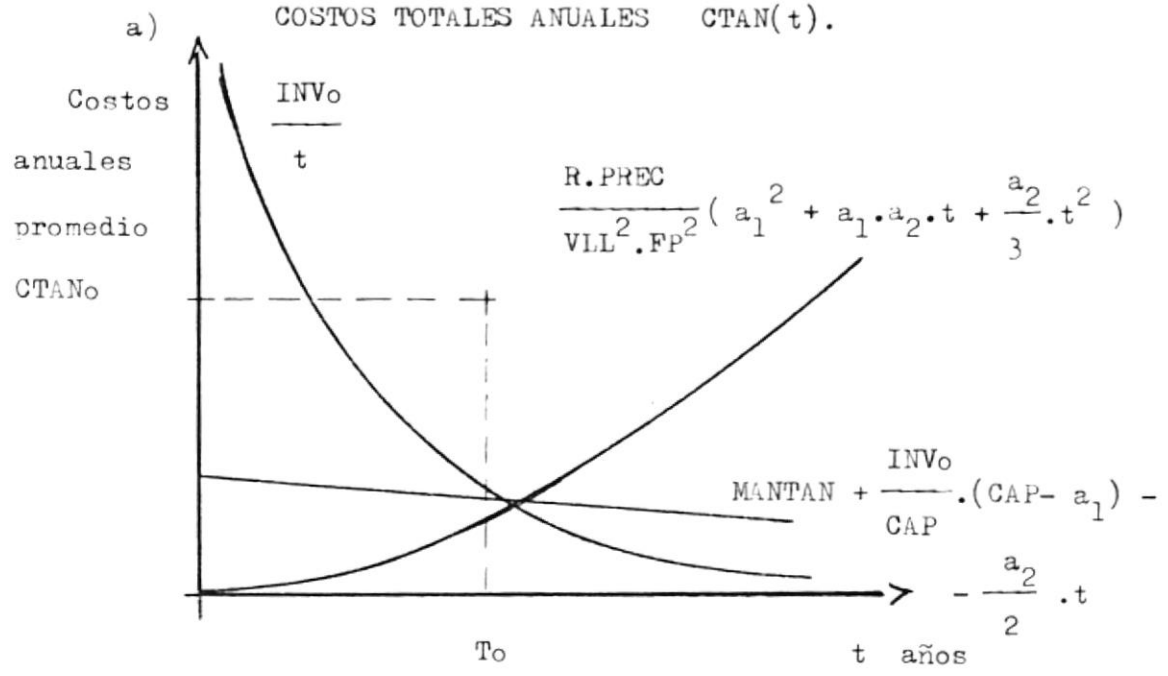
Ec. I.14

Ecuación que tiene la forma $F(t) = k_1 + k_2 \cdot t + k_3 \cdot t^2 + \frac{k_4}{t}$

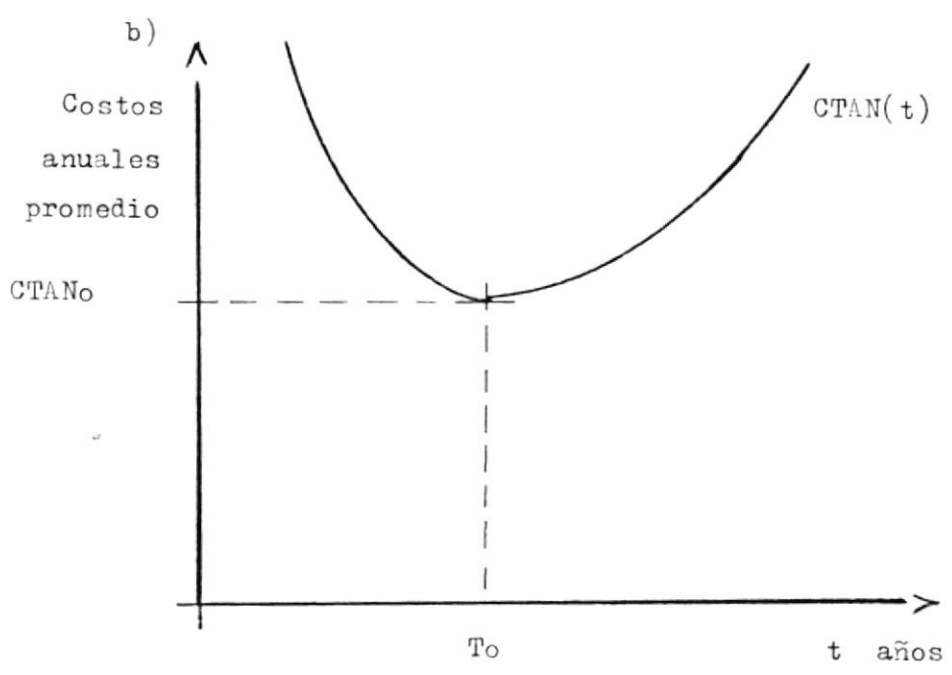
y que tiene una típica forma de costos anuales, con un valor mínimo en el punto $(T_0, CTAN_{\min})$, cuyas características nos interesa analizar (D) .

(D) Ver Apéndice D.

GRAF I-2 COMPONENTES DE LA FUNCION COSTOS TOTALES ANUALES CTAN(t).



GRAF I-2 La FUNCION CTAN(t).



La función Costos Totales Anuales CTAN, tiene un punto de valor mínimo CTANo , para el valor de tiempo To de vida del proyecto, que corresponde a la expresión:

$$\begin{aligned}
 T_o = & \sqrt[3]{\frac{\frac{k_2^3}{108 \cdot k_3^3} - \frac{k_4}{2 \cdot k_3} + \sqrt{\left[\frac{k_2^3}{108 \cdot k_3^3} - \frac{k_4}{2 \cdot k_3}\right]^2 - \frac{4}{27} \left[\frac{k_2^2}{12 \cdot k_3^2}\right]^3}}{2}} \\
 & + \sqrt[3]{\frac{\frac{k_2^3}{108 \cdot k_3^3} - \frac{k_4}{2 \cdot k_3} - \sqrt{\left[\frac{k_2^3}{108 \cdot k_3^3} - \frac{k_4}{2 \cdot k_3}\right]^2 - \frac{4}{27} \left[\frac{k_2^2}{12 \cdot k_3^2}\right]^3}}{2}} \\
 & + - \frac{k_2}{6 \cdot k_3}
 \end{aligned}$$

Ec. I.15

En la que:

$$k_1 = \text{MANTAN} + \frac{\text{CF. INVo}}{\text{CAP}} \cdot (\text{CAP} - a_1) + \frac{a_2 \cdot \text{R. PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2}$$

$$k_2 = a_1 \cdot a_2 \cdot \frac{\text{R. PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} - \frac{\text{CF. INVo}}{\text{CAP}} \cdot \frac{a_2}{2}$$

$$k_3 = a_2^2 \cdot \frac{\text{R. PREC}}{3 \cdot \text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2}$$

$$K_4 = \text{INVo}$$

Ecs. I.16

Y que para una utilización más fácil, podemos expresar :

$$\text{CTAN } \theta = \text{CTAN}(T_o) ,$$

$$T_o = \sqrt[3]{\frac{B + C}{2}} + \sqrt[3]{\frac{B - C}{2}} - \frac{A}{6} \quad , \text{ Ec. I.17}$$

en que

$$A = \frac{k_2}{k_3}$$

$$B = \frac{k_4}{2 k_3} - \frac{A^3}{108}$$

$$C = B^2 + \frac{A^6}{11\,664} \quad \text{Ecs. I.18}$$

Para ilustrar lo que se obtendría en la práctica con esta ecuación, la podemos evaluar para un conjunto de valores típicos, y tenemos:

una alimentadora de distribución de 13.8 KV nominales , de 10 km de longitud, para un factor de potencia de .85 y que permita una caída de voltaje del 5% , se planea su diseño, y desamos conocer para qué tiempo de operación, alcanzará una óptima distribución de sus costos totales

si se la construye con un conductor 4/0 , cuya resistencia es de 0.3679 ohm/km y su reactancia (según cálculo de disposición de los conductores) es de 0.4362 ohm/km cuyo costo de construcción es de 180 000 sucres/km .

Consideremos que se trate de una carga de forma

$DEM(t) = 10 \text{ kW} + 15 \text{ kW/año} \cdot t$, primeramente calculemos la capacidad de la alimentadora, que se tiene despejando de la ecuación elemental:

$$\Delta V\% = \frac{CAP (T \cos\theta + X \sin\theta)}{10 \text{ KVLL}^2 \cos\theta} \quad \text{Ec. I.19}$$

$$CAP = \frac{\Delta V\% \cdot 10 \text{ KVLL}^2 \cos\theta}{R \cos\theta + X \sin\theta} \quad \text{Ec. I.20}$$

donde

$\Delta V\%$ = Caída de Voltaje en porcentaje,

CAP = Capacidad de la línea para R y X dadas,

R = resistencia total de la línea,

X = reactancia total de la línea,

θ = ángulo del Factor de potencia,

KVLL = kilovoltios entre líneas,

tenemos:

$$CAP = \frac{5 \times 10 \times (13.8)^2 \times 0.85}{(0.85 \times 0.3679 + 0.5268 \times 0.4362) \times 10}$$

$$CAP = 1\,491.93 \text{ kW}$$

Para calcular el costo de las pérdidas, el valor de PREC
 En nuestras ecuaciones, hay que considerar que la deman-
 da se expresa en kw nominales de carga anual, y que es-
 tá sometida a los conceptos de factor de carga y factor
 de demanda, que según criterios de planificadores (1)
 responde a la ecuación:

$$\text{PREC} = 0.12 (\text{CPP}) (\text{FAD}) + 8.76 (\text{CPE}) (\text{FPER}) \quad \text{Ec. I.21}$$

donde

PREC = precio del kw nominal de pérdidas en un año,

CPP = costo de pérdidas de potencia,

FAD = factor de ajuste de demanda,

CPE = costo de pérdidas de energía,

FPER = factor de pérdidas,

FC = factor de carga,

siendo la expresión del FPER :

$$\text{FPER} = 0.84 \text{ FC}^2 + 0.16 \text{ FC} \quad , \quad \text{Ec. I.22}$$

y haciendo CPP = 825 sucres/kw año, CPE = 0.76 sucres/kwh

el factor de carga FC = 0.30 y el FAD = 0.50 , tenemos:

$$\text{FPER} = 0.1236$$

$$\text{PREC} = 5\,772.9 \text{ sucres/kw año}$$

(1) Del boletín 'II Simposium Electrificación Rural'

Evaluando las expresiones I.16 , para los datos del problema ejemplo, tenemos:

$$k_2 = \frac{10 \times 15 \times 3,679 \times 5\,772.9}{(13.8)^2} \frac{\text{kva}^2 \text{ ohm sucres/kw año}^2}{\text{kV}^2} -$$

$$- \frac{0.24 \times 1'800\,000 \times 15}{2 \times 1\,491.93 \times 0.85} \frac{\text{sucres kw/ año}^2}{\text{kw}}$$

$$k_2 = 14\,478.5 \text{ sucres/año}^2$$

$$k_3 = \frac{(15)^2 \times 3.679 \times 5\,772.9}{3 (13.8)^2} \frac{\text{kva}^2 \text{ ohm sucres/kw año}^3}{\text{kV}^2}$$

$$k_3 = 8\,364.25 \text{ sucres/año}^3$$

$$k_4 = 1'800\,000. \text{ sucres.}$$

Y evaluando las expresiones I.18 , tenemos:

$$A = \frac{14\,478.5}{8\,364.25} \frac{\text{sucres/año}^2}{\text{sucres/año}^3}$$

$$A = 1.73 \text{ años}$$

$$B = \frac{1'800\,000}{2 \times 8\,364.25} \frac{\text{sucres}}{\text{sucres/año}^3} - \frac{(1.73)^3 \text{ año}^3}{108}$$

$$B = 107.55 \text{ año}^3$$

$$C = (107.55)^2 \text{ año}^6 + \frac{(1.73)^6}{11\,664} \text{ año}^6$$

$$C = 11\,567.6 \text{ año}^6$$

$$\sqrt{C} = 107.55 \text{ año}^3$$

Y evaluamos el tiempo en que el costo total anual es mínimo, reemplazando valores en la expresión I.17, y tenemos:

$$T_o = \sqrt[3]{\frac{B + \sqrt{C}}{2}} + \sqrt[3]{\frac{B - \sqrt{C}}{2}} - \frac{A}{6}$$

$$T_o = \sqrt[3]{\frac{107.55 \text{ año}^3 + 107.55 \text{ año}^3}{2}} + \sqrt[3]{\frac{107.55 \text{ año}^3 - 107.55}{2}}$$

$$\frac{\text{año}^3}{\text{año}^3} - \frac{1.73}{6} \text{ año}$$

$$T_o = 4.46 \text{ años .}$$

Y evaluando el costo mínimo :

$$CTAN_o = CTAN(4.46 \text{ años}) ,$$

$$CTAN_o = k_1 + 14\,478.5 \times 4.5 \text{ sucres/año} + 8\,364 \times (4.5)^2$$

$$\text{sucres/año} + 1'800\,000/4.5 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN_o = k_1 + 634\,529.26 \text{ sucres/año}$$

donde se deja expresada k_1 , para estudiar sólo las variaciones que dependen de la variable de decisión (A).

(A) Ver Apéndice A.

Dado que la función Costos Totales Anuales queda de la forma

$$CTAN(t) = k_1 + 14\,478.5 t + 8\,364 t^2 + \frac{1'800\,000 \text{ sucres al año}}{t}$$

podemos evaluarla alrededor del valor óptimo:

$$CTAN(3 \text{ años}) = k_1 + 718\,875 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN(T_o) = k_1 + 634\,529 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN(6 \text{ años}) = k_1 + 688\,500 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN(10 \text{ años}) = k_1 + 1'162\,500 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN(12.5 \text{ años}) = k_1 + 1'633\,843 \text{ sucres/año}$$

$$CTAN(15 \text{ años}) = k_1 + 2'893\,170 \text{ sucres/año}$$

Y aunque se trata de una expresión de costos que asume consideraciones simplificadorias, muestra claramente, que existe un tiempo de vida del proyecto de alimentación, para el que los costos anuales son mínimos, y que posteriormente, los costos de pérdidas de operación, elevan considerablemente, casi al triple de su valor mínimo en algunos casos, el costo anual del proyecto. La comparación, no necesita evaluar el término k_1 , que se tiene en común para todos los casos mostrados.

Observamos que el valor k_1 aparece en todas las alternativas de operación, a manera de costo básico del proyecto. Por tanto, una optimización de costos de las alimentadoras eléctricas, tiene que considerar la reducción del término independiente k_1 . Los componentes de K_1 se pueden apreciar en las ecuaciones I.16. Cuando se decide considerando únicamente la alternativa de costo menor, el término k_1 puede ser obviado de todas las alternativas que se comparan, ya que es común para todas y sólo las diferencias cuentan para la decisión. Si se va a considerar en cambio la mejor tasa de retorno de cada alternativa, sí se tiene que calcular el término independiente k_1 .

Observamos que los valores obtenidos para T_0 , son pequeños. Esto se debe a que se trata de expresiones simplificadas de la función costos totales, en donde lo que nos interesa principalmente es la forma de la función, y la influencia de cada parámetro sobre su valor. A continuación se procede a considerar ecuaciones más exactas, tanto de la demanda como de la variación del valor del capital en el tiempo, donde se espera un desplazamiento hacia la derecha del punto de costos mínimos.

Como se mencionó en el segundo párrafo, la tasa de rendimiento se ha considerado cero. Al aumentar el valor de la tasa de rendimiento, se espera un desplazamiento hacia arriba y hacia la derecha de la curva de la función (H).

Los valores obtenidos no son útiles para una aplicación directa en la práctica, pero la forma esperada se ha cumplido, y la existencia de un mínimo en la función se demuestra en el análisis y en el ejemplo. Se hace necesario seguir estudiando la función, a fin de conocer mejor aquello que deseamos optimizar. A continuación se analiza la incidencia de cada término sobre el punto mínimo, en donde es óptimo trabajar el proyecto.

Adelantando al desarrollo de esta Tesis, dentro de dos capítulos se presenta un modelo digital que simula los costos de un proyecto de alimentadora eléctrica, en que se consideran todos los parámetros económicos del proyecto. La idea de presentar análisis de funciones simplificadas, es de ganar apreciación sobre la forma de la función, que es difícil de obtener cuando sólo se presentan un conjunto de resultados numéricos.

(H) Ver apéndice H, el gráfico H-1 .

1.4. Introducción al Análisis de Sensibilidad de la
 Función Costos Totales Anuales
 de una Alimentadora Eléctrica.

En el cálculo del tiempo óptimo T_o que realizamos con la expresión I.17, observamos cómo el valor de la constante B se parece al de \sqrt{C} , y que el valor de A es pequeño cuando se lo compara con los demás términos de las expresiones, de modo que la solución del tiempo óptimo, la podemos aproximar a $\sqrt[3]{B}$, que se hace más cierto a medida que el valor de A se hace menor. Entonces, la solución aproximada para T_o quedaría:

$$T_o = (B)^{1/3} = \left(\frac{k_4}{2 k_3} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. I.23}$$

Y observando el término que no entra en la solución aproximada, vemos que se trata de k_2 en la función Costos Totales Anuales, por tanto, es posible aproximar el comportamiento de la función $CTAN(t)$, a una formulación general de forma $F(x) = ax^n + b/x^m$, eliminando el término en t y el término independiente, que es constante y que simplemente desplaza la curva hacia arriba, ó lo que es lo mismo, traslada el eje horizontal del gráfico.

(B) Ver Apéndice B.

Haciendo $m = 1$ y $n = 2$ en las ecuaciones B.1 , B.2 y B.6 del Apéndice B, tenemos:

$$F(t) = k_3 t^2 + \frac{k_4}{t} \quad \text{Ec. I.24}$$

$$T_0 = \left(\frac{k_4}{2 k_3} \right)^{1/3} \quad \text{Ec. I.23}$$

$$k = \frac{1}{3} w^2 + \frac{2}{w} \quad \text{Ec. I.25}$$

Donde

k_3 , k_4 son las constantes ya definidas en el capítulo anterior, y k y w son los términos de sensibilidad ya definidos en el apéndice B.

Notemos primeramente, que las ecuaciones I.23 son las mismas, y que la expresión I.25 es independiente de los coeficientes de los términos de la función CTAN(t), y que dependen únicamente del orden de la función. Todo esto, invita a pensar que la expresión I.25 será una aproximación muy útil para el estudio de la sensibilidad de nuestra función Costos Totales Anuales, lo que vamos a analizar a continuación.

Expresando la ecuación I.23 con los parámetros del proyec

to, remplazando las ecuaciones I.16 en la I.23, tenemos:

$$T_o = \sqrt[3]{\frac{INVo}{\frac{2}{3} a_2^2 \cdot \frac{R \text{ PREC}}{VLL^2}}} \quad \text{Ec. I.26}$$

Donde tenemos la respuesta a nuestra primera inquietud, y observamos que incluir la variación del dinero con el tiempo por una tasa de interés, va a desplazar el tiempo óptimo de operación a un valor mayor, ya que ésto se puede deducir de la I.26, si incrementamos el valor de INVo crecerá el tiempo T_o , y también el valor de $CTAN_o$, lo que se observa en la ecuación I.14 .

Remplacemos ahora, en la ecuación I.25 , un valor típico de k , digamos 2% , tenemos:

$$k = .02 + 1.$$

$$1.02 = \frac{1}{3}(w^2 + \frac{2}{w})$$

$$w^3 - 3.06 w + 2 = 0$$

$$w = 1.15 , 0.87 ,$$

valores que nos dan el Intervalo Administrativo de Operación (A) para el valor dado de k .

(A) Ver Apéndice A .

En palabras, los Costos que dependen del tiempo de operación del proyecto, se mantendrán dentro del 2% de aumento sobre el mínimo posible CTANo , mientras el tiempo de operación se mantenga entre un mínimo de 0.87 To y un límite superior de 1.15 To. Demos valores al ejemplo que presentamos en el anterior capítulo, y tendremos:

$$1.15 T_o = 1.15 \times 4.46 = t_1$$

$$t_1 = 5.13$$

$$CTAN(5.13) = k_1 + 645\,241.09 \quad \text{suces/año}$$

$$t_2 = 0.87 \times 4.46$$

$$t_2 = 3.88$$

$$CTAN(3.88) = K_1 + 646\,241.09 \quad \text{suces/año}$$

que comparando con el valor obtenido para CTANo , tenemos aplicando la expresión A.1 :

(A)

$$k = \frac{645\,241.09}{634\,529.26} = 1.0169$$

$$k = \frac{646\,241.09}{634\,529.26} = 1.0180$$

Que efectivamente se hallan dentro del rango deseado del 2 % de CTANo .

(A) Ver Apéndice A.

Es interesante observar que la función $CTAN(t)$, puede llegar a tomar valores del orden del doble del $CTAN_0$, es decir que para $k = 2$, se tiene un valor de w que calculamos:

$$w^3 + (-6)w + 2 = 0$$

$$w = 2.2618, 0.3399$$

y lo que nos interesa es el límite superior, y para el valor que llamaremos t_1 , tenemos:

$$t_1 = 2.26 \times 4.46$$

$$t_1 = 10.08 \text{ años}$$

$$CTAN(10) = k_1 + 1'174 \ 309.67 \quad \text{suces/año}$$

$$k = CTAN(10)/CTAN_0$$

$$k = 1.85,$$

es decir que si se extiende en un 226% el tiempo del proyecto, más que el tiempo óptimo, los costos van a crecer en un 185% .

De la ecuación I.26, tenemos que el crecimiento de la carga alimentada, incide notablemente en el tiempo de mínimo costo, y mayor crecimiento significa un tiempo óptimo menor y viceversa, lo que demuestra definitivamente lo que hace el título del capítulo I. Observemos también que el nivel de voltaje igualmente influye sobre el tiempo ópti

mo, y a mayor voltaje, mayor la conveniencia para la alimentación económica. La observación de la ecuación I.26, nos relaciona también la inversión inicial, calibre (re-sistencia eléctrica), y costo del kilowatio perdido a lo largo del año, pero debemos notar que su variación tam-bién afecta a los costos además de desplazar el tiempo óptimo, por lo que es necesario además de calcular tiempo óptimo calcular el valor de la función costos a partir de los nuevos parámetros, a fin de hacer la decisión absolu-tamente optimizada. Y notemos por último, que las compa-raciones se deben realizar entre costos anuales para proyectos de igual tiempo de vida, pues las diferencias só-lo se aprecian cuando todas las alternativas se hallan bajo las mismas condiciones. Dado que el tiempo óptimo es el que se utilizará en las comparaciones, las diferentes alternativas tendrán cada una su propio tiempo de vida, lo que nos introduce a un nuevo problema que se abordará en el capítulo IV .

Una vez que extraída toda la información del modelo con función de demanda $DEM(t)$ simplificada y con forma de recta, pasemos a comentar sobre una función de demanaa más real, pero de la que la información que se puede obtener es menor debido al problema matemático.

1.5. Segunda Aproximación al Problema,

utilizando una función de demanda de la forma

$$DEM(t) = Do e^{at} + k E(h) \quad .$$

En la práctica nos encontramos con que la demanda tiene una forma que crece en exponencial, a la que se adiciona saltos de demanda, que aparecen en determinados puntos del tiempo. Gráfico I-3. Entonces, vamos a repetir la forma de analizar la función costos, pero esta vez utilizando la función:

$$DEM(t) = Do e^{at} + k E(h) \quad \text{Ec. I.27}$$

donde

$DEM(t)$ = función demanda en función del tiempo,

Do = valor inicial de la demanda,

e = base de los logaritmos naturales,

k = valor de la magnitud del salto de la demanda,

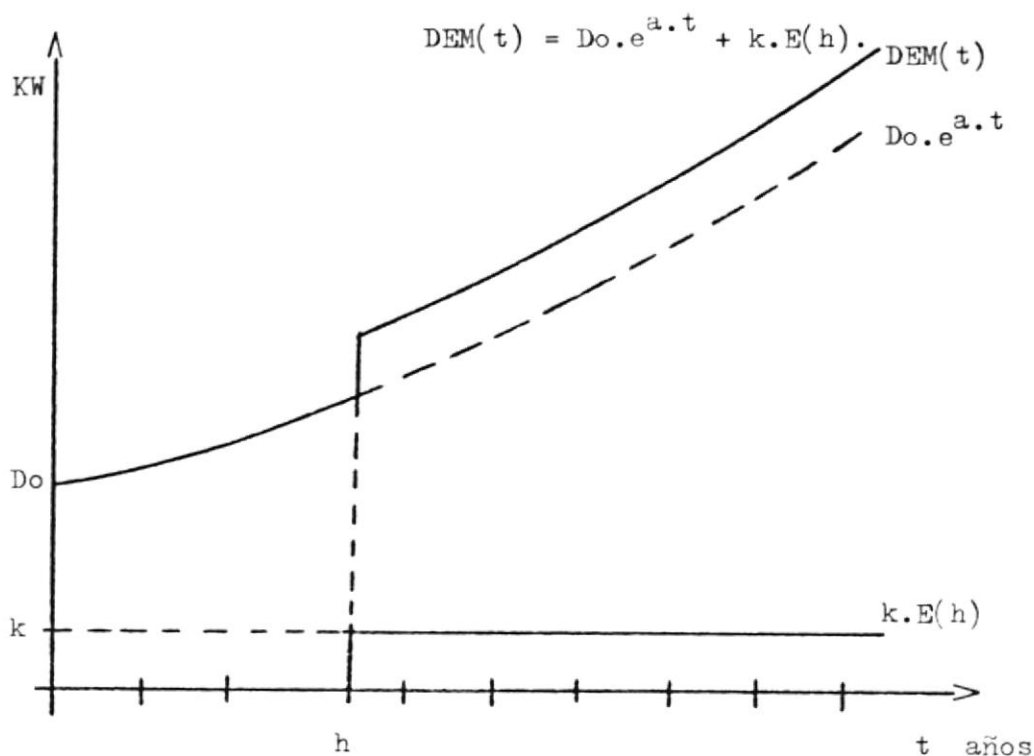
$E(h)$ = es la función escalón, que tiene un valor de cero para el tiempo comprendido desde $t = 0$ hasta $t = h^-$, y valor de unidad a partir de $t = h^+$, donde h es un punto en la escala del tiempo.

a = coeficiente exponencial de crecimiento de la demanda,

t = variable de decisión (tiempo)

Esta expresión de $DEM(t)$ tiene la forma:

GRAF. I - 3 GRAFICO DE LA FUNCION DEMANDA, de forma



Siguiendo el procedimiento del artículo I.3, llegamos a la siguiente expresión del Costo Total Anual: (E)

$$\begin{aligned}
 CTAN(t) = & \text{MANTAN} + FC \cdot \frac{INVo}{CAP} \cdot (CAP - k) + \frac{R.PREC \cdot k^2}{VLL^2 \cdot FP^2} + \\
 & + \left[\frac{R.PREC}{VLL^2 \cdot FP^2} \cdot \frac{2 \cdot Do \cdot k}{a} - \frac{FC \cdot INVo}{CAP} \cdot \frac{Do}{a} \right] \frac{e^{a \cdot t}}{t} + \\
 & + \left[\frac{R.PREC}{VLL^2 \cdot FP^2} \cdot \frac{Do^2}{2 \cdot a} \right] \frac{e^{2 \cdot a \cdot t}}{t} +
 \end{aligned}$$

(E) Ver Apéndice E.

$$\begin{aligned}
& + \left[\text{INVo} + \frac{\text{FC} \cdot \text{INVo}}{\text{CAP}} \cdot \left(k \cdot h + \frac{\text{Do}}{a} \right) - \right. \\
& \left. - \frac{\text{R} \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \left[k^2 \cdot h + \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} + 2 \cdot \frac{\text{Do} \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot h} \right] \right] \frac{1}{t}
\end{aligned}$$

Ec. I.28

donde

INVo = el valor de la inversión inicial, en $t = 0$, (2),

MANTAN = el valor estimado de costo anual de mantenimiento, (2),

FC = Factor de costo de Penalización, que hace valorar la sobredimensión de la alimentadora, (3),

CAP = Capacidad de la alimentadora eléctrica, (3),

k = constante de la función de Demanda (1),

R = resistencia del conductor, (4),

PREC = precio de una unidad de potencia perdida a lo largo de un año, (4),

VLL = Voltaje de línea a línea, (4),

Do = demanda inicial, en $t = 0$, (1),

a = coeficiente del exponencial neperiano, (1),

e = base de los logaritmos neperianos.

-
- (1) Ver ecuación I.27 .
 (2) Ver ecuación I.3 .
 (3) Ver ecuación I.6 .
 (4) Ver ecuación I.10 .

Y que tiene un valor mínimo $CTAN_0$ en el tiempo T_0 , que es la raíz de la ecuación: (E)

$$(at - 1) A' e^{at} + (2at - 1) B' e^{2at} + C' = 0$$

Ec. I.29

donde

$$A' = \frac{R \text{ PREC}}{V_{11}^2} \frac{2 \text{ Do } k}{a} + \frac{\text{FC INVo Do}}{\text{CAP } a}$$

$$B' = \frac{R \text{ PREC}}{V_{11}^2} \frac{\text{Do}^2}{2a}$$

$$C' = \frac{R \text{ PREC}}{V_{11}^2} k^2 h + \frac{\text{Do}^2}{2a} + 2 \frac{\text{Do } k}{a} e^{ah} - \text{INVo} -$$

$$- \left(kh + \frac{\text{Do}}{a} \right) \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}}$$

Ecs. I.30

Dada la forma de las ecuaciones I.28 e I.29, la influencia de los parámetros del proyecto de alimentación sobre el costo anual, no se revela a primera vista, y dado que no se ha logrado una expresión para T_0 , (1), se recurre a la computación digital para efectuar un conjunto de

(1) El autor no ha logrado despejar t de la ecuación 29,
(E) Ver Apéndice E.

pruebas, que nos indiquen si hay alteración sobre las conclusiones que se obtuvieron en el modelo más sencillo del artículo anterior.

Calculemos el costo óptimo para el mismo ejemplo del artículo anterior, pero utilizando como demanda la función $DEM(t) = 43 e^{\ln(1.12) t} + 5 E(3)$, y reemplazando valores en las ecuaciones I.30, tenemos:

$$A' = \frac{3.6790 \times 5\,779}{(13.8)^2} \times \frac{2 \times 43 \times 5}{0.1133} + \frac{.24 \times 1'800\,000 \times 43}{1\,500 \times 0.1133}$$

$$A' = 537\,676.47$$

$$B' = \frac{3.6790 \times 5\,779 \times (43)^2}{(13.8)^2 \times 2 \times 0.1133}$$

$$B' = 911\,211.82$$

$$C' = \frac{3.679 \times 5779}{(13.8)^2} \times 5^2 \times 3 + \frac{(43)^2}{2 \times 0.1133} + 2 \times \frac{43 \times 5}{0.1133} e^{3(0.1133)}$$

$$- 1'800\,000 - \left(5 \times 3 + \frac{43}{0.1133} \right) \frac{0.25 \times 1'800\,000}{1\,500}$$

$$C' = - 403\,385.25$$

Que reemplazamos en la ecuación implícita del tiempo óptimo, Ec.I.29, y tenemos:

(1) El ejemplo se dio luego de las Ecuaciones I.18

$$\begin{aligned}
 & (0.1133 t - 1) (537\ 676.47) e^{0.1133 t} + \\
 & + (2 \times 0.1133 t - 1) (911\ 211.82) e^{2 \times 0.1133 t} + \\
 & + (- 403\ 385.3)
 \end{aligned}$$

Y cuyas raíces se obtienen por métodos numéricos, de don
de el valor que nos interesa para t es:

$$T_0 = 5.4994 \text{ años,}$$

que nos da un valor de costos totales anuales:

$$CTAN_0 = k_1 + 754\ 761.4 \text{ sucres/año.}$$

donde k_1 es el término independiente de la ecuación I.28.

Evaluando la función costos totales anuales para valores
alrededor de T_0 , tenemos:

CTAN(3 años)	=	$k_1 + 879\ 029.9$	sucres/año
CTAN(4.5 años)	=	$k_1 + 765\ 710.1$	sucres/año
CTAN($T_0=5.5$ años)	=	$k_1 + 754\ 761.4$	sucres/año
CTAN(6 años)	=	$k_1 + 760\ 654.74$	sucres/año
CTAN(10 años)	=	$k_1 + 1'015\ 058.04$	sucres/año
CTAN(12.5 años)	=	$k_1 + 1'372\ 839.37$	sucres/año
CTAN(15 años)	=	$k_1 + 1'958\ 373.82$	sucres/año

Efectivamente, al evaluar los costos para un tiempo de operación igual al tiempo óptimo, le tienen costos mínimos con respecto al resto de tiempos de vida que se puedan asignar al proyecto. Observemos además, que los costos que dependen de la vida del proyecto, pueden crecer a más de dos veces el costo mínimo, lo que sucede si se triplica el tiempo óptimo, casi 15 años, todo lo que se observaba también en el modelo más simple del artículo anterior.

Observamos que en las expresiones I.29 e I.30, la solución para T_0 guarda las mismas tendencias que se encontraron en el capítulo anterior, esto es, que el tiempo óp^otimo de vida se hará mayor, si conseguimos reducir los coeficientes A' y B' , y hacer más negativo el C' , lo que se consigue con menor resistencia R , menor costo del kilowatio anual de pérdida $PREC$, mayor voltaje de operación, y menor valor inicial de demanda y crecimiento no vertiginoso de la demanda, y extendiendo el valor de h , que es el año en que se da el salto de la demanda. Todo lo anterior, incide a su vez en el costo anual del proyecto, pero la revisión analítica ya no puede avanzar debido a la complejidad de las expresiones matemáticas. Además recordemos que los valores numéricos obtenidos, son ilustración de las tendencias de las variables, y no resultados rea-

les para la práctica, ya que las simplificaciones que se efectuaron restan precisión a los resultados en favor de mantener la forma del problema, y manipularlo analíticamente. Con todo, el desarrollo matemático último, nos indica que ya no se puede hacer otra cosa que recurrir a las calculadoras digitales, para el análisis de sensibilidad, es decir, construir un modelo en computador digital, que permita considerar variaciones en los parámetros y que represente con la mayor fidelidad posible al problema real. Así, gracias a la visión de las tendencias de la función costos y tiempo óptimo, el diseñador podrá interactuar con la máquina, aprovechando toda la información que nos dieron los modelos aproximados, y sobre todo, orientado por lo observado en los modelos simplificados.

II. SOBRE LAS ALTERNATIVAS DEL PROYECTO DE ALIMENTACION ELECTRICA.

2.1. Conveniencia de Distribuir la Inversión.

Al comenzar a tratar sobre el problema económico que es la alimentación de energía eléctrica, mencionamos que una condición ideal sería el seguimiento continuo de la demanda, por parte de la capacidad de la alimentadora eléctrica, co sa que física y económicamente no es posible. Aparece entonces el problema de decidir hasta qué punto se sobredi- mensiona en capacidad la alimentadora, ó mejor dicho, cuán to se invierte en instalaciones en el año cero. A favor de la sobredimensión, están la reducción del costo de pérdi- das, y el incremento del tiempo óptimo económico del pro- yecto, en contra se encuentra el pago de intereses sobre el capital, y la penalización por inversión no utilizada. Es obligación del diseñador, jugar con todas estas varia- bles para obtener las máximas ventajas de su uso en el pun- to preciso, todo lo cual se reflejará en un costo anual óp- timo.

Luego de deducir las ecuaciones que aproximan al costo pro- medio anual del proyecto, es posible obtener de éstas mu- cha información que aclara ideas y crea nuevas acerca de

cómo atacar los costos del proyecto para reducirlos, varias de estas ideas, las más sencillas, de hecho se tratan de aplicar actualmente en los proyectos, tales como reducir el costo de la unidad de energía perdida en el año, minimizar costos de mantenimiento, optimizar la razón $INVo/CA$ P , esto es, disminuir el costo de cada unidad de capacidad de alimentación, y otras ideas sencillas de optimización que se tratan también de aplicar en los proyectos de alimentadoras eléctricas.

El presente trabajo, tiene un especial interés, en la investigación y perfeccionamiento de una idea propuesta por un profesor de planificación de sistemas eléctricos de potencia de ESPOL, quien despertó la inquietud del autor , para profundizar lo posible en el tema. En efecto, lo que se propone estudiar, es la posibilidad de encontrar ventajas aprovechables en el punto de mínimo costo, tratando de modificar la curva de costos totales, maniobrando sobre las componentes creciente y decreciente de ésta. Obviamente , lo que se desea es trasladar el punto mínimo lo más que se pueda hacia la derecha, es decir, aumentar el tiempo óptimo de operación tratando de mantener el valor mínimo de la función costos totales anuales. Físicamente, la idea propuesta, consiste en distribuir la inversión inicial, en

un conjunto de inversiones menores que se distribuyen a lo largo de la vida del proyecto, basados en que así, se disminuirían los costos por penalización de capital no utilizado, y de aprovechar al máximo la vida útil técnica del equipo, que ordinariamente es mayor que la vida económica en el punto de mínimo costo.

Observando la gráfica A-1, (A), y las ecuaciones I.14 y I.24, donde constan las componentes creciente y decreciente de la función costos totales anuales, podemos representar la idea que se propone para desplazar el tiempo óptimo hacia la derecha, con un valor mínimo de la función de costos, introduciendo una inversión de ampliación en el año T_0 , y modificando la curva de la componente de costos por pérdidas de energía, ya que la ampliación reduce ésta al disminuir la resistencia de la línea, y se tiene la figura II-1.

Manteniendo continuidad en la nomenclatura adoptada hasta ahora, en la gráfica II-1 se llama $CTAN(t)$ a la curva de costos anuales totales, $CTAN_0$ al valor mínimo de $CTAN(T_0)$ y que se da en el tiempo T_0 , todo lo cual es idéntico has

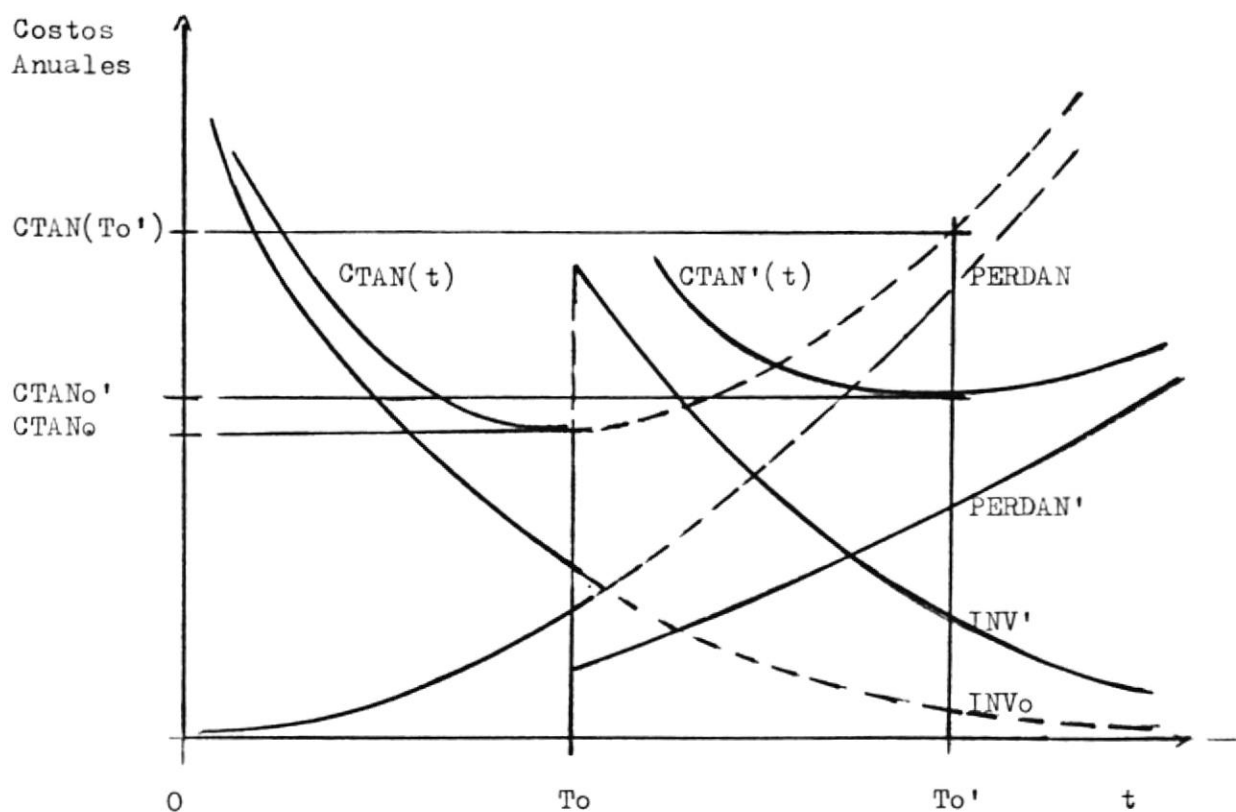
(A) Ver Apéndice A.

ta el año T_0 , en el cual se efectúa la ampliación, y la continuación de las curvas anteriores (que se grafica en línea cortada), se transforma en una nueva curva decreciente INV' , que toma en cuenta la amortización del nuevo capital invertido en la ampliación, sumada a una nueva curva creciente $PERDAN'$, que considera la reducción de las pérdidas luego que la ampliación de capacidad disminuye la resistencia de la línea. La suma de las nuevas componentes en 'prima', dan como resultado la función $CTAN'(t)$, que tiene una forma familiar a nosotros por el capítulo I.

En efecto, a partir del año T_0 , año en que se efectúa la inversión para ampliación, se tiene una modificación de la curva de costos anuales totales, que puede verse como un desplazamiento hacia la derecha del punto de costos óptimos, y el valor mínimo de la función costos modificada, va a depender de las características de los parámetros de la ampliación.

Por una parte, la componente decreciente de amortización del capital invertido en el año cero, va a tener un valor adicional a partir del año T_0 , ya que a partir de este momento habrá que considerar la amortización de la inversión de ampliación. Este valor adicionado, se puede apreciar en

GRAF. II-1
 Efecto de una inversión distribuida
 sobre los costos totales anuales del proyecto.



$CTAN(t)$ = curva de costos entre el año cero y el To .

$CTAN'(t)$ = curva de costos anuales a partir del año To .

$INVo$ = curva de amortización de capital de inversión inicial.

INV' = curva de amortización de inversiones inicial más
 inversión de ampliación.

$PERDAN$ = curva de costos anualizados de las pérdidas.

$PERDAN'$ = curva de costos de pérdidas con la modificación
 a partir de To .

To, To' = tiempos óptimos para los mínimos $CTANo$ y $CTANo'$.

la gráfica II-1, a partir de T_0 . El salto que toma la función al modificarse, depende de la magnitud de la inversión para ampliar capacidad.

Por la otra parte, la componente creciente de costos anuales por pérdidas, sufre una reducción que es proporcional a la relación entre la nueva resistencia y la antigua.

Luego del año T_0 , la inversión sigue su tendencia decreciente, y las pérdidas su forma creciente, y la función costos totales anuales, vuelve a tener un mínimo, cuyo valor será inferior al de los costos cuando no se hace la ampliación, lo que se observa en la gráfica II-1, que en el tiempo T_0' que es el mínimo para la función $CTAN'$, en la curva segmentada que continúa la expresión para $CTAN(t)$, el valor anual de $CTAN(T_0')$ es más alto que el de $CTAN_0$.

Ahora, lo que nos interesa es analizar las características de este nuevo mínimo valor de $CTAN'$, para lo que nos referimos a la ecuación I.14, considerando que la nueva función tiene la misma forma que la analizada para el tiempo cero. En esta ecuación, el factor que decide en el costo anual, es la relación $INVo/CAP$, y que será más comentado en el artículo que sigue.

2.2. Elementos Básicos de la Alimentadora Eléctrica.

Alternativas para Ampliación Programada de Capacidad de Alimentadoras Eléctricas.

Examinando la composición de la inversión inicial, tenemos que ésta se distribuye entre Materiales, Mano de obra, gastos de Transporte de materiales y personal, Ingeniería y Supervisión, y un monto de Gastos Generales indirectos. A su vez los materiales son de varias especies: Estructuras y postes, Conductores de Fasis y Neutro, y los elementos de las Crucetas y Accesorios para conectar y grapar los conductores. Notamos que los materiales constituyen el rubro más alto en la composición de la inversión, seguido por la mano de obra, los gastos generales indirectos, y los costos de Ingeniería y supervisión.

En el material, encontramos los equipos eléctricos, como los conductores, que son indispensables en una inversión que amplía la capacidad, y los componentes de construcción, que soportan los equipos eléctricos, y que son los postes y bases y estructuras. Entonces, dado que una ampliación se interesa en incrementar los equipos eléctricos, podemos pensar que las bases que los soportan se podrían diseñar previendo una adición de equipo eléctrico cuando se efectúe la ampliación, procurando así disminuir la razón Inver

sión/Capacidad , razón que como hemos visto tiene una influencia decisiva en los costos del proyecto. La relación entre la inversión y la capacidad obtenida de alimentación, se refleja también en la resistencia de la línea, y aún en el voltaje nominal de operación de la alimentadora, pues son estos dos últimos parámetros los que realmente definen la capacidad de alimentación.

Entonces, tenemos que la ampliación de capacidad se puede lograr variando ya sea la resistencia de la línea ó el voltaje de operación de ésta. Para reducir la resistencia, es necesario cambiar el conductor por uno más grande, ó tener una terna adicional. Para variar el voltaje, se necesita la instalación de equipo de transformación, tanto de elevación como de reducción. En ambas medidas, la ampliación de capacidad se programa con anterioridad, de modo que si se desea aumentar una terna de conductores, los postes y estructuras se escogieran inicialmente dimensionados para asimilar la nueva carga mecánica de ampliación; por el otro lado, para que una línea pueda trabajar a mayor tensión, se necesita que su diseño geométrico y cálculo de aisladores y aislamiento, así lo hayan tenido en cuenta en la construcción inicial de la alimentadora en cuestión. Y todas estas previsiones que se deben tomar al inicio del pro

yecto, significan que la razón CAP vs. INVo, se hace más desfavorable en el año cero, pero nos beneficia en el momento de la ampliación, porque las nuevas instalaciones e léctricas van a compartir la infraestructura que las toma en cuenta desde el diseño inicial, y hacen la relación de inversión/capacidad un valor favorablemente menor que el correspondiente al del año cero.

Un ejemplo de lo expresado en el párrafo anterior, lo da el costo de los postes de la alimentadora: Un valor típico de costo de una alimentadora de distribución es de (1) 180 000.00 sucres el kilómetro, de los que el 22 % lo constituye el costo de los postes; si se piensa en una ampliación de capacidad, añadiendo una nueva terna dentro de un cierto tiempo T_0 , se podría estudiar la posibilidad de utilizar los mismos postes que la terna original, que tendrían que ser más altos y de mayor resistencia mecánica como es obvio, y por tanto costarían más al inicio del proyecto, digamos un 20 % más caro, con lo que la inversión sería de 188 000.00 sucres el kilómetro, y obteniéndose a cambio, ue en la ampliación, si se utiliza el mismo conductor y por lo tanto doblando la capacidad de alimentación, se tendría que invertir sólomente 140 400.00 sucres por kilómetro, por la misma capacidad de alimentación.

El anterior, no es mas que un ejemplo de cómo el diseñador puede jugar con los parámetros de construcción y materiales que suman los costos por inversión, organizando el proyecto con la previsión de que se va a ampliar su capacidad de alimentación. La idea está, en proponer para el estudio de factibilidad, a un conjunto de alternativas que cumplan diferentemente cada una, con las necesidades del proyecto, y calcular con la mayor aproximación posible la alternativa más conveniente. Es entonces que aparecen nuestros estudios sobre los diferentes costos que entran en un proyecto de alimentadora eléctrica, en los cuales se ve reflejada cada decisión que en el diseño, el ingeniero planificador ha tomado.

2.3. Costos de cada Alternativa.

Los costos de cada alternativa que se considere en un estudio de alimentadoras eléctricas, tienen en su cálculo dos problemas sobresalientes: primeramente, hacer un cálculo de alta aproximación, significa manipular expresiones que se hacen más complejas a medida que se consideren cargas cuya forma de curva de demanda contengan saltos y crecimientos vertiginosos, como sucede con las curvas reales de medios en desarrollo, y también a medida que se consideran las expresiones de la tasa de interés tanto para la inver

sión como para los costos variables que también aparecen a todo lo largo de la escala del tiempo, mientras opera el proyecto, (C); y segundo, porque los costos dependen de la demanda, la cual es una proyección que puede no cumplirse en el futuro, lo cual es también muy importante.

Inicialmente, no habíamos considerado la variación del capital en el tiempo, y aunque la forma de la curva de costos es muy similar a la real, y las observaciones cualitativas que se han realizado serán de utilidad en los criterios de diseño, los grandes valores de la inversión y costos del proyecto obligan a utilizar las ecuaciones de la tasa de interés, y a optimizar al máximo los cálculos y decisiones, dado que un reflejo de incremento de costos en una presentación anualizada, puede dar lugar a confusión en la verdadera magnitud del costo total real. Entonces debemos tener consciencia de que son muchas (a todo lo largo del país) las alimentadoras que se diseñan contínuamente, y ésto tiene un factor multiplicativo sobre las diferencias de costos que se obtengan en los resultados, y el efecto de optimizar cada decisión significa ahorros de millones por cada año. (1).

(1) Rec: SHAMBLIN J.E., Operations Research.
(C) Ver Apéndice C.

Dado que la demanda futura nos dará el valor de los costos variables, que son decisivos en la economía del proyecto, conviene tomar las medidas del caso para que el in cumplimiento exacto de nuestra predicción no haga fracasar nuestra idea de optimización. Y aquí aparece una valiosa cualidad de la distribución de la inversión a lo largo del tiempo, y es que la inversión inicial se realiza con una proyección de corto (4 años) ó mediano (10 años) plazo, de modo que en el momento de efectuar la ampliación, en el tiempo T_0 calculado, se revisan los cálculos con los hechos reales, y con una mejor visión de la demanda luego de la primera etapa del proyecto, se puede reconsiderar la alternativa que continúa con la operación del proyecto. El problema entonces, se transforma a los conceptos de una 'PROGRAMACION DINAMICA' de la operación, donde las decisiones se pueden basar en los resultados de una primera etapa, y el camino que continúa la operación del proyecto buscará la optimización de la secuencia completa. Esto es, una vez completada una etapa del proyecto, son los hechos obtenidos los que llevan a la siguiente decisión, y así se cuencialmente hasta el fin del proyecto, con cada decisión tomada para optimización parcial, hasta que al final toda la secuencia queda optimizada.

III CONSTRUCCION DE UN MODELO QUE SIMULA

EL COMPORTAMIENTO DE LOS COSTOS DE UNA ALIMENTADORA ELECTRICA UTILIZANDO UN COMPUTADOR DIGITAL.

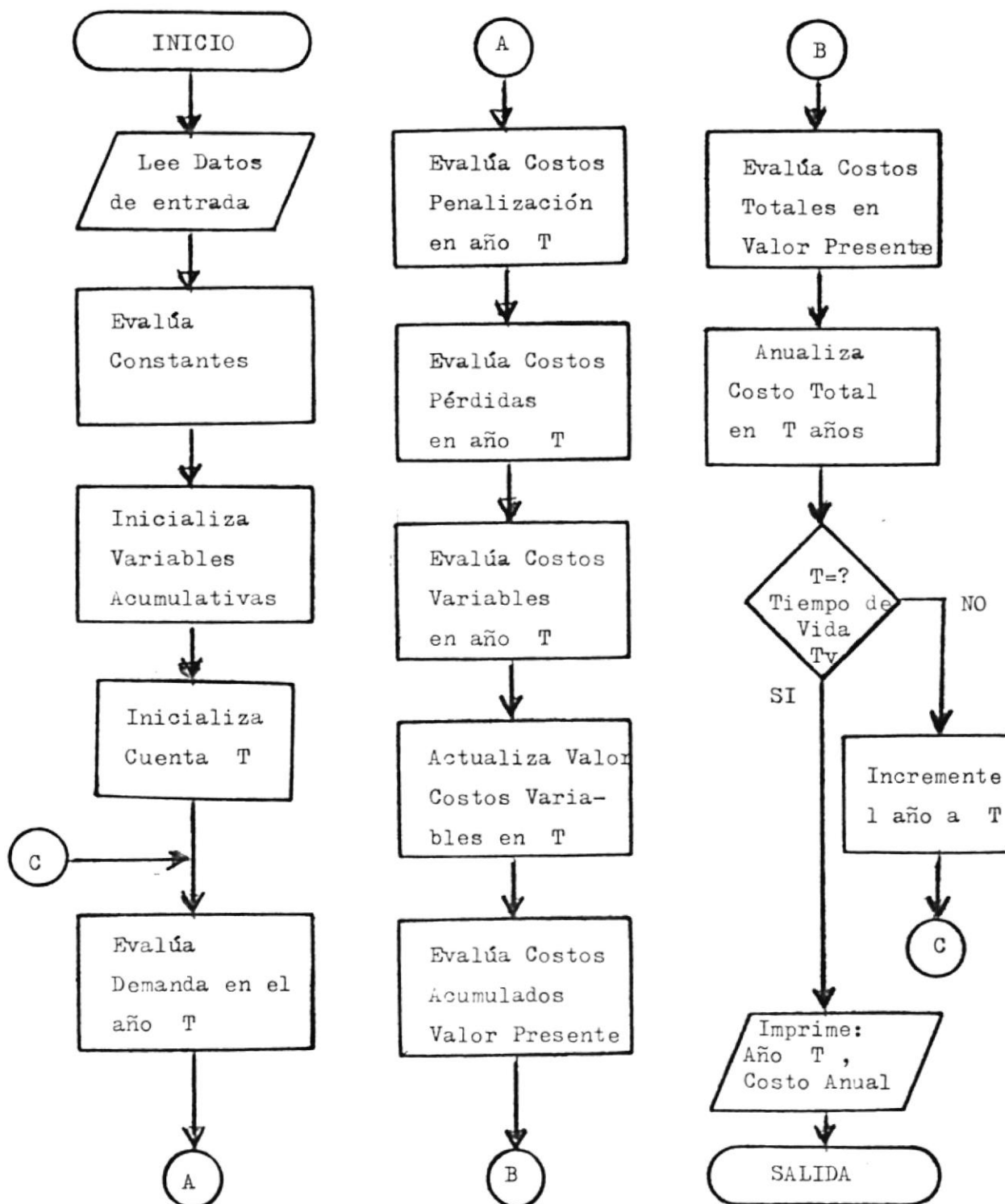
3.1. Definición de las Variables que entran en los Cálculos.

Vamos ahora a calcular nuevamente el valor de los costos anualizados del proyecto, considerando las variaciones de de bidas a la Tasa de Interés, y utilizando cualquier forma de función de demanda que pueda ser aceptada en un computador. Aplicando el concepto de tasa de interés, el capital va a tener un valor diferente en cada punto de la escala del tiempo, comportamiento que se halla definido en las expresiones del Apéndice C. Entonces, primeramente la inversión realizada se anualizará de acuerdo a las ecuaciones que la hacen pagar un interés compuesto por cada año de vida que transcurre del proyecto, y además, los costos variables, que se calculan año por año, también van a considerar variación de su valor al año cero del proyecto, y por último, la penalización por sobredimensión, se considera como los intereses anuales que el capital inmovilizado ha dejado de rendir, en cada año que no se utiliza, lo que realmente sucede con ese valor.

Introduciendo tales modificaciones en el cálculo del Cos-

to total Anualizado, se tiene el Flujo:

FIGURA III - 1. DIAGRAMA DE FLUJO
DE UN PROGRAMA PARA CALCULAR CTAN



Las mismas funciones de costos que aparecen en los desarrollos del capítulo I, se tienen en el modelo que deseamos construir, de modo que vamos a utilizar el mismo nombre para continuar la nomenclatura, y tenemos:

CTAN : Costos Totales Anuales, que es un valor para cada tiempo de vida de un proyecto;

CTVP : Costos Totales Valor Presente, que corresponden a un tiempo de operación T del proyecto;

T : Tiempo de operación en años;

CVT : Costos Variables en el año T ;

CVVP : Costos Variables Valor Presente, que es el valor equivalente del CVT en el año cero;

CVAC : Costos Variables Acumulados, que se evalúa con valores presente;

CFVP : Costos Fijos Valor Presente, que significan la inversión y el mantenimiento durante los T años, expresados en valor presente;

i : Interés de la Tasa de Interés;

r : Interés de la Tasa de retorno;

DENT : Valor de la Demanda en el año T ;

PENALT : Costos por Penalización en el año T ;

PERDT : Costos de las Pérdidas en el año T .

Como podemos ver del Diagrama de Flujo del Gráfico III-1 las constantes que se repiten en los cálculos iterativos, se evalúan inmediatamente después de leer datos, que es un paso que intenta hacer más eficiente el cómputo. (No es indispensable, pero el autor lo recomienda).

Los cálculos, desean una salida constituida por un arreglo que contiene el tiempo (año) en que opera el proyecto, y su correspondiente valor de Costo Total Anualizado, que tiene la forma SALIDA(T, CTAN), y su largo está de finido por el valor de la Vida Util de los equipos, esto es, no se consideran tiempos de vida Económicos que sean mayores a la vida útil definida por las exigencias técni cas.

Las variables que entran, son las mismas que teníamos en los análisis preliminares, a las que se añade las tasas de retorno y de interés. La entrada lee tanto de archi - vos como de la pantalla terminal, a fin de organizar los datos constantes para todo proyecto, y los que son modi - ficados por el diseñador, en su interacción con la máqui na.

3.2. Deducción de las Ecuaciones que rigen el comportamiento Económico de las Alimentadoras Eléctricas.

Según se puede observar en el Diagrama de Flujo de los cálculos, las evaluaciones que tenemos que computar son:

Evaluación de Constantes que se repiten en las expresiones de cálculo, que se seleccionarán en el próximo artículo, cuando se estudia el algoritmo utilizando una computadora. Las constantes se seleccionan de las ecuaciones que evalúan las funciones de costos, tienen como objetivo optimizar la ejecución de los cálculos, y dependen del algoritmo que se escoja para la computación.

Evaluación del valor de la demanda en el año T, corresponde a la evaluación de una función $DEM(t)$ en el punto T, función que puede ser una expresión algebraica de orden que el diseñador escoja, ó una función definida en memoria del computador, como una proposición FUNCTION ó una SUBROUTINE si es en FORTRAN, ó un procedimiento (PROCEDURE) si se utiliza PASCAL. (1).

(1) Los términos en inglés no se pueden evitar porque así se definen en los respectivos lenguajes.

Evaluar costos de Penalización en el año T, es utilizar el correspondiente valor de T y de DEMT en la expresión .

$$\text{PENALT} = \text{FC} \cdot \frac{\text{INV}}{\text{CAP}} \cdot (\text{CAP} - \text{DEMT}) \quad , (1) , \text{Ec. 3.1}$$

donde ya conocemos las variables:

FC = Factor de Costos,

INV = Inversión,

CAP = Capacidad de Alimentación,

Evaluar costos de Pérdidas en el año T, es computar la expresión:

$$\text{PERDT} = \frac{\text{DEMT}}{\text{VLL}^2 \text{FP}^2} \cdot \text{R} \cdot \text{PREC} \quad , (1) \quad \text{Ec. 3.2}$$

donde

VLL = Voltaje entre líneas,

R = resistencia del conductor, multiplicada por su longitud,

PREC = costo de la unidad de potencia perdida a lo largo del año de alimentación,

FP = Factor de Potencia.

(1) La demanda DEMT está expresada en kw.

Para evaluar los costos variables en el año T , se utiliza la ecuación:

$$CVT = PENALT + PERDT \quad \text{Ec. 3.3}$$

Para actualizar el valor de los costos variables en el año T , se calcula su valor presente utilizando la expresión

$$CVVP = i^{-T} Sppwf \cdot CVT \quad \text{Ec. 3.4}$$

$i^{-T} Sppwf$ es el coeficiente factor de pago simple - Valor actual, a una tasa de retorno i , y un tiempo T . (C)

$$i^{-T} Sppwf = \frac{1}{(1+i)^T} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Una vez que todos los costos están expresados en el tiempo cero, se acumulan los costos variables del año T , con los anteriores años, y se tiene:

$$CVAC = CVAC + CVVP \quad \text{Ec. 3.6}$$

en que CVAC tiene características de una variable acumulativa, y 3.6 es más que una ecuación, una expresión para incrementar una variable acumulativa, en un lenguaje de computación.

(C) Ver Apéndice C.

Para evaluar el costo total en valor presente, se utiliza la ecuación:

$$CTVP = CVAC + INV_0 + T \cdot MANTAN \quad \text{Ec. 3.7}$$

donde MANTAN : costo anual por mantenimiento.

EL Costo Total Anualizado, se calcula con la expresión :

$$CTAN = i^{-T \text{Crf}} \cdot CTVP \quad \text{Ec. 3.8}$$

donde $i^{-T \text{Crf}}$ es el factor de recuperación del capital,

$$i^{-T \text{Crf}} = \frac{i \cdot (1 + i)^T}{(1 + i)^T - 1} \quad \text{Ec. 3.9}$$

A medida que se consideran diferentes tiempos de vida, se obtiene para cada año un valor de costo anual equivalente.

Remplazando expresiones, tenemos:

$$CTAN(T) = \frac{i \cdot (1 + i)^T}{(1 + i)^T - 1} \left[INV_0 + T \cdot MANTAN + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1 + i)^t} \left[(CAP - DEM(t)) \cdot \frac{INV_0}{CAP} + \left[\frac{DEM(t)}{VLL. FP} \right]^2 \cdot R \cdot PREC \right] \right] \quad \text{Ec. 3.10}$$

3.3. Algoritmo para el Cálculo del Costo Optimo de una Alimentadora Eléctrica, Utilizando un Computador Digital

Para obtener el costo óptimo de una Alimentadora Eléctrica, es necesario procesar todas las alternativas de costos. Para procesar varias alternativas, cada una de las cuales se desea conocer su curva de costos, y luego analizar el conjunto, es conveniente utilizar tres etapas de proceso.

En primer lugar el arreglo del conjunto de datos de cada alternativa, como parámetros eléctricos. En segundo lugar, estudiar cada conjunto de datos en función del tiempo, con lo que obtenemos un subconjunto de variaciones para cada alternativa, cada variación con su tiempo de ampliación y costos anuales propios. Y por último, mostrar los resultados para obtener conclusiones.

En la figura III - 2, se muestra la estructura de la primera parte del proceso, y que corresponde a un programa de computación. Dada la facilidad que ofrece un buen compilador para manipular archivos con datos estructurados a nuestros cálculos, se escoge el lenguaje PASCAL para efectos de nuestro programa.

En la figura III - 3, se muestra la estructura de la segunda parte del proceso, y que corresponde a un programa de computación. En esta segunda etapa, se admiten las variaciones a la demanda. El programa genera un conjunto de resultados, que almacena en un archivo. También son salidas de este proceso, la optimización individual de las alternativas, en función del año de inversión. Por tanto, los resultados se graban con nuevos nombres que se derivan de las alternativas básicas del registro de datos. Así por ejemplo, si en el programa CAMBIADAT se genera un proyecto de nombre PROYEC1, cuyas alternativas son A1, A2, A3, cada una de éstas de diferentes características de equipos, se pueden obtener salidas de MODELO, con diferentes tiempos de inversión para cada una de A1, etc, y se generan las variaciones A1.1, A1.2, A2.1, etc que se almacenan en el archivo resultados, y se listan y grafican en el programa MODELO.

En la figura III - 4, se muestra la estructura de la tercera parte del proceso, y que corresponde a un programa de computación. La entrada a este programa, se indica por pantalla con el nombre del proyecto, y las alternativas cuya tasa de rendimiento interesan conocer. La salida, es un cuadro con todos los costos de las alternativas, y la Tasa Interna de Retorno que se solicita.

FIGURA III - 2
ESTRUCTURA DEL PROGRAMA CAMBIADATOS

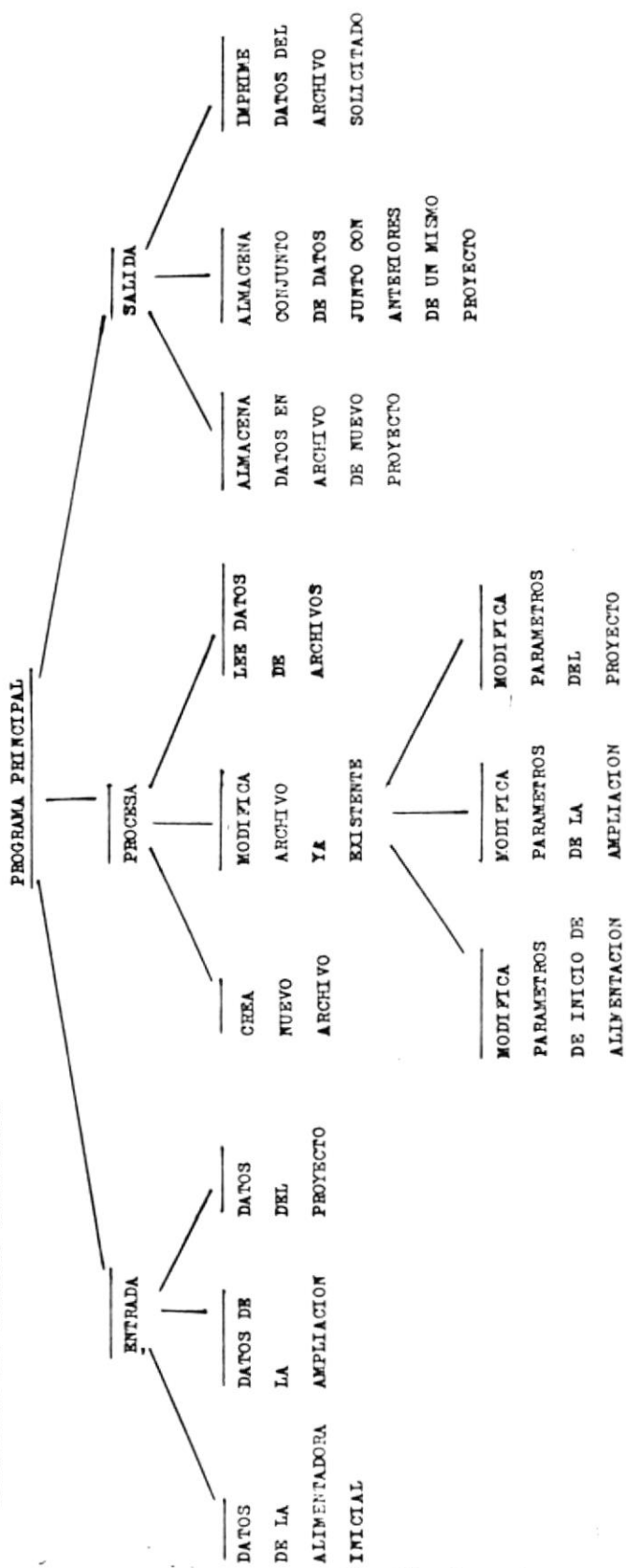


FIGURA III - 3

ESTRUCTURA DEL PROGRAMA MODELO DE COSTOS

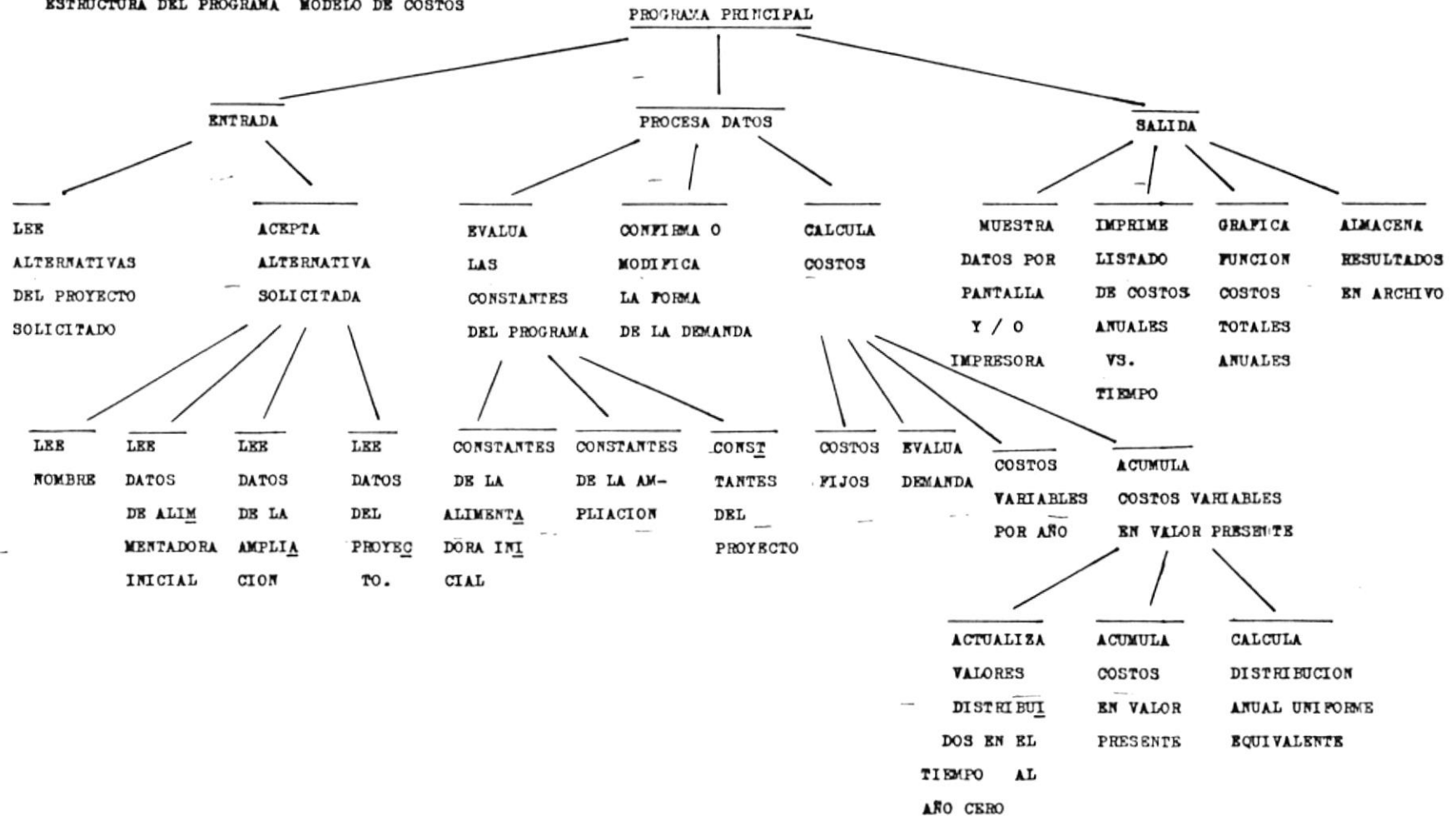
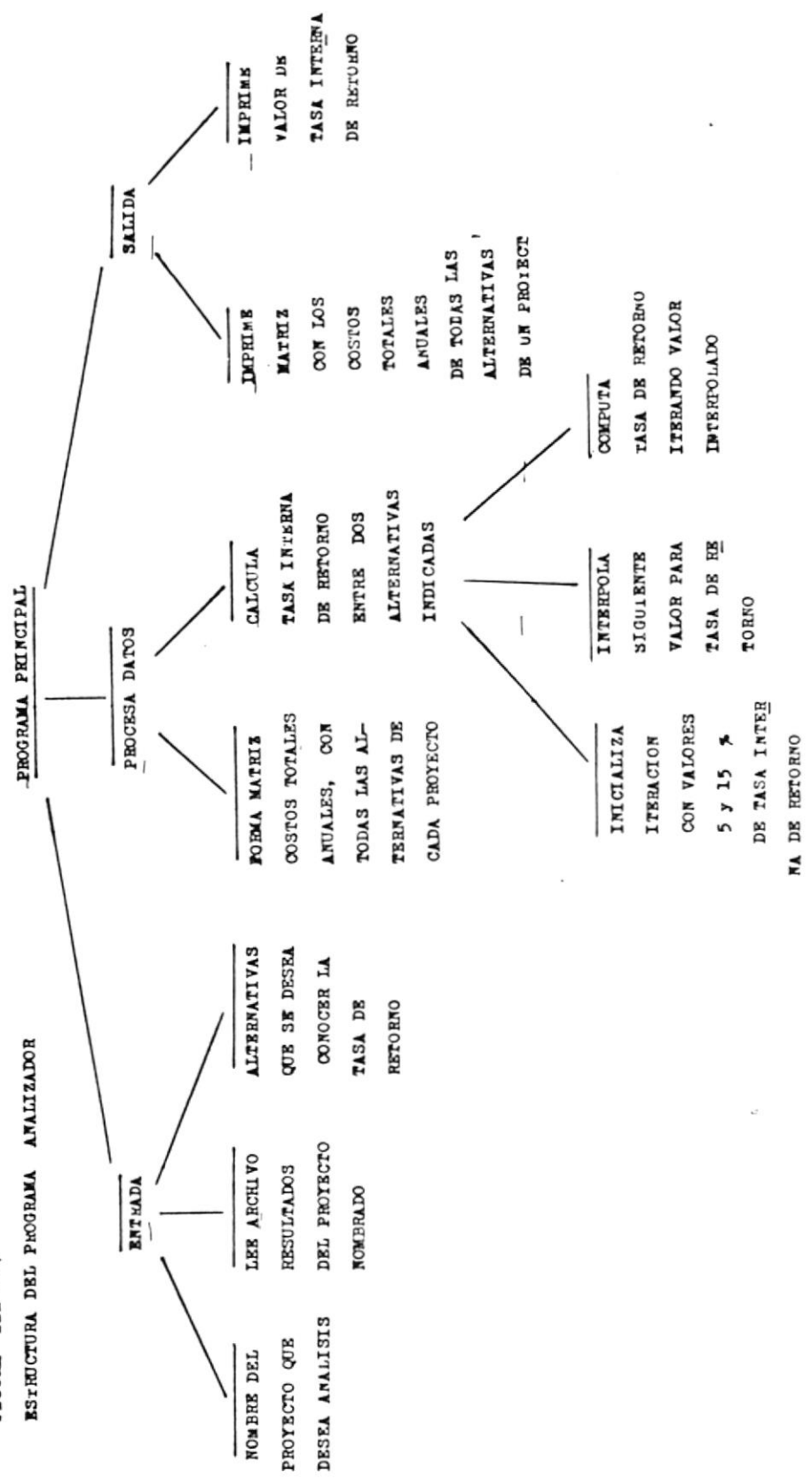


FIGURA III - 4
ESTRUCTURA DEL PROGRAMA ANALIZADOR



3.4. Notas Sobre el Uso del Modelo, Aplicación para Resolver Problemas Típicos de Ingeniería Eléctrica.

Continuamente el ingeniero eléctrico debe seleccionar un plan para alimentar una carga dada. En avance de su estudio, luego de escoger el tipo de alimentadora para comenzar a dar servicio, estudia cómo y cuándo ampliar la capacidad para continuar la alimentación cuando la demanda haya crecido. Una vez pronosticada la función demanda que tendrá que alimentar, ésta puede hacer que la alimentadora inicial sea corregida en base a la ampliación que se proyecta para el año T_a en que se desea ampliar.

Posteriormente, una vez llegado a la solución inicial de su problema, es importante conocer los efectos que tendrá sobre la alimentadora seleccionada, una variación en los pronósticos como cambios en la Demanda, en el precio de la energía, ó en el costo de los equipos dentro de T_a años. En base a ésto, el planificador se prepara a enfrentar situaciones futuras que considera muy factibles de suceder, y que hagan corregir los planes iniciales.

A medida que el proyecto opera con el tiempo, se observa si se cumple ó no lo esperado al planificar. En base a

los valores reales que toma el proyecto, y a los nuevos pronósticos que van apareciendo con el tiempo, la planificación inicial se debe corregir.

En el gráfico III-5, se presenta una salida del programa CAMBIADATOS, con una alternativa A1 para una alimentadora de 4/0 (conductor) inicial, y ampliación con otra similar. En el gráfico III-6, se presenta otra salida del programa CAMBIADATOS, con la alternativa A2, que utiliza conductor 2/0. En el gráfico III-7 se tiene otra salida del mismo programa, en que se han modificado el costo de la inversión de ampliación y la tasa de retorno de la alternativa A1, y se denomina a esta variante A11.

En el gráfico III-8, se muestran las características de la alternativa A1, como las presenta el programa MODELO. Los gráficos III- 9, 10, 11, son salidas del programa MODELO. En el 9 se presentan los costos cuando no se efectúa ampliación. En el 10, se presentan los resultados de ampliar en el año 11. En el gráfico III-11, se muestran los resultados de una ampliación en el año 20. Todos los gráficos 8, 9, 10 y 11, se refieren a la alternativa A1.

En el gráfico III-12, se muestra la alternativa A2, como salida del programa MODELO. En los gráficos 13, 14 y 15, se presentan las salidas del MODELO, para tres variantes de la alternativa A2. En el 13, se presenta los resultados de costos cuando no se efectúa ampliación. En el 14, se considera una ampliación de capacidad en el año 10. En el gráfico III-15, se presenta una variación en la demanda, a la alternativa de la figura 14, en que se tiene ampliación en el año 10, con plan A2.

En el gráfico III-16, se muestra en la primera parte, los parámetros de la alternativa All, en la segunda página, los resultados de costos de la alternativa All, y en la tercera los resultados graficados.

Como se puede observar de la figura F-3, (F), los resultados de procesar el costo anual total de una alternativa, pueden ser graficados por el mismo programa MODELO. En los gráficos III- 9, 10, 11, 13, 14, 15 y 16, se aprecian una página con resultados listados, y la siguiente del mismo gráfico con la curva obtenida con el programa.

(F) Ver Apéndice F .

FIGURA III - 6

Salida del Programa CAMBIADATOS

ALTERNATIVA A1	ARCHIVO	PROYECI.DATA
ALIMENTADORA INICIAL	CONDUCTOR 4/0	
AMPLIACION	CONDUCTOR 4/0	
DATOS DE LA MEMORIA DEL SIMPOSIUM		
CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTADORA		
CARACTERISTICA INICIAL		
RESISTENCIA INICIAL :	0.3679	OHMIOS/KM
REACTANCIA INICIAL :	0.4362	OHMIOS/KM
VOLTAJE INICIAL DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KILOMETRO :	180343.	SUCRES/KM
LIMITE TERMICO :	340.00	AMPERIOS
CARACTERISTICAS DE LA AMPLIACION		
RESISTENCIA DE LA AMPLIACION :	0.1839	OHMIOS/KM
REACTANCIA DE LA AMPLIACION :	0.2181	OHMIOS/KM
VOLTAJE DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KILOMETRO :	180343.	SUCRES/KM
COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES :	0.00	SUCRES
CARACTERISTICAS DEL PROYECTO		
LONGITUD :	10.00	KM
FACTOR DE POTENCIA :	0.8500	
CAIDA DE VOLTAJE :	5.00	%
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.77	HILES SUCCES/KWH
TASA DE INTERES :	0.1200	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150000.	SUCRES

FIGURA III - 7

Salida del programa CAMBIADATOS

ALTERNATIVA A2	ARCHIVO	IS:PROYEC1.DAT
ALIMENTADORA INICIAL	CONDUCTOR	2/0
AMPLIACION	CONDUCTOR	2/0
DATOS DE LA MEMORIA DEL SIMPOSIO		
CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTADORA		
CARACTERISTICA INICIAL		
RESISTENCIA INICIAL :	0.5761	OHMOS/KM
REACTANCIA INICIAL :	0.4549	OHMOS/KM
VOLTAJE INICIAL DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KILOMETRO :	141257.	DOLARES/KM
LIMITE TERMICO :	270.00	AMPERIOS
CARACTERISTICAS DE LA AMPLIACION		
RESISTENCIA DE LA AMPLIACION :	0.2780	OHMOS/KM
REACTANCIA DE LA AMPLIACION :	0.2274	OHMOS/KM
VOLTAJE DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KILOMETRO :	141257.	DOLARES/KM
COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES :	0.00	DOLARES
CARACTERISTICAS DEL PROYECTO		
LONGITUD :	10.00	KM
FACTOR DE POTENCIA :	0.8500	
CAIDA DE VOLTAJE :	5.00	%
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.77	MILES DOLARES/KWH
TASA DE INTERES :	0.1700	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150000.	DOLARES

FIGURA III - 5

Salida del programa CAMBIADATOS

ALTERNATIVA A11 ARCHIVO #5:PROYEC1.DAT4

INCREMENTO DE LA INVERSION DE AMPLIACION EN 20%
 INCREMENTO DE LA TASA DE INTERES DE 5 PUNTOS
 DEMAS DATOS SIMILARES A A1

CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTADORA

CARACTERISTICA INICIAL

RESISTENCIA INICIAL :	0.3679	OHMIOS/KM
REACTANCIA INICIAL :	0.4362	OHMIOS/KM
VOLTAJE INICIAL DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KIMOMETRO :	180343.	SUCRES/KM
LIMITE TERMICO :	340.00	AMPERIOS

CARACTERISTICAS DE LA AMPLIACION

RESISTENCIA DE LA AMPLIACION :	0.1837	OHMIOS/KM
REACTANCIA DE LA AMPLIACION :	0.2181	OHMIOS/KM
VOLTAJE DE OPERACION :	13.80	KV
COSTO POR KILOMETRO :	216411.	SUCRES/KM
COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES :	0.00	SUCRES

CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

LONGITUD :	10.00	KM
FACTOR DE POTENCIA :	0.8500	
CAIDA DE VOLTAJE :	5.00	%
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.77	MILES SUCRES/KW ANO
TASA DE INTERES :	0.1250	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150000.	SUCRES

FIGURA III - 8

Salida del programa MODELO

ALTERNATIVA A1	PROYECTO	PROYEC1	
ALIMENTADORA INICIAL	CONDUCTOR 4/0		
AFILIACION	CONDUCTOR 4/0		
DATOS DE LA MEMORIA DEL SIMPOSIUM			
LOS PARAMETROS ACTUALES DE LA ALIMENTADORA SON :			
	INICIAL	AMPLIACION	
INVERSION :	1803.43	1803.43	MILES SUCRES
EQUIFOS DE AFILIACION :		0.00	MILES SUCRES
RESISTENCIA :	3.6790	1.8390	OHMIOS
REACTANCIA :	4.3620	2.1810	OHMIOS
CAPACIDAD :	1491.93	2984.33	KW
VOLTAJE LINEAS:	13.80	13.80	KV
FACTOR DE POTENCIA :	0.85	0.85	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150.00	150.00	MILES SUCRES
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.7700	5.7700	MILES SUCRES
TASA DE INTERES :	0.1200		

FIGURA III - 9 Salida del programa MODELO

$$\text{DEMANDA}(T) = 250.00 \text{EXP}(0.1133 * T) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) \quad ***$$

AN"O DE AMPLIACION : 26

T	COMPREC	COMPDECREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	355892.	2.01984E6	2.37574E6	280.00	1491.93	3.6790	1.80343E6
2	364554.	1.06709E6	1.43164E6	313.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
3	373646.	750856.	1.12450E6	351.23	1491.93	3.6790	1.80343E6
4	383189.	593751.	976940.	393.38	1491.93	3.6790	1.80343E6
5	393202.	500289.	893491.	440.59	1491.93	3.6790	1.80343E6
6	403710.	438641.	842350.	493.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
7	414738.	395163.	809901.	552.67	1491.93	3.6790	1.80343E6
8	426315.	363036.	789350.	618.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
9	438473.	338466.	776939.	693.27	1491.93	3.6790	1.80343E6
10	451249.	319179.	770427.	776.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
11	464683.	303725.	768406.	869.64	1491.93	3.6790	1.80343E6
12	478821.	291140.	769961.	973.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
13	493716.	280753.	774469.	1090.87	1491.93	3.6790	1.80343E6
14	509424.	272086.	781510.	1221.78	1491.93	3.6790	1.80343E6
15	526013.	264787.	790800.	1368.39	1491.93	3.6790	1.80343E6
16	543694.	258594.	802288.	1532.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	5.14 X		
17	562939.	253304.	816243.	1716.51	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	5.75 X		
18	583760.	248760.	832521.	1922.49	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	6.44 X		
19	606198.	244839.	851037.	2153.19	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	7.22 X		
20	630319.	241441.	871760.	2411.57	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	8.08 X		
21	656216.	238486.	894702.	2700.96	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	9.05 X		
22	684006.	235908.	919914.	3025.08	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	10.14 X		
23	713832.	233652.	947484.	3388.09	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	11.35 X		
24	745862.	231675.	977537.	3794.66	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	12.72 X		
25	780293.	229937.	1.01023E6	4250.02	1491.93	3.6790	1.80343E6
	*** LIMITE DE REGULACION ***			CAIDA DE VOLTAJE :	14.24 X		

FIGURA III - 9 , cont.

AN"O COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRÉS

1	2375.74 FUERA DE ESCALA	
2	1431.64 FUERA DE ESCALA	
3		* 1124.50
4		* 976.94
5		* 893.49
6		* 842.35
7		* 809.90
8		* 789.35
9		* 776.94
10		* 770.43
11		* 768.41
12		* 769.96
13		* 774.47
14		* 781.51
15		* 790.80
16		* 802.29
17		* 816.24
18		* 832.52
19		* 851.04
20		* 871.76
21		* 894.70
22		* 919.91
23		* 947.48
24		* 977.54
25		* 1010.23

FIGURA III - 10 Salida del programa MODELO

$$\text{DEMANDA}(T) = 250.00 \text{EXP}(0.1133 * T) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) \quad ***$$

AÑO DE AMPLIACION : 11

T	COMPREC	COMPDECREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	355892.	2.01984E6	2.37574E6	280.00	1491.93	3.6790	1.80343E6
2	364554.	1.06709E6	1.43164E6	313.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
3	373646.	750856.	1.12450E6	351.23	1491.93	3.6790	1.80343E6
4	383189.	593751.	976940.	393.38	1491.93	3.6790	1.80343E6
5	393202.	500289.	893491.	440.59	1491.93	3.6790	1.80343E6
6	403710.	438641.	842350.	493.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
7	414738.	395163.	809901.	552.67	1491.93	3.6790	1.80343E6
8	426315.	363036.	789350.	618.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
9	438473.	338466.	776939.	693.27	1491.93	3.6790	1.80343E6
10	451249.	319179.	770427.	776.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
11	467046.	391039.	858085.	869.64	2984.33	1.8390	2.32187E6
12	482718.	374836.	857553.	973.99	2984.33	1.8390	2.32187E6
13	498428.	361463.	859891.	1090.87	2984.33	1.8390	2.32187E6
14	514306.	350304.	864610.	1221.78	2984.33	1.8390	2.32187E6
15	530454.	340907.	871361.	1368.39	2984.33	1.8390	2.32187E6
16	546962.	332933.	879896.	1532.60	2984.33	1.8390	2.32187E6
17	563912.	326123.	890034.	1716.51	2984.33	1.8390	2.32187E6
18	581378.	320273.	901651.	1922.49	2984.33	1.8390	2.32187E6
19	599437.	315224.	914662.	2153.19	2984.33	1.8390	2.32187E6
20	618167.	310850.	929016.	2411.57	2984.33	1.8390	2.32187E6
21	637646.	307045.	944691.	2700.96	2984.33	1.8390	2.32187E6
22	658004.	303725.	961729.	3025.08	2984.33	1.8390	2.32187E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.07 %		
23	679610.	300822.	980432.	3388.09	2984.33	1.8390	2.32187E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.68 %		
24	702526.	298276.	1.00080E6	3794.66	2984.33	1.8390	2.32187E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.36 %		
25	726830.	296039.	1.02287E6	4250.02	2984.33	1.8390	2.32187E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.12 %		

FIGURA III - 10, continuación.

AN~O	COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES	
1	2375.74 FUERA DE ESCALA	
2	1431.64 FUERA DE ESCALA	
3		* 1124,50
4		* 976.94
5		* 893.49
6		* 842.35
7		* 809.90
8		* 789.35
9		* 776.94
10		* 770.43
11		* 858.09
12		* 857.55
13		* 859.89
14		* 864.61
15		* 871.36
16		* 879.90
17		* 890.03
18		* 901.65
19		* 914.66
20		* 929.02
21		* 944.69
22		* 961.73
23		* 980.43
24		* 1000.80
25		* 1022.87

FIGURA III - 11 Salida del programa MODELO

DEMANDA(T) = 250.00EXP(0.1133 * T) + 0.0ESC(0) + 0.0ESC(0) + 0.0ESC(0) ***
AÑO DE AMPLIACION : 20

T	COMPCREC	COMPDECRC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	355892.	2.01984E6	2.37574E6	280.00	1491.93	3.6790	1.80343E6
2	364554.	1.06709E6	1.43164E6	313.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
3	373646.	750856.	1.12450E6	351.23	1491.93	3.6790	1.80343E6
4	383189.	593751.	976940.	393.38	1491.93	3.6790	1.80343E6
5	393202.	500289.	893491.	440.59	1491.93	3.6790	1.80343E6
6	403710.	438641.	842350.	493.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
7	414738.	395163.	809901.	552.67	1491.93	3.6790	1.80343E6
8	426315.	363036.	789350.	618.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
9	438473.	330466.	776939.	693.27	1491.93	3.6790	1.80343E6
10	451249.	319179.	770427.	776.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
11	464683.	303725.	768408.	869.64	1491.93	3.6790	1.80343E6
12	478821.	291140.	769961.	973.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
13	493716.	280753.	774469.	1090.87	1491.93	3.6790	1.80343E6
14	509424.	272086.	781510.	1221.78	1491.93	3.6790	1.80343E6
15	526013.	264787.	790800.	1368.39	1491.93	3.6790	1.80343E6
16	543694.	258594.	802288.	1532.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.14 %		
17	562939.	253304.	816243.	1716.51	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.75 %		
18	583760.	248760.	832521.	1922.49	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.44 %		
19	606198.	244839.	851037.	2153.19	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.22 %		
20	624727.	266470.	891198.	2411.57	2984.33	1.8390	1.99039E6
21	644080.	263209.	907289.	2700.96	2984.33	1.8390	1.99039E6
22	664368.	260363.	924732.	3025.08	2984.33	1.8390	1.99039E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.07 %		
23	685914.	257874.	943789.	3308.09	2984.33	1.8390	1.99039E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.68 %		
24	708777.	255692.	964469.	3794.66	2984.33	1.8390	1.99039E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.36 %		
25	733033.	253774.	986807.	4250.02	2984.33	1.8390	1.99039E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.12 %		

FIGURA III - 11 , cont.

AN*O	COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES
1	2375.74 FUERA DE ESCALA
2	1431.64 FUERA DE ESCALA
3	
4	\$ 976.94
5	\$ 893.49
6	\$ 842.35
7	\$ 809.90
8	\$ 789.35
9	\$ 776.94
10	\$ 770.43
11	\$ 768.41
12	\$ 769.96
13	\$ 774.47
14	\$ 781.51
15	\$ 790.80
16	\$ 802.29
17	\$ 816.24
18	\$ 832.52
19	\$ 851.04
20	\$ 891.20
21	\$ 907.29
22	\$ 924.73
23	\$ 943.79
24	\$ 964.47
25	\$ 986.81
	\$ 1124.50

FIGURA III - 12

Salida del programa MODELO

ALTERNATIVA A2 PROYECTO PROYEC1
 ALIMENTADORA INICIAL CONDUCTOR 2/0
 AMPLIACION CONDUCTOR 2/0
 DATOS DE LA MEMORIA DEL SIMPOSIUM

LOS PARAMETROS ACTUALES DE LA ALIMENTADORA SON :

	INICIAL	AMPLIACION	
INVERSION :	1412.57	1412.57	MILES SUCRES
EQUIPOS DE AMPLIACION :		0.00	MILES SUCRES
RESISTENCIA :	5.5610	2.7800	OHMIOS
REACTANCIA :	4.5490	2.2740	OHMIOS
CAFACIDAD :	1136.25	2272.93	KW
VOLTAJE LINEAS:	13.80	13.80	KV
FACTOR DE POTENCIA :	0.85	0.85	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150.00	150.00	MILES SUCRES
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.7700	5.7700	MILES SUCRES
TASA DE INTERES :	0.1200		

FIGURA III - 13 Salida del programa MODELO

$$\text{DEMANDA}(T) = 250.00 \text{EXP}(0.1133 * T) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) + 0.0 \text{ESC}(0) \quad ***$$

AN#O DE AMPLIACION : 26

T	COMPCREC	COMPDECREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	314021.	1.58208E6	1.89610E6	280.00	1136.25	5.5610	1.41257E6
2	323359.	835815.	1.15917E6	313.60	1136.25	5.5610	1.41257E6
3	333216.	588122.	921337.	351.23	1136.25	5.5610	1.41257E6
4	343619.	465066.	808686.	393.38	1136.25	5.5610	1.41257E6
5	354604.	391861.	746464.	440.59	1136.25	5.5610	1.41257E6
6	366205.	343573.	709778.	493.46	1136.25	5.5610	1.41257E6
7	378465.	309519.	687984.	552.67	1136.25	5.5610	1.41257E6
8	391428.	284354.	675782.	618.99	1136.25	5.5610	1.41257E6
9	405147.	265110.	670256.	693.27	1136.25	5.5610	1.41257E6
10	419678.	250003.	669680.	776.46	1136.25	5.5610	1.41257E6
11	435085.	237899.	672984.	869.64	1136.25	5.5610	1.41257E6
12	451442.	228041.	679483.	973.99	1136.25	5.5610	1.41257E6
13	468830.	219905.	688735.	1090.87	1136.25	5.5610	1.41257E6
14	487734.	213116.	700850.	1221.78	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	5.38 %			
15	508386.	207400.	715787.	1368.39	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	6.02 %			
16	530817.	202548.	733366.	1532.60	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	6.74 %			
17	555083.	198405.	753488.	1716.51	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	7.55 %			
18	581277.	194846.	776123.	1922.49	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	8.46 %			
19	609522.	191775.	801296.	2153.19	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	9.48 %			
20	639967.	189113.	829080.	2411.57	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	10.61 %			
21	672793.	186798.	859592.	2700.96	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	11.89 %			
22	708210.	184779.	892991.	3025.08	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	13.31 %			
23	746467.	183013.	929480.	3388.09	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	14.91 %			
24	787839.	181464.	969302.	3794.66	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	16.70 %			
25	832647.	180103.	1.01275E6	4250.02	1136.25	5.5610	1.41257E6
***	LIMITE DE REGULACION	***	CAIDA DE VOLTAJE :	16.70 %			

FIGURA III - 13 , cont.

AN*O	COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES
1	1896.10 FUERA DE ESCALA
2	
3	* 921.34
4	* 808.69
5	* 746.46
6	* 709.78
7	* 687.98
8	* 675.78
9	* 670.26
10	* 669.68
11	* 672.98
12	* 679.48
13	* 688.74
14	* 700.85
15	* 715.79
16	* 733.37
17	* 753.49
18	* 776.12
19	* 801.30
20	* 829.08
21	* 859.59
22	* 892.99
23	* 929.48
24	* 969.30
25	* 1012.75

FIGURA III - 14 Salida del programa MODELO

DEMANDA (T) = 250.00EXP(0.1133 * T) + 0.0ESC(0) + 0.0ESC(0) + 0.0ESC(0) ***

ANº DE AMPLIACION : 10

T	COMPREC	COMPDECREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	314021.	1.58208E6	1.89610E6	280.00	1136.25	5.5610	1.41257E6
2	323359.	835815.	1.15917E6	313.60	1136.25	5.5610	1.41257E6
3	333216.	588122.	921337.	351.23	1136.25	5.5610	1.41257E6
4	343619.	465066.	808686.	393.38	1136.25	5.5610	1.41257E6
5	354604.	391861.	746464.	440.59	1136.25	5.5610	1.41257E6
6	366205.	343573.	709778.	493.46	1136.25	5.5610	1.41257E6
7	378465.	309519.	687984.	552.67	1136.25	5.5610	1.41257E6
8	391428.	284354.	675782.	618.99	1136.25	5.5610	1.41257E6
9	405147.	265110.	670256.	693.27	1136.25	5.5610	1.41257E6
10	421020.	330497.	751516.	776.46	2272.93	2.7800	1.86738E6
11	436865.	314495.	751360.	869.64	2272.93	2.7800	1.86738E6
12	452867.	301464.	754331.	973.99	2272.93	2.7800	1.86738E6
13	469169.	290708.	759877.	1090.87	2272.93	2.7800	1.86738E6
14	485887.	281734.	767621.	1221.78	2272.93	2.7800	1.86738E6
15	503125.	274177.	777302.	1368.39	2272.93	2.7800	1.86738E6
16	520978.	267764.	788741.	1532.60	2272.93	2.7800	1.86738E6
17	539538.	262286.	801824.	1716.51	2272.93	2.7800	1.86738E6
18	558899.	257581.	816480.	1922.49	2272.93	2.7800	1.86738E6
19	579159.	253521.	832680.	2153.19	2272.93	2.7800	1.86738E6
20	600613.	250003.	850615.	2411.57	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.30 %		
21	623507.	246942.	870450.	2700.96	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.94 %		
22	647921.	244273.	892194.	3025.08	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.65 %		
23	673955.	241938.	915893.	3388.09	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.45 %		
24	701728.	239890.	941618.	3794.66	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	8.35 %		
25	731383.	238091.	969474.	4250.02	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	9.35 %		

FIGURA III - 14 , cont.

AN ^o	COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES
1	1896.10 FUERA DE ESCALA
2	
3	* 921.34
4	* 808.69
5	* 746.46
6	* 709.78
7	* 687.98
8	* 675.78
9	* 670.26
10	* 751.52
11	* 751.36
12	* 754.33
13	* 759.88
14	* 767.62
15	* 777.30
16	* 788.74
17	* 801.82
18	* 816.48
19	* 832.68
20	* 850.62
21	* 870.45
22	* 892.19
23	* 915.89
24	* 941.62
25	* 969.47

FIGURA III - 15 Salida del programa MODELO

DEMANDA(T) = 250.00EXP(0.1133 * T) + 0.0ESC(0) + 50.0ESC(5) + 100.0ESC(10) ***

ANº DE AMPLIACION : 10

T	COMPREC	COMPDECRC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	314021.	1.58208E6	1.89610E6	280.00	1136.23	5.5610	1.41257E6
2	323359.	835815.	1.15917E6	313.60	1136.25	5.5610	1.41257E6
3	333216.	588122.	921337.	351.23	1136.25	5.5610	1.41257E6
4	343619.	465066.	808686.	393.38	1136.25	5.5610	1.41257E6
5	355139.	391861.	746999.	490.59	1136.25	5.5610	1.41257E6
6	367245.	343573.	710818.	543.46	1136.25	5.5610	1.41257E6
7	379997.	309519.	689516.	602.67	1136.25	5.5610	1.41257E6
8	393451.	284354.	677805.	668.99	1136.25	5.5610	1.41257E6
9	407661.	265110.	672771.	743.27	1136.25	5.5610	1.41257E6
10	424245.	330497.	754742.	926.46	2272.93	2.7800	1.86738E6
11	440200.	314495.	754696.	919.64	2272.93	2.7800	1.86738E6
12	456343.	301464.	757807.	1023.99	2272.93	2.7800	1.86738E6
13	472809.	290708.	763517.	1140.87	2272.93	2.7800	1.86738E6
14	489712.	281734.	771445.	1271.78	2272.93	2.7800	1.86738E6
15	507150.	274177.	781327.	1418.39	2272.93	2.7800	1.86738E6
16	525218.	267764.	792982.	1582.60	2272.93	2.7800	1.86738E6
17	544006.	262286.	806292.	1766.51	2272.93	2.7800	1.86738E6
18	563606.	257581.	821187.	1972.49	2272.93	2.7800	1.86738E6
19	584114.	253521.	837635.	2203.19	2272.93	2.7800	1.86738E6
20	605893.	250003.	855896.	2461.57	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.41 %		
21	629112.	246942.	876055.	2750.96	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.05 %		
22	653850.	244273.	898123.	3075.08	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.76 %		
23	680207.	241938.	922145.	3438.09	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.56 %		
24	708304.	239890.	948194.	3844.66	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	8.46 %		
25	738284.	238091.	976375.	4300.02	2272.93	2.7800	1.86738E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	9.46 %		

FIGURA III - 15 , cont.

AN~O COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES

1	1896.10 FUERA DE ESCALA	
2		* 1159.17
3		* 921.34
4		* 808.69
5		* 747.00
6		* 710.82
7		* 689.52
8		* 677.80
9		* 672.77
10		* 754.74
11		* 754.70
12		* 757.81
13		* 763.52
14		* 771.45
15		* 781.33
16		* 792.98
17		* 806.29
18		* 821.19
19		* 837.64
20		* 855.90
21		* 876.05
22		* 898.12
23		* 922.14
24		* 948.19
25		* 976.37

FIGURA III - 16

Salida del programa MODELO

ALTERNATIVA A11 PROYECTO PROYEC1

INCREMENTO DE LA INVERSION DE AMPLIACION EN 20%,
INCREMENTO DE LA TASA DE INTERES DE 5 PUNTOS
DEMÁS DATOS SIMILARES A A1

LOS PARAMETROS ACTUALES DE LA ALIMENTADORA SON :

	INICIAL	AMPLIACION	
INVERSION :	1803.43	2164.11	MILES SUCRES
EQUIPOS DE AMPLIACION :		0.00	MILES SUCRES
RESISTENCIA :	3.6790	1.8390	OHMIOS
REACTANCIA :	4.3620	2.1810	OHMIOS
CAPACIDAD :	1491.93	2984.33	KW
VOLTAJE LINEAS:	13.80	13.80	KV
FACTOR DE POTENCIA :	0.85	0.85	
MANTENIMIENTO ANUAL :	150.00	150.00	MILES SUCRES
PRECIO DE LA ENERGIA :	5.7700	5.7700	MILES SUCRES
TASA DE INTERES :	0.1250		

FIGURA III - 16 , cont.

$$\text{DEMANDA (T)} = 250.00\text{EXP}(0.1133 * T) + 0.0\text{ESC}(0) + 50.0\text{ESC}(5) + 100.0\text{ESC}(10) \quad \text{***}$$

AÑO DE AMPLIACION : 26

T	COMPREC	COMPDECREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	363966.	2.02886E6	2.39282E6	280.00	1491.93	3.6790	1.80343E6
2	372952.	1.07410E6	1.44705E6	313.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
3	382394.	757316.	1.13971E6	351.23	1491.93	3.6790	1.80343E6
4	392310.	600015.	992325.	393.38	1491.93	3.6790	1.80343E6
5	402663.	506500.	909163.	490.59	1491.93	3.6790	1.80343E6
6	413652.	444870.	858521.	543.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
7	425252.	401449.	826701.	602.67	1491.93	3.6790	1.80343E6
8	437467.	369400.	806868.	668.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
9	450313.	344924.	795237.	743.27	1491.93	3.6790	1.80343E6
10	464477.	325739.	790215.	926.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
11	478632.	310392.	789025.	919.64	1491.93	3.6790	1.80343E6
12	493517.	297916.	791434.	1023.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
13	509174.	287639.	796814.	1140.87	1491.93	3.6790	1.80343E6
14	525652.	279082.	804734.	1271.78	1491.93	3.6790	1.80343E6
15	543007.	271892.	814899.	1418.39	1491.93	3.6790	1.80343E6
16	561609.	265805.	827414.	1582.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.30 X		
17	581722.	260618.	842340.	1766.51	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	5.92 X		
18	603345.	256175.	859520.	1972.49	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	6.61 X		
19	626507.	252351.	878858.	2203.19	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	7.38 X		
20	651259.	249046.	900305.	2461.57	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	8.25 X		
21	677676.	246180.	923856.	2750.96	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	9.22 X		
22	705854.	243688.	949542.	3075.08	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	10.31 X		
23	735912.	241514.	977427.	3438.09	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	11.52 X		
24	767992.	239615.	1.00761E6	3844.66	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	12.88 X		
25	802258.	237951.	1.04021E6	4300.02	1491.93	3.6790	1.80343E6
*** LIMITE DE REGULACION ***				CAIDA DE VOLTAJE :	14.41 X		

FIGURA III - 16 , cont.

AN*O	COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUCRES
1	2392.82 FUERA DE ESCALA
2	1447.05 FUERA DE ESCALA
3	
4	* 992.32
5	* 909.16
6	* 858.52
7	* 826.70
8	* 806.87
9	* 795.24
10	* 790.22
11	* 789.02
12	* 791.43
13	* 796.81
14	* 804.73
15	* 814.90
16	* 827.41
17	* 842.34
18	* 859.52
19	* 878.86
20	* 900.31
21	* 923.86
22	* 949.54
23	* 977.43
24	* 1007.61
25	* 1040.21

La mayoría de los equipos eléctricos pueden ser representados mediante una resistencia y/o una reactancia. Desde este punto de vista, el programa MODELO sirve de base para desarrollar nuevos programas, que calculen características económicas de proyectos eléctricos tales como instalación óptima de Transformadores, Generadores y Motores.

Los cálculos económicos que efectúa el programa, comprenden la base de cualquier otro estudio de costos de operación, de proyectos que tengan como variable de entrada una función demanda y cuyos parámetros se puedan reducir a un circuito similar al de una alimentadora eléctrica.

También es posible considerar que un parámetro de entrada es solamente una condición inicial, e iterar hasta conseguir su valor para costos mínimos. Otra posibilidad, es definir variables como la tasa de retorno ó la constante exponencial de crecimiento de la demanda, ó el precio de la energía, como funciones del tiempo (de manera similar a la definición de la DEMANDA(t)). De modo que las posibilidades son ilimitadas.

IV. ASPECTOS DEL ANALISIS DE LAS ALTERNATIVAS
PARA ALIMENTADORAS ELECTRICAS

4.1. El Punto de Costo Mínimo de una Alternativa
de Alimentadora Eléctrica.

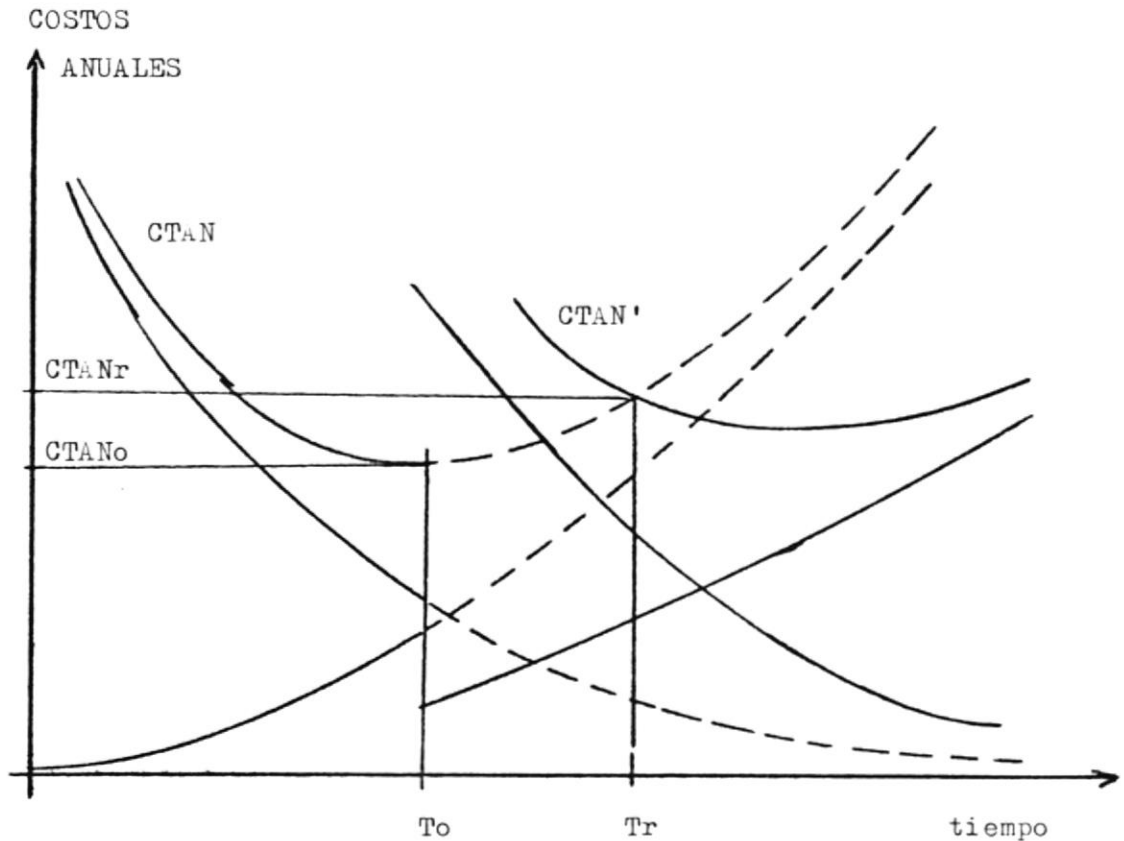
Los problemas que el diseñador debe enfrentar son dos: el diseño óptimo de cada alternativa, y la selección de cuál de las diferentes alternativas ya optimizadas se va a utilizar para la ejecución del proyecto. Estos dos conceptos de selección, no pueden existir independientes uno del otro, pues por un lado, no tiene sentido escoger entre varias alternativas cuando entre éstas no se encuentran las mejores opciones, y por el otro, siempre existen por lo menos una pareja de caminos a seguir, aún en el más simple de los casos, y siempre hay que seleccionar el más adecuado.

El problema del costo óptimo de una alternativa de un proyecto, se ataca con modelos matemáticos de cada caso, hay los casos simples como los modelos de Inventario ó el modelo de Kelvin (1), y los casos cuyo nivel matemático exige el uso de Computadores digitales. Y aquí aparece el inconveniente a la simple solución de una fórmula, ó el resultado único que sale de un programa de computación to -

talmente automatizado, y es que el ahorro de tiempo que a parece al aplicar simplemente datos y obtener un valor único de solución "óptima", conlleva una desventaja oculta, y es que un valor único de la variable de diseño no nos muestra el rango de variación de la variable, dentro del cual los costos de interés tienen una variación tolerable. Usualmente lo que necesitaremos, es el rango de costo mínimo, más que un punto de costo mínimo. Conocido este rango, se puede considerar mejor los "irreducibles" que entran en la mayoría de los costos. Es por esta razón que los programas diseñados en el capítulo anterior, que evalúan los costos anuales, tienen como salida un conjunto de pares de valores en lugar de un solo valor mínimo solución, y es que se diseñó cada programa, con miras a una interacción directa de la calculadora con el planificador que estudia el problema, al que se desea entregar la información necesaria para que su decisión (ya que la decisión la toma él), se apoye en las mejores apreciaciones posibles.

Adicionalmente, en los modelos matemáticos que describen los comportamientos de estas funciones de costos, se tiene siempre que el constructor del modelo debe aceptar ciertos compromisos con la realidad, unas veces para simplificar el tratamiento matemático del problema, otras en que

GRAF. IV-1 EL TIEMPO DE INVERSION Y
TIEMPO DE RUPTURA



CTAN = Costos totales anuales, curva inicial,

CTAN' = Costos totales anuales luego de la ampliación,

To = tiempo en que CTAN tiene un valor mínimo $CTAN_0$,

$CTAN_0$ = valor mínimo de la función costos inicial CTAN,

$Pr = (Tr, CTAN_r)$, el punto de ruptura de paridad,

Tr = tiempo de ruptura, a partir del que se hace conveniente la ampliación,

$CTAN_r$ = Valor de la función costos en el punto de ruptura.

no es posible utilizar matemáticas si no se aceptan los compromisos, pero los encontraremos tanto en los modelos muy complejos como en los más simples.

Por último, recordemos que la optimización del proyecto de alimentadora eléctrica, está limitado por el tiempo de vida útil de los equipos, por lo que es posible que la alternativa inicial, si se la deja seguir operando más allá del punto de costo mínimo en el tiempo, resulte más conveniente que la alternativa con ampliación efectuada en este punto de costo mínimo. Así tenemos que en la figura IV-1, existe un punto de ruptura P_r , a partir del cual recién comienza a ser más conveniente la ampliación. Este factor es de importancia cuando existen limitaciones dadas sobre la vida del proyecto, y que el diseñador debe anotar. Este es otro motivo para que la salida de los programas de costos, tengan la forma como se recalcó. Entonces, la forma original de la alternativa, se convierte en otra alternativa que se debe considerar, y se suma a todas las demás variaciones que se analizan.

4.2. Sobre las Técnicas para la Selección de la Alternativa más Conveniente.

Una vez obtenida la característica de costos de cada alternativa del proyecto, se procede a la selección de cuál es más conveniente ejecutar. Se tiene tres métodos de selección, conocidos como: a) comparaciones de valor presente, b) comparación de costo anual, y c) evaluación de la Tasa de Retorno que toma la inversión. Los dos primeros, son de mayor uso en servicios públicos, y el método c, es más apropiado para la inversión privada.

La diferencia que se tiene entre los servicios públicos y los privados, radica en la disponibilidad de capital para efectuar inversiones. La empresa privada, no posee el capital que quisiera para efectuar todas las inversiones en que recibiría beneficios, por lo tanto necesita calcular la tasa de retorno de sus proyectos, e invertir sólo en a aquellos que ofrecen mayor rentabilidad. Entonces, una empresa pública podría utilizar para sus decisiones los métodos a y b, que son muy sencillos, pero el diseñador muy exigente y el que necesita optimizar todos sus recursos para mantenerse en una competencia, sólo puede optar por el análisis de la mejor tasa de retorno de un conjunto de alternativas propuestas.

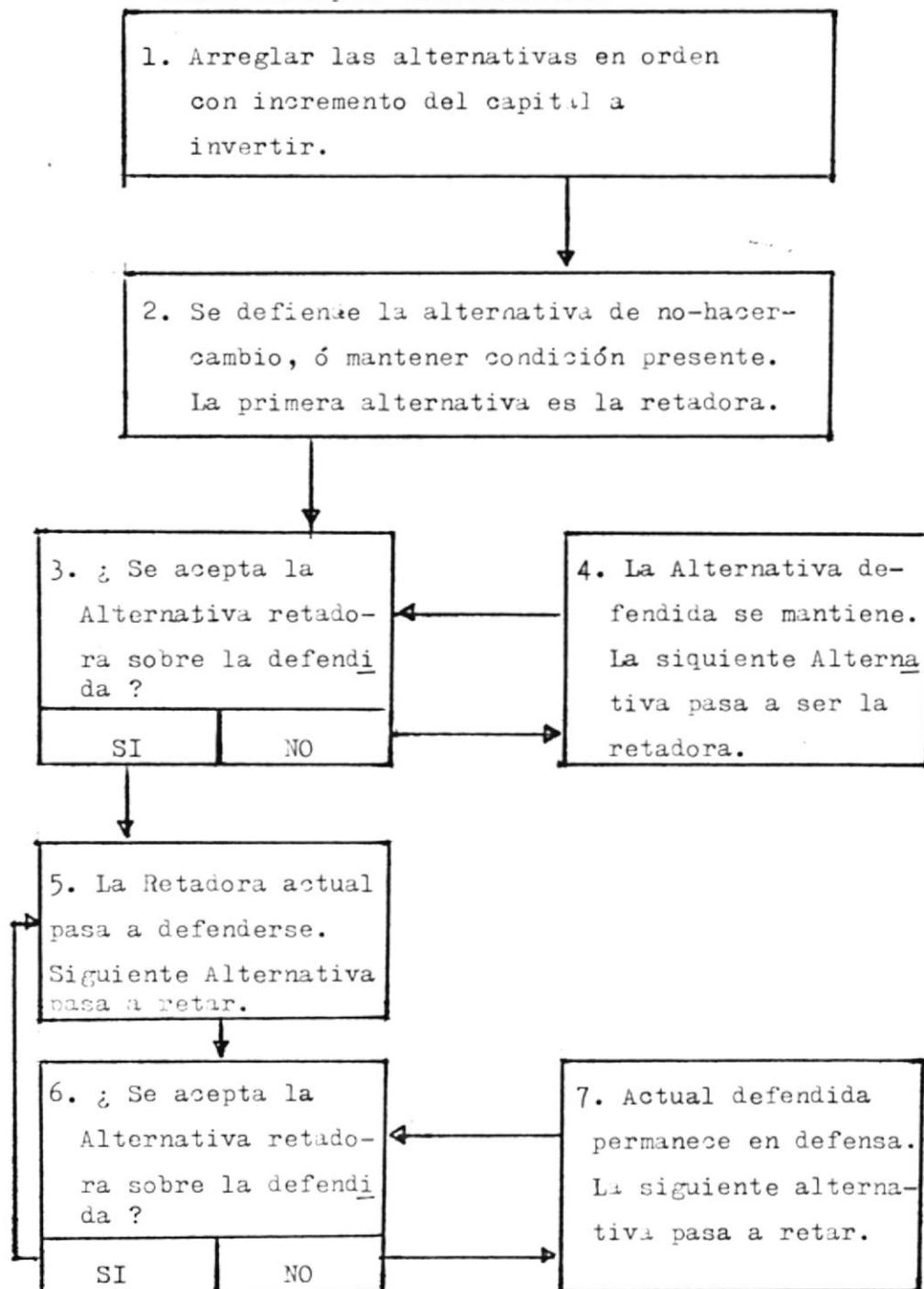
La selección que nos interesa realizar, es del tipo de al
ternativas excluyentes entre sí, es decir, que sólo se va
a ejecutar una de las alternativas propuestas. Cuando los
tiempos de vida de las alternativas en consideración son
iguales, el análisis es muy sencillo, y consiste en:

a) Se calcula el valor presente de los costos de las alter
nativas bajo estudio, y se escoge la de menor valor, resul
tando que ésta será la que en total involucre menores cos
tos para prestar el servicio deseado; b) Se calcula el va
lor de Costos Totales Anuales de cada alternativa y se los
compara, escogiendose el de menor valor; y c) utilizando
las expresiones de la tasa de interés, (C), se calcula
el valor del interés i , para el cual las alternativas com
paradas de dos en dos, alcanzan el mismo valor presente,
y si la alternativa de mayor inversión inicial no consi
gue justificar la diferencia de inversión con los benefi
cios que ofrece en toda la vida del proyecto, con una ta
sa de rentabilidad mínima seleccionada por el diseñador,
los costos adicionales no se aceptan.

En el gráfico IV-2, se muestra el flujo para la toma de la
decisión de la alternativa deseada. Cuando se utiliza el
método de comparación del valor presente, se tiene la ven
taja de que es fácil de automatizar, pero se pierde infor

GRAFICO IV-2

Diagrama de los pasos cuando se efectúan comparaciones entre múltiples alternativas.



mación sobre las tendencias de los costos del proyecto, y que un diseñador posiblemente desearía apreciar.

Cuando se utiliza el método del costo anual, el diseñador puede observar mejor las diferencias a lo largo del proyecto en los costos, y compararlas con la diferencia de inversión adicional. Este método cobra fuerza cuando las vidas de los proyectos son diferentes, pero es entonces cuando también la reflexión del diseñador pasa a decidir la selección.

El método de la tasa mínima de interés, involucra un conjunto de cálculos adicionales, muy molestos si se realizan manualmente, pero es la más efectiva y favorita de los ingenieros en la actualidad. En la figura IV-3, se muestra el diagrama de flujo para el cálculo de la relación Costos Beneficios del uso ó no de la ampliación en T_0 cuando se calculan los costos de la alimentadora eléctrica en el artículo 3.3. Notamos que es más conveniente la utilización de un arreglo de valores de los costos de cada año, para optimizar el uso del computador. En el apéndice G, se tiene el programa y un ejemplo del cálculo para el caso del apéndice F.

GRAFICO IV-3

Diagrama de Flujo para el cálculo de la Tasa de Rendimiento de la inversión, para tiempos de vida iguales.

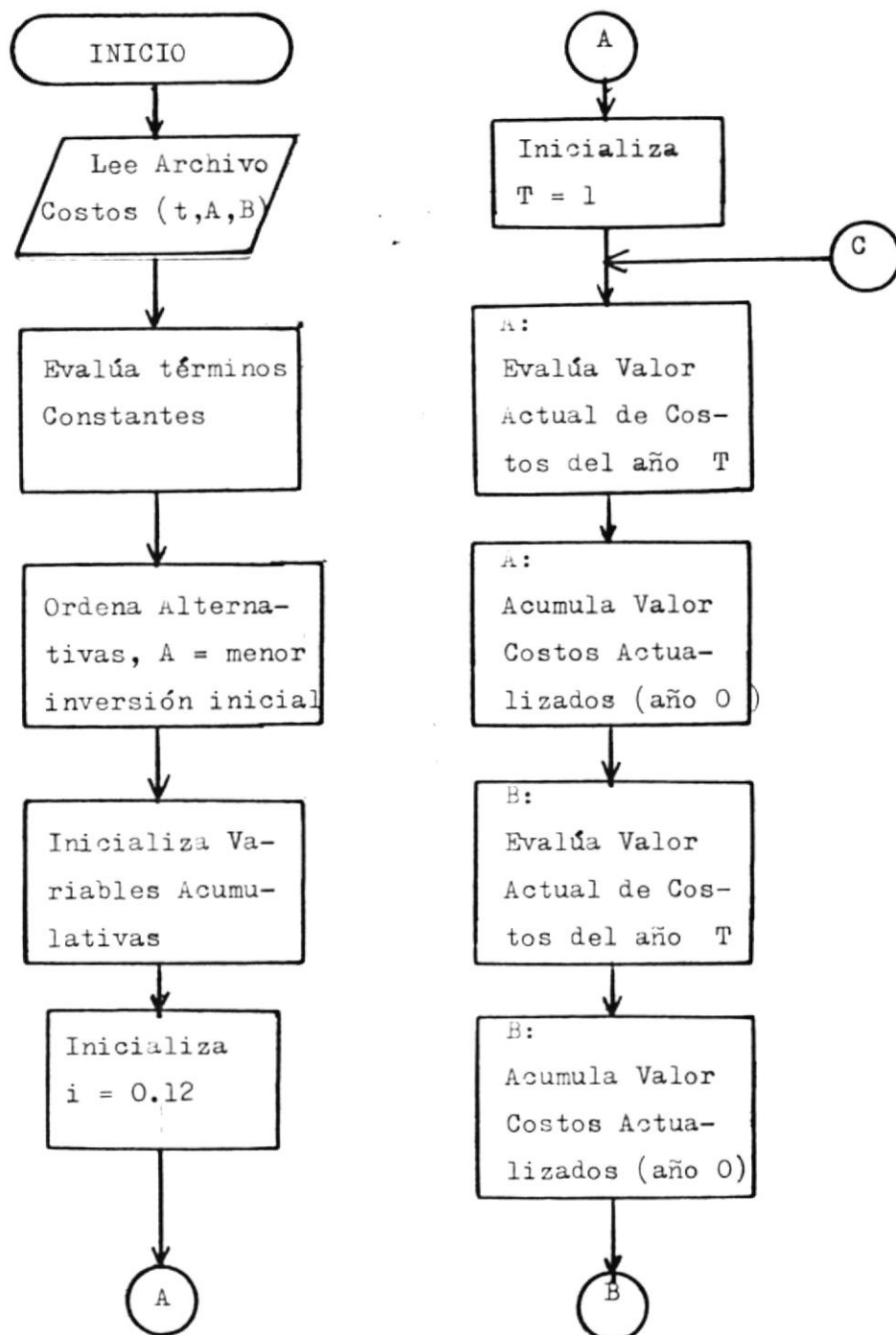
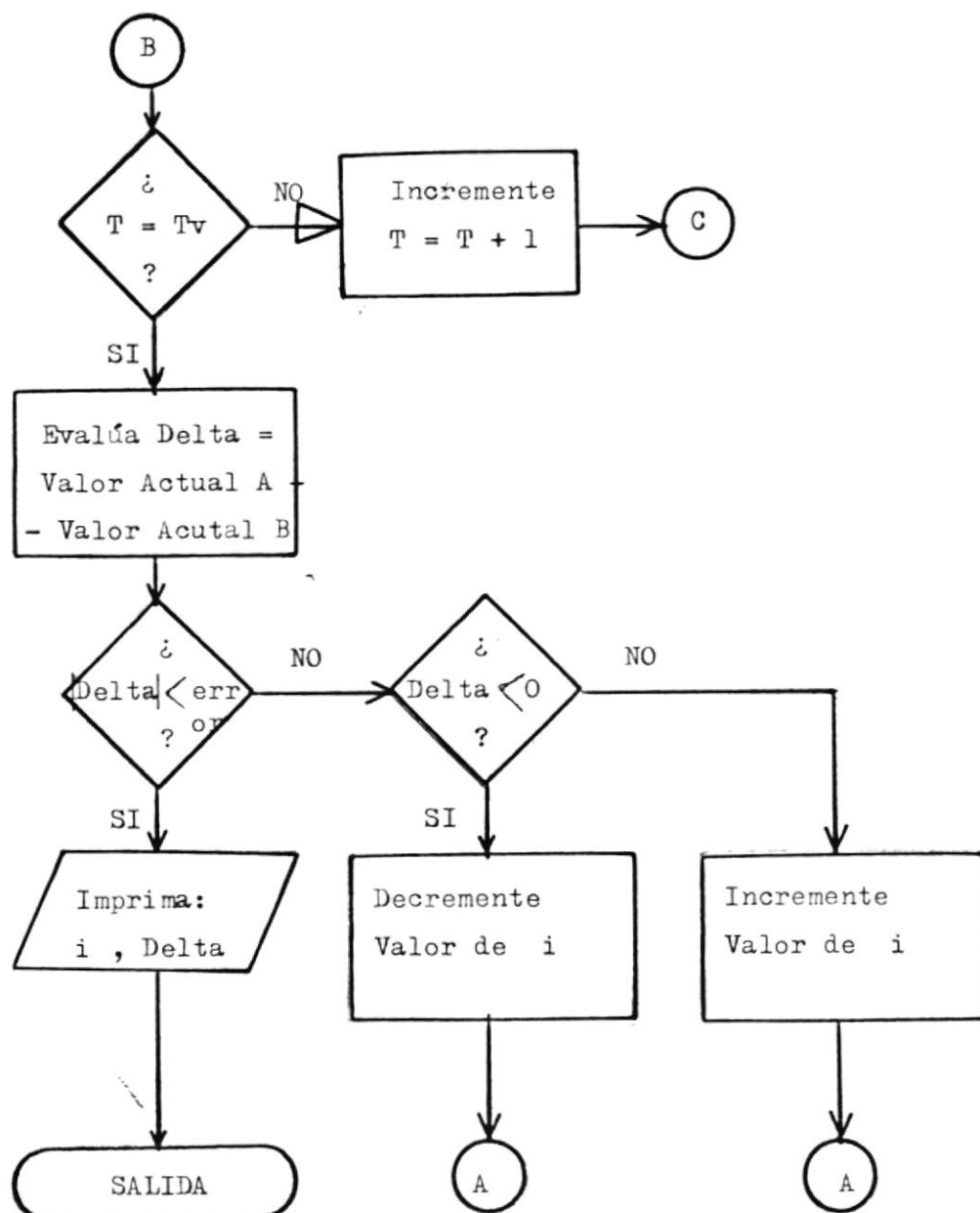


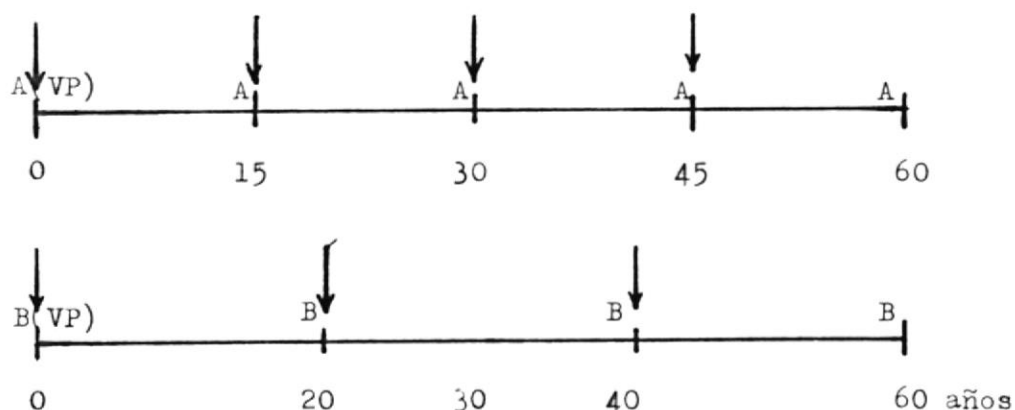
GRAFICO IV-3 (continuación)



Cuando las vidas de los proyectos son desiguales, se introducen variaciones a los métodos a y c, que dependen del tiempo directamente. El método del costo anual equivalente, es una forma virtualmente independiente del tiempo, y las razones se exponen a continuación.

El método de comparar valores presente de los costos totales del proyecto de Alimentadora Eléctrica, es relativamente sencillo, y consiste en obtener el mínimo común múltiplo de las vidas de las alternativas, y suponer que el caso reproduce los costos como al comienzo del estudio. Esto es, que el proyecto se repite continuamente hasta alcanzar la misma vida que su alternativa contra la que se compara. Así, en la figura IV-4, tenemos que para dos alternativas A y B, los tiempos de vida correspondientes de 15 y 20 años, el método en la escala del tiempo se vería:

GRAF. IV-4 METODO PARA VIDAS DESIGUALES



Vemos en la figura IV-4 que los proyectos se repiten para condiciones similares de costos hasta alcanzar igualdad de tiempos de vida. En las flechas, se indica la inserción de un costo que es el mismo valor presente del año cero. Utilizando la expresión para el factor $Sppwf (C)$, para el correspondiente año n , tendríamos:

$$\begin{aligned} \text{Valor Presente de A (para comparar en 60 años)} &= \\ &= A + A \cdot i_{-15}^{Sppwf} + A \cdot i_{-30}^{Sppwf} + A \cdot i_{-45}^{Sppwf} \quad , \text{ y para} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Valor Presente de B (para comparar en 60 años)} &= \\ &= B + B \cdot i_{-20}^{Sppwf} + B \cdot i_{-40}^{Sppwf} \quad \text{Ecs. 4.1} \end{aligned}$$

Según el método, el menor valor es el buscado para decidir cuál alternativa es la de menor costo.

La sencillez de este método, presenta el inconveniente de que el diseñador pierde visión de lo que sucede en los costos, y que lo que observa es una simple diferencia de magnitud de costos actualizados, que muchas veces no significan nada real, ya que el efecto de trabajar con un mínimo común múltiplo de digamos 13 y 17 años, significa referir costos a 221 años, de lo que la única cosa segura que se afirma es que el menor presenta cuadro de costos inferiores.

Cuando se desea hacer una comparación de costos anuales e quivalentes de dos alternativas de un proyecto, hay que te ner presente una serie de conceptos adicionales que pueden decidir sobre una simple elección del menor valor. Al res pecto, citemos a E. L. Grant, que define completamente la situación:

Una visión algo más sofisticada del asunto, reconoce que la decisión presente entre una alternativa de vida alargada y otra de vida corta es simplemente una decisión como qué hacer ahora! Con el objeto de llegar a la decisión ahora de lo que será a la larga la mejor, es apropiado considerar qué podría suceder después del fin de la vida de la alternativa de vida más corta. En el caso de que la alternativa de mayor vida, y mayor costo anual equivalente, y mayor inversión inicial, se compare con una de menor tiempo de vida, menor inversión inicial y costo anual equivalente, una predicción de que la estructura de remplazamiento al fin del período de la vida más corta tendrá costos anuales mucho mayores que los iniciales, hará que se pre fiera la alternativa de tiempo de vida más largo. Similarmente, un pronóstico de que el remplazamiento va a tener un costo anual mucho me nor, dará peso a la elección del plan de vida más corta. En general, predicciones de incrementos de costos y costos extra debidos al rem plazamiento, son favorables a la selección de

alternativas de más larga vida; predicciones de avances tecnológicos, cambios en servicios requeridos, y reducciones de precios, van a favorecer las alternativas de vidas más cortas. La medida en la que tales predicciones puedan ser evaluadas numéricamente en las comparaciones de costos y la medida en que deban ser tomadas sólo como información irreducible, variará dependiendo de las circunstancias.

Y es aquí donde aparece la decisión del ingeniero planificador, que debe sopesar la situación y estimar en lo posible las tendencias futuras. El método del valor presente que ya anotamos, se basa realmente en una predicción, y es la de esperar que las condiciones de remplazamiento se repetirán sin variar con relación a los costos iniciales. La misma predicción utiliza el método de la tasa mínima de rendimiento, ya que el método consiste en repetir los costos de cada plan hasta conseguir tiempos de comparación iguales, y se aplica un cálculo similar al del diagrama de la figura IV-3.

El caso que falta, es cuando la alternativa de más larga vida, de mayor inversión inicial, posee un costo anual equivalente inferior a la alternativa de vida más corta, y la decisión evidentemente favorece al plan de menor Costo

Anual Equivalente.

En el caso de los equipos de las Alimentadoras Eléctricas, el tiempo de vida del proyecto para el que se tienen costos anuales mínimos, es el que va a decidir la vida económica que se va a utilizar en los análisis de selección de la alternativa a seguir, por tanto, las decisiones incluirán el caso de vidas diferentes que se acaba de mencionar. Para el análisis eléctrico, el mejor método que se puede tener es el de la comparación de los costos anuales equivalentes de las alternativas, con el respectivo tiempo de vida económico que los hace mínimos, y se lo prefiere, porque es el que mejor permite la evaluación del criterio de quien planifica en una interacción hombre-máquina. En efecto, como se mencionó de este método, una vez que la máquina evalúa los costos anuales equivalentes para cada vida estimada de la alimentadora, los presenta al ingeniero y es su criterio el que decidirá la selección, con el que se tomarán en consideración los detalles expresados en la cita anotada, sus propias ideas de economía, y las pruebas adicionales que seguramente realizará, para calcular tasa de rendimiento, etc, que son elementos de juicio para la decisión que debe tomar. Existen criterios adicionales, que se exponen en los siguientes artículos del trabajo.

4.3. Criterios para Decidir sobre Remplazamiento del Equipo de una Alimentadora Eléctrica.

Los criterios que deciden los remplazamientos de equipos, complementan las consideraciones que entran en la selección que se desea realizar, porque permiten considerar más claramente lo que sucederá al final de la vida económica calculada para la operación del proyecto.

Como se demostró en el primer capítulo del presente trabajo, un diseño de alimentadora eléctrica tiene un punto mínimo de costos anuales equivalentes $CTAN_0$, en un cierto T_0 tiempo óptimo de vida de la alimentadora. Utilizando la asumción mencionada en el artículo anterior, si deseamos seguir prestando el servicio, podemos reproducir el proyecto considerando que los costos son idénticos a la alternativa inicial, en cuyo caso el momento óptimo para reemplazar sería el año siguiente al T_0 , es decir T_0+1 , y los costos se mantendrían en su punto óptimo. En el apéndice H, se demuestra las características de los costos de operación en el año óptimo de reemplazo. Mas qué sucede, que los costos de las Alimentadoras Eléctricas dependen de una función creciente de Demanda, que hace que el costo anual equivalente óptimo del proyecto que reemplaza, sea presuntamente diferente superior que el inicial, lo que nos

obliga a regresar a la premisa básica del replazamiento óptimo:

$$CTAN(Tr) < CTAN(Tr-1) \quad , \quad (H) \quad , \quad \text{Exp. 4.2}$$

que expresa que en el año óptimo de replazamiento Tr , el costo total anual equivalente $CTAN(Tr)$ que correspondería al costo óptimo de la nueva alimentadora, será siempre menor al costo total anual equivalente en el año anterior $CTAN(Tr-1)$, de la alimentadora que se replaza. Cuando el costo mínimo de la nueva alimentadora es igual al de la original que se desea replazar, según el apéndice H demuestra, el tiempo óptimo de replazar es el mismo To , año en que sucede el costo total anual equivalente mínimo.

La experiencia hasta hoy ha visto que los costos mínimos para las alimentadoras, crecen con el tiempo, lo cual se puede observar fácilmente de las expresiones I.15 e I.16 donde el término inversión inicial constituye un valor decisivo en el término independiente de la función costos; al aumentar la demanda con el tiempo, la inversión será mayor que la correspondiente a la alternativa anterior,

(H) Ver Apéndice H.

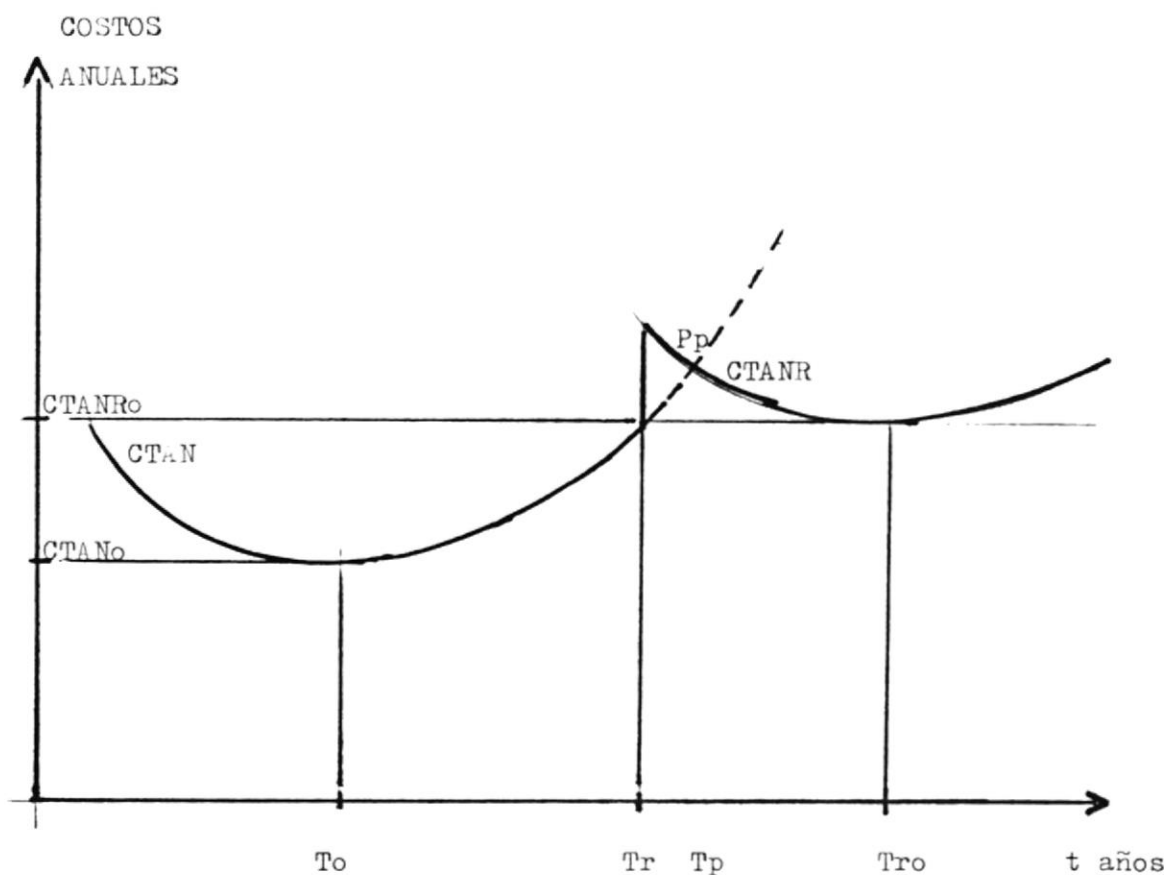
y mayor el costo óptimo de la nueva alimentadora. (1)
Lo anterior, implicaría que el año más conveniente para el
reemplazo, ya no sería el T_0 de la alimentadora anterior,
sino aquél año a partir del cual los costos anuales equi-
valentes de la alternativa que se defiende, sean mayores
que el costo total anual equivalente óptimo de la alterna-
tiva que desafía. Tendríamos entonces un caso como el del
gráfico IV-5, donde la curva de la izquierda, corresponde
a los costos anuales de la alimentadora que se defiende,
y a la derecha la alternativa que la desafía.

En el apéndice H, aparece con las expresiones de reemplazo
óptimo, el término R_n , que es el valor de reventa, ó valor
residual de la inversión inicial, en el año n . Este térmi-
no, forma parte de la decisión para reemplazar, en la for-
mulación general de reemplazo en Investigación de Operacio-
nes. En el caso de las Alimentadoras Eléctricas, para a-
plicar tales conceptos, hay que puntualizar lo siguiente:
en el caso de que el tiempo de reemplazo sea cercano al de
la vida útil de los equipos de la alimentadora, el valor

(1) Dado el avance de la ciencia, es posible que en un
futuro anterior al tiempo óptimo de la alimentadora
se obtenga una forma de alimentación de menor costo
que la tradicional, como la fibra óptica en telefonía.

GRAF. IV-5

El Punto óptimo de remplazo económico.



CTAN = función de Costos Totales Anuales que se defiende.

CTANo = valor mínimo de CTAN.

CTANR = Costos Anuales Totales de la propuesta de remplazo.

CTANRo = Valor mínimo de la función CTANR.

To = tiempo en que se tiene el valor CTANo.

Tro = tiempo en que se tiene el valor CTANRo.

Tr = tiempo en que se cumplen las condiciones de remplazo.

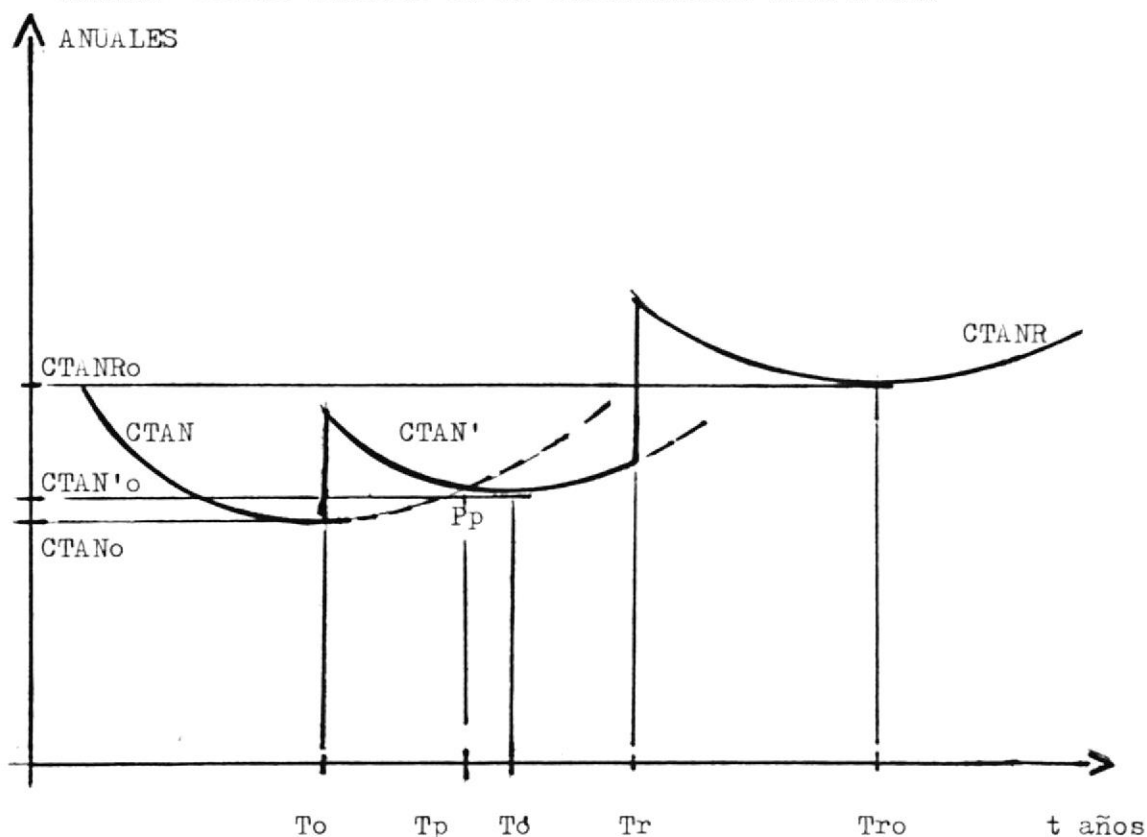
Pr = punto de ruptura de paridad, en el año Tr.

de reventa de los equipos es prácticamente cero, mientras que si el tiempo de remplazo es inferior al de la vida útil por un valor de consideración, también sería significativo el valor de R_n . Pero qué ocurre con las alimentadoras eléctricas, que dado su utilización poco común como equipo en el mercado, no es muy viable su reventa una vez que se llega a pasar el punto de operación a costos anuales equivalentes mínimos, y se tiene un equipo con vida útil pero de reventa que es poco factible. Dado que el valor residual es en este caso muy considerable, no permitirá la optimización del remplazamiento, en el sentido que para cumplir la ecuación de remplazamiento óptimo, la alimentadora original deberá operar en condiciones muy diferentes a las de costo mínimo, hasta alcanzar el siguiente proyecto de remplazamiento, que tiene un costo anual equivalente mínimo, que es muy diferente al anterior, un costo mínimo mayor, que no permite un remplazamiento sino mucho después de que la alimentadora que se defiende ha operado lejos de su punto óptimo. En la figura IV-5 se ilustra esta operación fuera del punto óptimo, entre T_o y T_r .

Nos enfrentamos ahora a la cuestión, qué hacer para aprovechar el tiempo de vida residual, que se refleja en R_n , y mantenernos cerca de la operación óptima?

GRAF. IV-6

Forma Modificada de la curva de la función
COSTOS Costos Anuales de la alimentadora eléctrica.



CTAN = función Costos Anuales Totales Equivalentes de la Alimentadora inicial,

CTANo , To = Valor mínimo de la función CTAN y tiempo en que se da,

CTAN' = Costos Totales Anuales Equivalentes luego de realizada la ampliación de capacidad en la alimentadora inicial,

CTAN'o , Tó' = Valor mínimo de la función CTAN' , y tiempo para él,

CTANR = función Costos Totales Anuales Equivalentes de la Alimentadora propuesta como reemplazo,

CTANRo , Tro = punto mínimo de la función CTANR,

Pp = punto de ruptura de paridad, en el año Tp.

Dado que lo que necesitamos es reducir el costo anual total equivalente de la alimentadora que se defiende, para los años cercanos al fin de la vida útil de dicha alimentadora, la solución está en pensar una inversión sobre el proyecto que se defiende, que produzca como beneficios la reducción que se menciona. En el capítulo II del presente trabajo, se analizó los efectos de una inversión de ampliación sobre los costos anuales equivalentes, cuando és tos llegan a su punto mínimo, y los resultados obtenidos fueron los que ahora estamos buscando para el problema de reemplazo óptimo. En el gráfico IV-6, tenemos la forma modificada de la función costos de la alimentadora, cuando se ha ejecutado una inversión de ampliación en To como se recomendaba en el capítulo II. Recalcamos aquí, que los criterios de reemplazo siguen siendo válidos en el tiempo Tr que se desea determinar.

Los criterios hasta aquí expuestos, comparan parejas de alternativas, ó deciden la conveniencia de ejecutar inversión ó reemplazo en un momento dado, y el tiempo dentro del cual es válido el criterio de minimización del Costo Anual Equivalente dado. Vamos ahora a revisar la técnica para enfrentar las decisiones que hay que tomar cuando nos enfrentamos a todas las posibilidades propuestas.

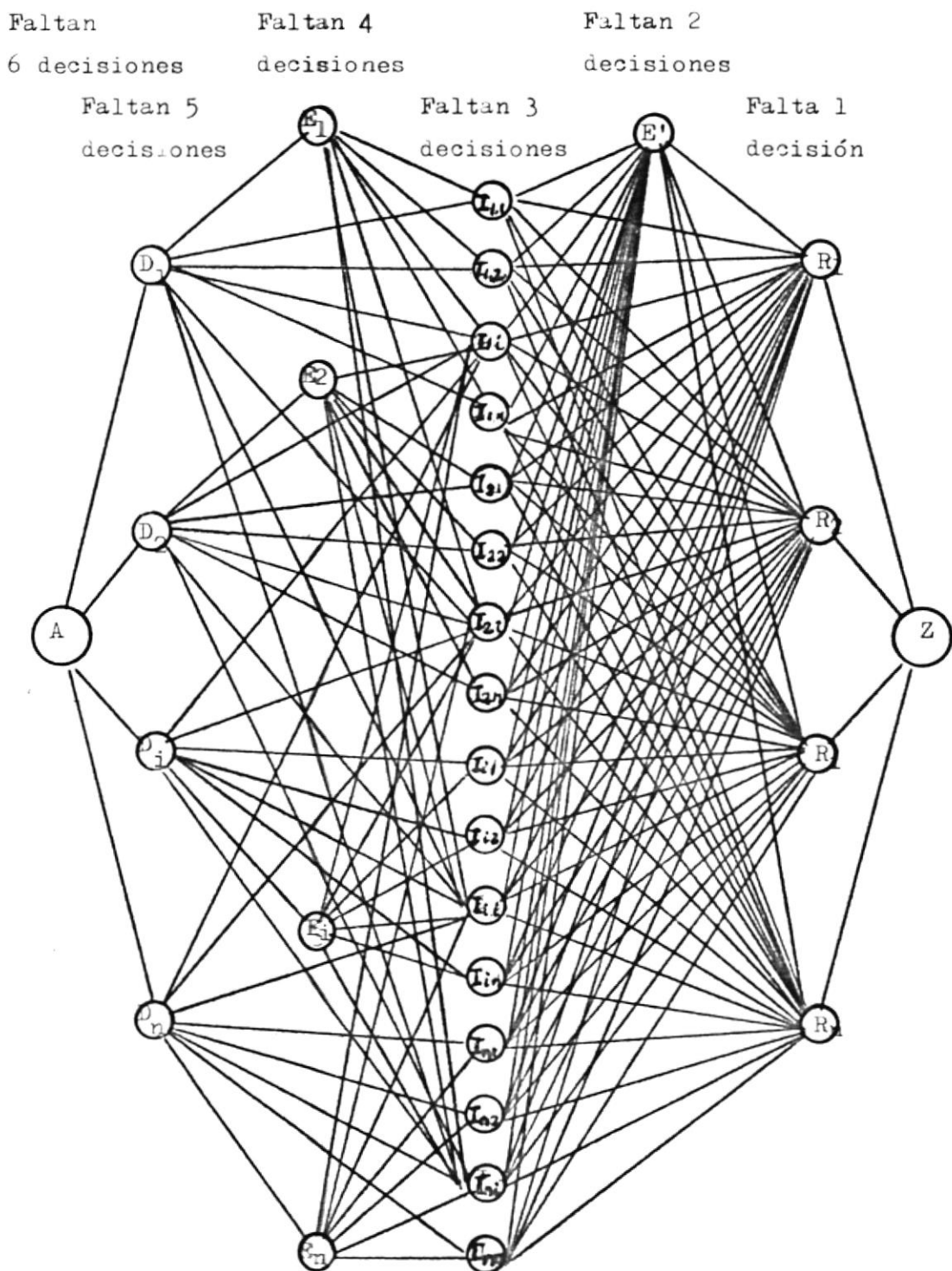
4.4. La Programación Dinámica en el Problema de las Alimentadoras Eléctricas.

La programación dinámica es la técnica más apropiada para resolver problemas que requieren decisiones interrelacionadas, es decir, decisiones que se deben tomar en forma secuencial y las cuales influyen en las decisiones futuras de esa secuencia. De todas las técnicas de investigación operacional, la programación dinámica es la que emplea conceptos más simples y sin embargo también la más difícil de aplicar. Una de las dificultades que presenta la aplicación de la programación dinámica, es la carencia de una formulación definida y de algoritmos de solución. Por tanto, la formulación de cada problema requiere decisiones básicas, y es semejante a cuando formulamos un problema de probabilidad, en que hay que comprender claramente el problema y la técnica. (1)

Dado que no existen reglas simples, fáciles de aplicar y que siempre nos lleven a la formulación correcta, la técnica la demostraremos mediante el desarrollo del problema mismo.

(1) Consultas en Shamblin, J. E. 'Operations Research'.

GRAFICO IV- 7 , DIAGRAMA DE DECISIONES.



Consideremos el gráfico IV-7, en que se plantea un proyecto que consta de 6 etapas, y en cada una de ellas, se toma por lo menos una decisión. Cada trayectoria, constituye una etapa del proyecto, y cada nodo involucra una decisión. El comienzo de la operación, parte desde el nodo A, y se desarrolla hasta su finalización en el nodo Z. Efectivamente, en el problema de la alimentación eléctrica, una vez decidida la necesidad de alimentar, hay que escoger cuál diseño es el apropiado para obtener un proyecto óptimo en costos, a todo lo largo del tiempo de vida. Se tiene entonces que 'decidir' cuál diseño se va a construir, y se llega al nodo D, que es el conjunto de alternativas de diseño propuestas. En el punto D, se tiene los nodos D_1, D_2, D_i, D_n , en los que los subíndices 1 y 2 se ponen para indicar que la técnica de selección se hace de dos en dos (1), Y los i y n significan la presencia de más alternativas entre las que se analiza la primera decisión, que suman n. Una vez seleccionada la alternativa inicial, ésta tiene una duración determinada para valor óptimo de los costos durante el proyecto, tanto de su etapa como del

(1) Ver artículo 4.2 .

conjunto, ya que la decisión considera también las futuras consecuencias en el proyecto. Cuando se cumple el tiempo que se calcula como duración de tal etapa, hay que tomar una nueva decisión, a la altura del punto D. La decisión que aparece, es si se procede a ampliar la capacidad con las alternativas propuestas en el punto A, ó si se espera, es decir se pasa al punto E. En el punto E, se tienen los nodos E_1, E_2, E_i, E_n , que se diferencian en que cada uno corresponde a un diseño, y a un cálculo del tiempo que hay que esperar antes de proceder a ampliar. En el problema eléctrico de alimentar una carga, ya vimos que dependíamos de un factor variable en el tiempo que es la demanda, la misma que considerábamos por predicción (1). Llegado el tiempo que se obtenía como óptimo para ampliar, una vez que ejecutamos el proyecto, es preciso revisar nuestra predicción, y efectuar los ajustes al tiempo de espera, si es que ha existido variación de la realidad con nuestra predicción, y de aquí el punto E del diagrama. Si todas las predicciones se cumplen, se pasa directamente al punto I, que constituye las inversiones adicionales que para ampliar la capacidad es conveniente efectuar.

(1) Recordamos el capítulo III.

Considerando que los diseños iniciales D_i , ya tienen planificada su ampliación, los nodos D_i tienen trayectoria a nodos $I_{i,1}$, $I_{i,2}$, $I_{i,i}$, $I_{i,m}$, que constituyen las 'm' posibles inversiones para ampliar la capacidad del diseño i . Observemos cómo algunas de las inversiones de ampliación $I_{i,i}$, son comunes para los diseños D_i anteriores. Esto es posible, si los diseños iniciales pueden ser ampliados con adecuaciones similares, aunque inicialmente se tuviesen construcciones distintas. Una vez efectuada la inversión de ampliación, que ya vimos como una recomendable posibilidad que aprovecha el tiempo de vida útil, y el valor residual de las construcciones iniciales (1), se calcula el tiempo de vida restante, antes del remplazo óptimo económico (2). Una vez que este tiempo ha transcurrido, nuevamente hay que decidir qué se hace, si se reemplaza ó si no conviene y sea mejor esperar. En este punto, I , se calcula nuevamente si la demanda se ha comportado como en las predicciones revisadas ya en el punto D , cuando se decidía si se espera ó se invierte, y el tiempo óptimo de proceder a reemplazar. Si el tiempo obtenido en este pun

(2) Ver artículo 4.3 .

(1) Recordemos el capítulo II , y el artículo anterior.

to, es inferior al actual, se reemplaza y se pasa al punto R, y si es mayor, se evalúa la conveniencia de esperar, y se pasa al punto E', previo a reemplazar.

En esta presentación del problema de alimentación, notemos cómo en el momento de reemplazar en el punto R, se recomienza el problema, dado que el diagrama se puede reproducir, se considera terminado y la decisión que continúa el punto R, es única y conduce al final del estudio.

La descomposición del problema en una serie de etapas y decisiones, favorece el análisis, simplificando la visualización de lo que deseamos realizar. El punto más claro es el final del proyecto, que posee decisión única, que conduce a Z, y es por donde se comienza a resolver nuestro problema. Observemos en el gráfico de decisiones, que las decisiones disminuyen de derecha a izquierda, y cómo su incremento hace exponencial la complejidad de la solución. Por tanto, la solución a las decisiones comienza por el punto final Z, y se extiende a la izquierda secuencialmente, hasta que la optimización llegue a toda la cadena.

Efectivamente, una vez que hemos evaluado las características de costos óptimos, y tiempos óptimos, y función costo para cada diseño y ampliación que se consideran, para lo cual utilizamos los cálculos descritos en los capítulos I,II, y III, procedemos a la toma de decisiones para la selección de la alternativa que se va a seguir.

Comenzamos en el punto Z, que es nuestro objetivo de proyecto, al cual conducen los nodos del punto R. En el punto R, no hay decisión para escoger, pero cada trayectoria hacia Z. posee una característica de costos y tiempo. En el punto E', se tienen las n alternativas de nodos R, y la trayectoria se computa estableciendo la decisión óptima para cada nodo de R, de modo que sólo una trayectoria óptima queda a seguir a partir de E'. Para la selección de esta alternativa óptima, se utilizan las expresiones de decisión del artículo 4.3 . A continuación aparecen los $n \times m$ nodos del punto I, y en cada uno de éstos se procede a evaluar la trayectoria óptima hacia el punto Z. Para tal evaluación, se considera que la trayectoria está dividida en dos partes: la primera, que es la que sale del nodo $I_{i,i}$, hacia el nodo siguiente R_i , ó al E', y a partir de éstos, la segunda parte de

la trayectoria, que es única para cada nodo de los puntos E' ó R_1 , y que es la trayectoria óptima ya calculada en el viaje inicial. De esta forma, reducimos las alternativas de continuación a partir del nodo anteriormente analizado, a una sola que es la que encontramos óptima.

Continuando con el mismo método, una vez seleccionada la trayectoria óptima para cada nodo del punto I , pasamos al punto E , para el cual calculamos la trayectoria óptima hasta el punto Z . Para ésto, consideramos que cada trayectoria que sale de E_1 hasta I_1 , consta asimismo de dos secciones, la primera que sale directamente del nodo en que estamos, y la segunda es la trayectoria que acabamos de calcular óptima para el nodo I_1 , que es única desde I_1 hasta Z , encontrando el óptimo a decidir en cada nodo E_1 . Y así procedemos hasta que se llega a A , y tendremos la alternativa, ó conjunto de alternativas que se pretende óptimas. Al pasar el tiempo del proyecto, cuando ya toca la aplicación de las decisiones inicialmente tomadas, es conveniente revisar la predicción hecha sobre la demanda, y rehacer los cálculos, a fin de ajustarnos a cualquier variación y aprovecharnos de ella para optimizar los pasos a seguir, con la misma metodología. Observe-mos que para los pasos de los puntos E' y R_1 , se apli-

can las expresiones de decisión para Remplazo, del artículo 4.3 , mientras que en los nodos D_1 y E_1 se aplican las expresiones para selección de entre alternativas del artículo 4.2 del presente capítulo. La decisión inicial, se basa en una predicción a muy largo plazo, en el punto R, en que se consideran la carga futura, y las mejores alternativas para alimentarla R_1 . Las futuras decisiones, que se toman en el tiempo de actuar sobre las variaciones que van apareciendo en las predicciones, van acercándonos a la solución óptima real, para lo cual, el uso repetido de los criterios y armas de análisis (programas de computación), juegan el factor fundamental para el éxito de la solución óptima real. Además, notemos que el diseñador toma las decisiones continuamente, que el computador no puede evaluar, para lo cual el estudio de las aproximaciones iniciales del problema que se dieron en los capítulos I y II, forman las bases de criterios que necesita quien analiza el proyecto. Queda con este capítulo entonces, terminada la presentación de los recursos que la Ingeniería Económica y la Investigación de Operaciones pueden ofrecer al diseñador de planificación eléctrica, para resolver el problema específico, especial y aplicado de las condiciones óptimas económicas para Alimentadoras Eléctricas.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Análisis de las Consecuencias Económicas de Cada Alternativa, Utilizando los Gráficos Proporcionados por el Modelo.

El estudio hasta aquí realizado sobre la forma de la función Costos Totales Anuales Equivalentes, indica la presencia de un valor mínimo. El análisis de las alternativas debe considerar cada función en sus valores mínimos, a fin de que el proyecto sea óptimo económicamente. La complejidad del desarrollo matemático analítico, obliga al uso de métodos numéricos para estudiar la solución. El inconveniente principal de utilizar un computador al determinar una solución, es la pérdida de un conocimiento cabal del rango de los mínimos de la función, que es lo que realmente interesa, más que el punto mínimo en sí. Por este motivo, el modelo de costos del capítulo III, está provisto de la opción de graficar la curva de la función costos, y los valores que toma la función se presentan en el gráfico para cada punto. Esto conduce a una mejor selección de la alternativa para ejecutar el proyecto, y a una administración consciente del punto económico en que opera su proyecto.

Las curvas graficadas para un conjunto de alternativas de alimentadora eléctrica, se presentaron en el artículo 3.4, fueron obtenidas por el modelo digital construído, y demuestran la forma esperada por los análisis de los primeros capítulos de la Tesis. En los mismos análisis, ya se presenta la observación del punto mínimo que no coincide con la intersección de las componentes creciente y decreciente, como se espera de una programación lineal del problema, y que se encuentra hacia la derecha de la intersección, como se expresaba ya en el capítulo I, donde se halla que en la aproximación simplificada del problema el mínimo se encuentra del lado izquierdo de la intersección y se espera que al considerar la variación del valor del capital con el tiempo, el punto mínimo se desplace hacia la derecha.

La característica importante del mínimo de la función, es que se puede desplazar hacia la derecha del gráfico del tiempo, mediante inversiones que reduzcan los costos por pérdidas de energía. Diferentes inversiones que reduzcan las pérdidas de energía pueden ser analizadas utilizando el modelo de computación, y su rentabilidad computada mediante el programa analizador, calculando la tasa de retorno de la inversión.

Con respecto a este valor mínimo, sabemos que se va a desplazar hacia la izquierda, si la demanda presenta un escalón de carga, y hacia la derecha si por el contrario la entrada de un escalón de carga se retrasa ó el crecimiento resulta ser menor que lo pronosticado. El mínimo, es también independiente del término independiente de la función costos totales anuales. Este punto mínimo se desplazará hacia la derecha, si la tasa de interés se incrementa (inflación), y lo contrario sucederá si la tasa de interés disminuye. La limitación matemática, impide llegar a una expresión como la I.25 para el tiempo como variable administrativa, en una aproximación al problema que presente resultados aplicables en la práctica, de aquí la importancia de disponer de un modelo que simule los costos del proyecto. Y a falta de una ecuación de sensibilidad, se obtendrán los resultados en forma directa, cuando se aplican las variaciones a los parámetros que entran como datos del modelo.

Predicciones de variación de la tasa de interés, del costo de la energía perdida, y de los costos de oportunidad (penalización), se pueden introducir como una función del tiempo dentro del programa del modelo.

5.2. Análisis de Sensitividad de la Función Costos

Utilizando el Modelo.

El Punto de Ruptura de Paridad.

Para determinar el Intervalo Administrativo de Operación, es conveniente utilizar la simulación por computador del modelo de costos, y el programa analizador, para observar los efectos que una variación de los parámetros del proyecto sobre la curva de costos. Los parámetros del proyecto son la demanda, la distancia hasta la carga, el factor de potencia, la caída de voltaje, el precio de la energía, la tasa de interés impuesta al capital, el costo del mantenimiento anual, el tiempo de vida útil, y el año en que se realiza la ampliación. También se puede considerar para un análisis de sensibilidad, los valores esperados de las inversiones en ampliación de capacidad, dado que son valores esperados de precios en el futuro. En el estudio del proyecto de alimentadora eléctrica, es necesario conocer los efectos que una variante de un valor esperado pudiera tener sobre la decisión que selecciona la alternativa óptima. Conclusiones más generales se pueden obtener, de la ecuación I.14 y del apéndice D, donde se presenta la forma de la función Costos Totales Promedio, considerando todos los términos que la componen.

Observando las ecuaciones I.14 e I.28 que expresan el costo anual de un proyecto de alimentadora eléctrica, tenemos que el costo está dado por los parámetros eléctricos. Los parámetros eléctricos se agrupan y cuantifican económicamente mediante factores de costos y el tiempo de operación. El tiempo de operación, es una variable administrativa, que se debe optimizar. Esto es, que el tiempo de vida de un proyecto va a decidir su costo anual equivalente, lo cual es importante para el proceso de selección de la alternativa más conveniente. De manera común los ingenieros han planeado sus diseños a fin de reducir el término independiente de la función de costos anuales, y tenemos en general optimizada la inversión inicial versus capacidad, y continuamente se desea reducir los costos de mantenimiento. Pero tenemos que el tiempo de vida del proyecto aparece como la variable más importante, debido a que una apropiada decisión administrativa significa por sí misma un costo anual menor. Por tanto, es necesario el análisis del tiempo de vida óptimo económico de cada alternativa, cuando se efectúa el estudio del proyecto. Es importante también conocer el rango de variación de los costos, cuando se decide operar fuera del valor mínimo de costos.

La sensibilidad de la función costos se puede considerar tomando como variable cualquier parámetro de la ecuación I.28. Basta introducir la variación que interesa como una alternativa del proyecto, y correr el programa MODELO para obtener las consecuencias sobre los costos. Una expresión matemática explícita es difícil obtener para aplicación práctica de los resultados, por tanto es conveniente graficar los efectos de una variación utilizando la opción del programa.

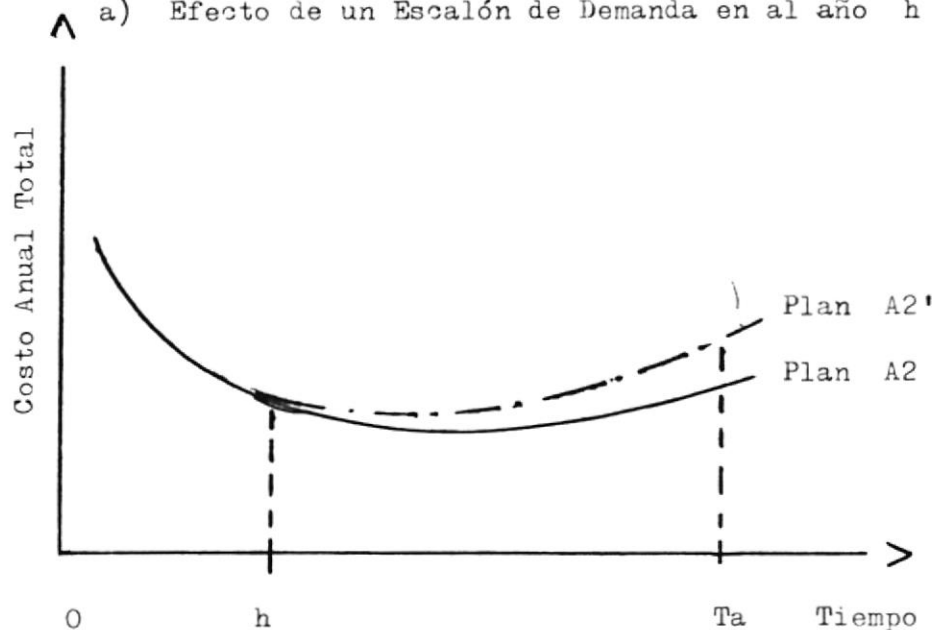
En el gráfico IV-1, cuando se ilustra los gráficos para decidir una inversión, aparece un punto Pr a partir del cual recién se justifica la inversión. Este punto se denomina Punto de Ruptura, y corresponde a la intersección de la curva de costos con la Inversión, con la extensión de la curva de costos original, sin invertir. Antes de este punto, la inversión no se justifica, y luego de éste, se espera que los costos sigan disminuyendo hasta alcanzar una rentabilidad aceptable. Por tanto, es importante evaluar dicho punto, ó comparar la rentabilidad en un tiempo mayor tal, que siendo menor que el tiempo de vida útil, ya justifique la inversión. Es importante para la posición de este punto, el cálculo apropiado del punto de inversión.

5.3. Aprovechamiento del Uso del Modelo de Costos,
Para Corrección de las Variaciones en la Proyección
a Largo Plazo.

Tratando de aprovechar la vida útil de los equipos de una alimentadora eléctrica, los cálculos se proyectan sobre los veinte años. La predicción a largo plazo prevé que se corregirá la planificación por variaciones en la estimación inicial. Se vió que un escalón en la demanda, desplaza el costo mínimo hacia la izquierda, e incrementa los costos. Una tasa de crecimiento menor que la esperada, al contrario desplaza hacia la derecha el punto de costo mínimo. El cambio de fuentes de energía, modifica el costo de la energía perdida, y la política económica del estado puede modificar la tasa de interés aplicada al capital. Es así que la planificación se debe corregir a medida que se presentan los nuevos factores y lo mejor es utilizar simulación para obtener el nuevo 'estatus' del proyecto. La noción de lo que va a suceder ante una variación como las mencionadas, se obtiene en las ecuaciones I.14, I.23, y I.28, y la evaluación más próxima posible se tiene en el uso del programa MODELO.

La figura V - 1, muestra el efecto de la variación de

FIGURA V - 1

a) Efecto de un Escalón de Demanda en el año h .

Plan A2 : planificación original, alternativa A2.

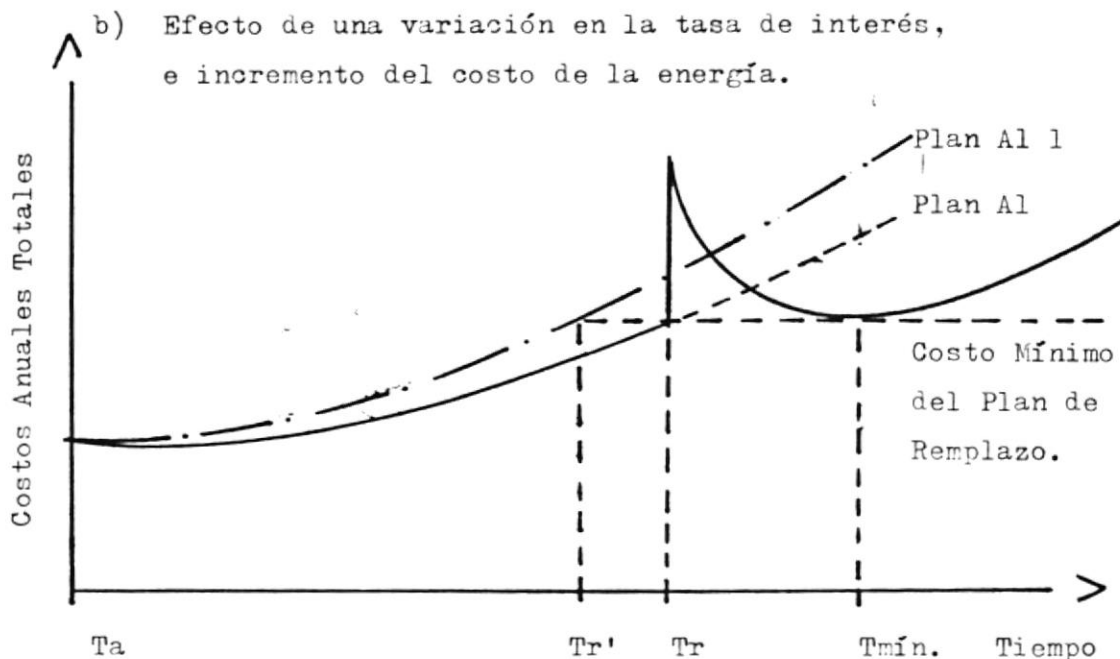
Plan A2' : variación del plan A2, sobre el que aparece un escalón en la demanda.

h : Año en que se propone el escalón.

T_a : Año en que se planificaba la ampliación para el plan A2.

la curva de A2' tiene un incremento en el valor del mínimo, y crece vertiginosamente debido a las pérdidas a medida que pasa el tiempo.

FIGURA V - 1



Plan Al : Planificación inicial, alternativa Al

Plan Al' : Variación en lo esperado en la planificación inicial, con incremento de la tasa de interés, y del costo de la energía.

Ta : año de ampliación.

Tr : año en que se programaba el reemplazo original.

Tr' : año en que se corrige el reemplazo.

Tmín : año en que se esperaba el mínimo del plan de reemplazo,

Costo Mínimo del Plan de Reemplazo : es el valor que define el reemplazo óptimo.

parámetros que inicialmente se estimaron. En primer lugar, figura V - 1, a, se presenta el efecto de cambiar la demanda inicialmente estimada, con la inclusión de una carga escalón k en el año h. El efecto de esta variación en la estimación inicial, es el cambio de la alternativa de ampliación inicialmente estimada conveniente. En el programa MODELO se muestra este efecto, en las pruebas efectuadas para el plan A2 . (1).

Una variación en los parámetros del proyecto, como la tasa de interés y el factor de crecimiento de los costos de equipos, puede una vez efectuada la ampliación, modificar el año de reemplazo ó tiempo de vida del proyecto, como se muestra en la figura V - 1, b.

En el programa Modelo, se van archivando las variaciones que espera el planificador para cada proyecto. De este modo, se puede asignar a cada alternativa, con un segundo índice que idica la variante. Así, en las pruebas se tienen las alternativas A1 , A2 , A1 1 , en que A1 1 es la misma A1 con variación en la tasa de interés y costo de la ampliación. (1) .

(1). Ver Capítulo 3.4.

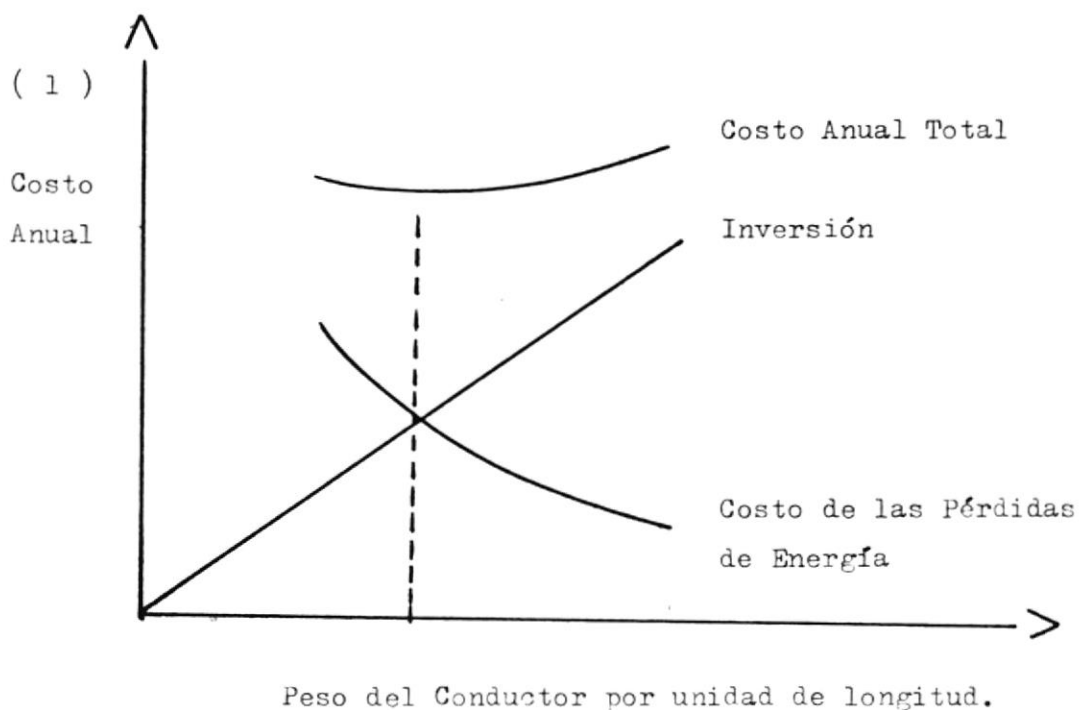
5.4. Costos de la Energía vs. Costos del Capital.

La forma de la componente creciente y la de la componente decreciente, están relacionadas entre sí. Una inversión i inicial menor, posee una componente decreciente más baja que una inversión relativamente mayor. Ligado a esto, tenemos que a la inversión menor corresponde una componente creciente que cambia de valor más vertiginosamente que lo hace la que corresponde a la inversión más alta. Este efecto es debido a la relación inversa que existe entre el costo anual de un conductor y el costo de sus pérdidas resistivas, como se muestra en la FIGURA V-2. El valor óptimo de la inversión, estará dado por el tiempo de vida del proyecto, FIGURA V - 3 .

Esto significa que cuando se construye ajustándose únicamente hasta cumplir los requerimientos técnicos, buscando la mínima inversión inicial, el ahorro es aparente. Cuando se procede a efectuar una inversión más elevada, se paga por el capital un interés anual; cuando se escoge una inversión mínima, se paga por la energía que se pierde. Dado que las dos situaciones se interrelacionan, es necesario el cálculo de la relación Inversión- Capacidad que más nos conviene económicamente.

FIGURA V - 2

RELACION INVERSA ENTRE
LA ANUALIDAD DEL COSTO DEL CONDUCTOR Y
EL COSTO DE SUS PERDIDAS RESISTIVAS



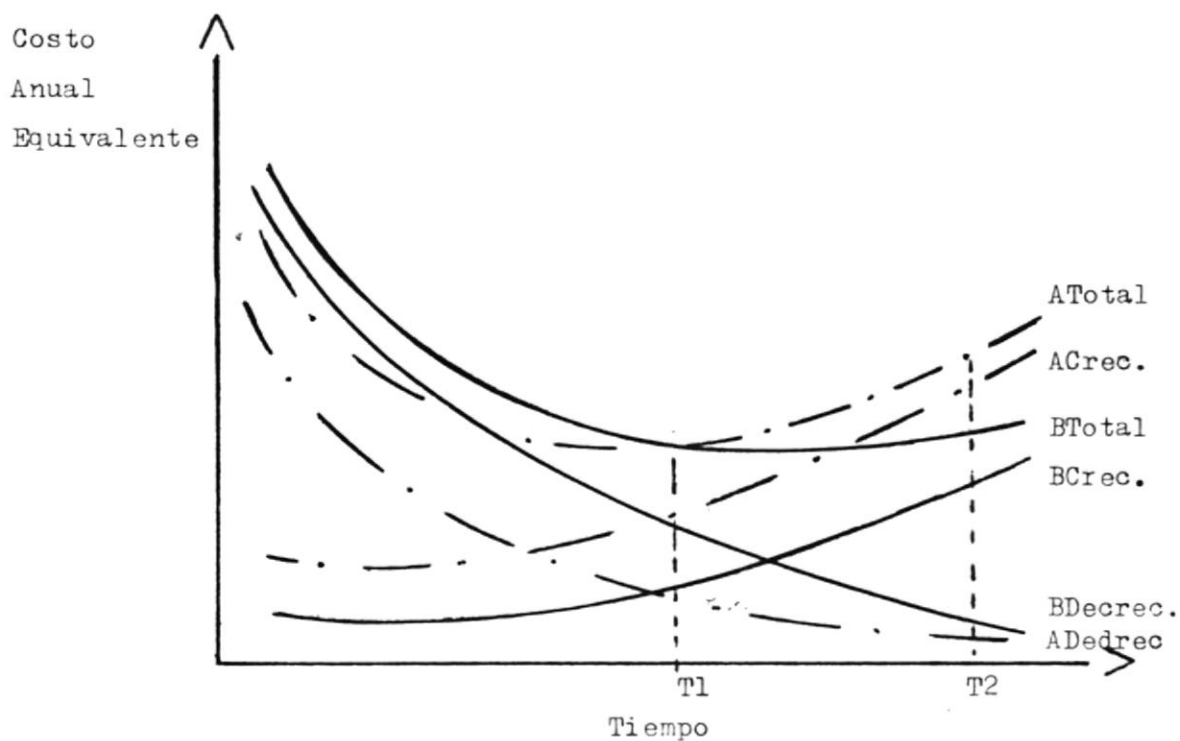
Tenemos :

Peso unitario	↑	=== >	↑	Peso Específico x Sección
Sección Transv.	↑	=== >	↑	Costo Anual del Conductor
Sección Transv.	↑	=== >	↓	Resistencia Eléctrica
Resistencia Elt.	↓	=== >	↓	I^2 . Resistencia Elt.
I^2 . Resistencia	↓	=== >	↓	Costos de Pérdidas

(1) El lector habrá reconocido la curva de Kelvin

FIGURA V - 3

INTERRELACION ENTRE LA
COMPONENTE DECRECIENTE Y LA COMPONENTE CRECIENTE



ATotal : Costo Anual Total del plan A

BTotal : Costo Anual Total del plan B

ACrec. : Componente Creciente de los Costos del plan A

ADecrec. : Componente Decreciente de los Costos de A

BDecrec. : Componente Creciente de los Costos del plan B

BDecrec. : Componente Decreciente de los Costos de B

Inversión del] < [Inversión del
plan A] < [plan B

En la figura V - 3, se aprecia que la decisión depende del tiempo de vida del proyecto. Si la vida es menor que T_1 , el plan A es el que conviene, y coincide con la menor inversión. El año T_2 muestra que si la vida es mayor que T_1 , el plan B es el que a la larga resultará más económico, y se justifica efectuar una inversión inicial mayor.

El tiempo de vida a su vez depende del valor actual de las variables y del valor pronosticado para el remplazo. Las expresiones que determinan este tiempo de vida, deducidas en el Apéndice H, y aplicadas en el artículo 4.3, permiten calcularlo y analizar su sensibilidad. La condición que simultáneamente se debe cumplir en el cálculo de la vida del proyecto, es que tiene como límite la vida útil de los equipos.

5.5. Eficiencia de Ingeniería vs. Eficiencia Económica.

Alguien puede pensar que la eficiencia de Ingeniería y la Económica son criterios divergentes, lo cual es falso. La eficiencia económica es en realidad una consideración comprendida dentro de la eficiencia de Ingeniería. En efecto, éste es el criterio por el cual los ingenieros han incrementado los conocimientos técnicos, con el desarrollo de las teorías administrativas de Investigación de Operaciones e Ingeniería Económica. La responsabilidad del ingeniero va más allá de la satisfacción de requisitos técnicos, sino que también debe dar a éstos la optimización económica.

Las conclusiones de los Estudios Económicos, significan nuevos rumbos de investigación para la ingeniería. En el presente trabajo, hemos visto que el costo de un proyecto depende de la relación Inversión/Capacidad y de la magnitud del costo de la energía. (Ecuaciones I.14 e I.28). De estas ecuaciones de costos se concluye que la ingeniería debe buscar equipos mejorados que ofrezcan mayor Capacidad y menos pérdidas, a costos menores, así como nuevas fuentes de energía de más bajo costo.

Se recomienda el dictado de cursos de Ingeniería Económica e Investigación de Operaciones, que formen en los conceptos de administración a los ingenieros eléctricos, y promocionar las conferencias y exposiciones que mantengan actualizados tales conceptos.

5.6. La Estrategia a Seguir.

Demostrada la existencia de un mínimo, la estrategia consiste en aprovecharse de sus características para cumplir económicamente con las expresiones que rigen el proyecto. Aprovechar las ventajas de distribuir la inversión, combinando varias curvas de costos, de modo que éste sea mínimo en el tiempo de vida del proyecto. Aprovechando que se tiene un modelo por computador, y las expresiones en función de parámetros eléctricos, operar los proyectos conociendo el punto económico en que se encuentran, Y planificar tomando en cuenta los costos de las pérdidas.

Como se anotó en las notas del capítulo 3, el tiempo óptimo de invertir en ampliación de capacidad, no siempre es el punto de valor mínimo de la curva inicial. Este punto depende de las características de cada curva de ampliación e inicial, y del año de remplazo.

Debido al crecimiento de la demanda, es posible que el año de inversión y remplazo no coincidan con el mínimo de la función. En este caso, lo importante es la pendiente que tiene la curva de costos hacia la derecha del valor mínimo. En las ecuaciones 14 y 28 del capítulo primero, se aprecian las variables que definen esta pendiente.

En las notas sobre el uso de simulación para obtener las características de la función costos, se muestra pruebas sobre variación de los parámetros originales del proyecto. En el gráfico dado por el programa MODELO se aprecia las consecuencias de variaciones de la tasa de interés y en el índice de crecimiento de la demanda. (1). Todas estas pruebas se pueden registrar en un archivo de resultados escrito por el programa, y analizarse posteriormente con el programa ANALIZADOR, (G). Lo importante que se concluye aquí, es que tal cantidad de variantes se pueden presentar a consideración de un estudio, que su procesamiento conviene hacerse aprovechando los avances de Proceso de-Datos por Computación en el manejo de información de gran volumen.

(1) Ver Artículo 3.4 .
(G) Ver Apéndice G .

Con el conocimiento adquirido sobre la relación entre el costo anual de un proyecto de alimentación eléctrica y los parámetros eléctricos, se recomienda revisar la eficiencia económica con que actualmente operan los que ya existen. Luego de esto, estudiar la posibilidad presentada en los capítulos 2 y 5 de esta tesis, de invertir buscando rentabilidad al disminuir el desembolso por pérdidas de energía.

Calcular el tiempo oportuno para efectuar los cambios en el sistema. Invertir y reemplazar en un proyecto, ya vimos que está definido por expresiones matemáticas, y que están dadas en función de los parámetros eléctricos de la alimentadora.

Continuar el estudio del aspecto económico de los problemas eléctricos. Hemos visto que las variables eléctricas que dan las características de operación del sistema eléctrico, se reordenan en expresiones de costos cuya forma de curva de la función debería ser aprovechada.

A P E N D I C E S

APENDICE A

ANALISIS DE SENSIBILIDAD PARA FUNCIONES CONTINUAS

Algunas técnicas de análisis de sensibilidad pueden aumentar considerablemente la utilidad y aplicabilidad de muchos modelos en las Investigaciones de Operaciones. El Análisis de Sensibilidad ayuda en dos formas: primeramente indicando la necesidad de la exactitud de los datos y del modelo que se utiliza, y segundo informando al administrador cuánto puede desviarse de la solución óptima antes de que puedan causarse costos excesivos. En la práctica real, los datos para el análisis ordinariamente son escasos y frecuentemente, tienen una validez objetable. Como ejemplo, los datos del costo de almacenamiento, las tasas de futuras demandas, las tasas de llegada, los costos de operación en períodos futuros de tiempo, la especulación sobre la demanda, la estimación de los costos de mantenimiento, y las ampliaciones programadas para el futuro, entre otros, son casi siempre combinaciones de valores estimados y datos históricos, promediados. El análisis de sensibilidad permite al investigador determinar cuáles datos son más importantes y en consecuencia cuáles deben determinarse con mayor exactitud. Cuando se puede hacer un estimativo del costo de mejorar la exactitud del costo de u

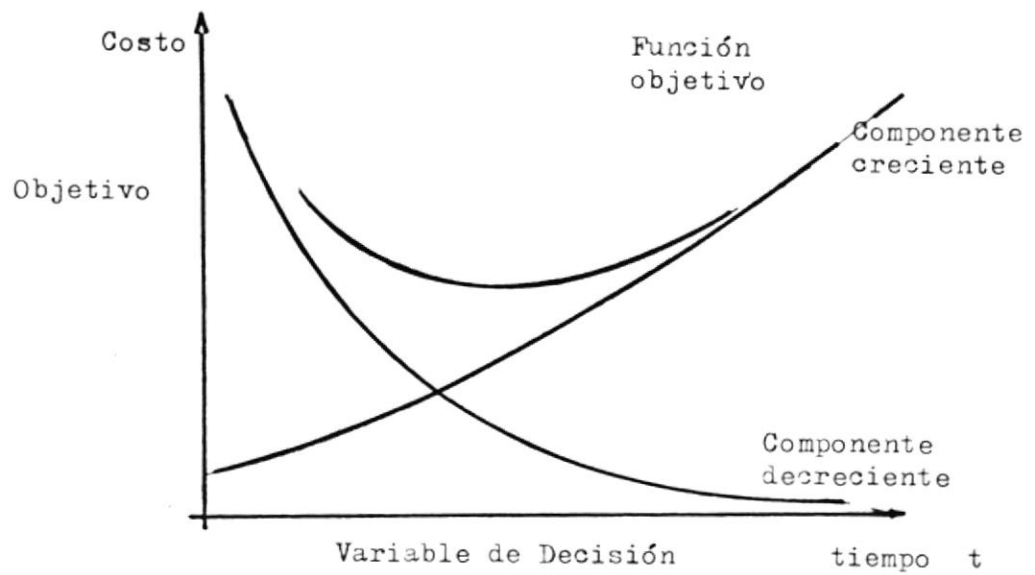
na variable, el análisis de sensibilidad puede emplearse para determinar la factibilidad económica del trabajo adicional. (1)

En la práctica generalmente es imposible valorar completamente todas las variables que contribuyen a la función objetivo. En consecuencia, deben hacerse suposiciones que simplifiquen y provean un modelo de decisión práctico y útil. El análisis de sensibilidad puede utilizarse para determinar si estas suposiciones pueden hacerse de una manera segura ó las condiciones para las que se admitirían su aplicación.

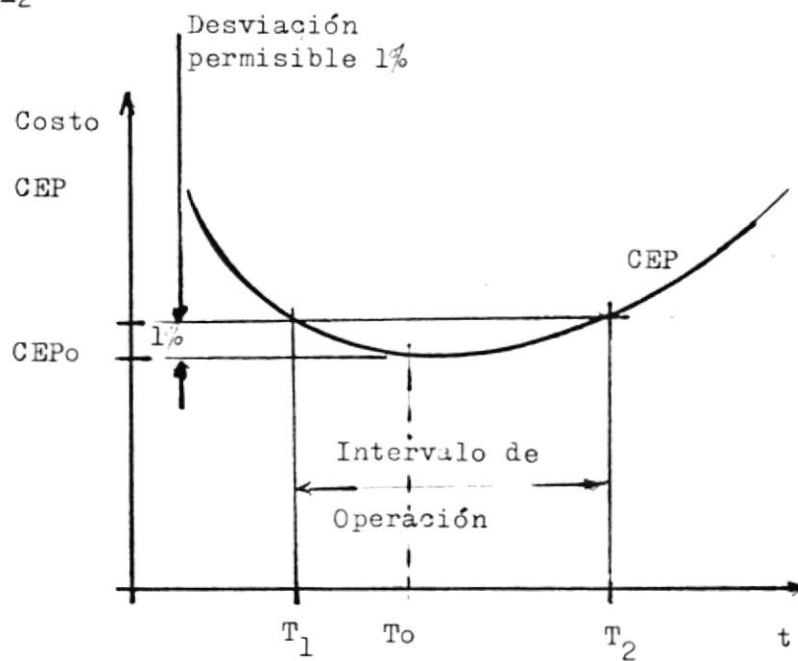
Desde el punto de vista del administrador, el análisis de sensibilidad puede emplearse para determinar un intervalo administrativo de operación. La mayoría de las técnicas de Investigación de Operaciones proporcionan a la administración una solución óptima. El análisis de sensibilidad indica el costo de la desviación del óptimo indicado. El establecimiento de un intervalo de valores para la variable de decisión. En realidad, puede darse una respuesta rápida de preguntas del tipo "Qué sucedería si" con respecto a los cambios de estrategia, precios, u otros factores pertinentes. Por tanto el análisis de sensibilidad puede dar a la administración una información más útil que el mismo modelo original de decisión.

(1) Por ejemplo, la presente Tesis.

GRAF/ A-1 LAS COMPONENTES DE LA FUNCION OBJETIVO



GRAF. A-2 EL INTERVALO ADMINISTRATIVO DE OPERACION



Este apéndice, presenta algunas técnicas básicas del análisis de sensibilidad de modelos continuos, las cuales indican cómo se aplican estos modelos y proporcionan instrumentos para dicha aplicación.

En este caso se consideran funciones objetivo continuas, como son el costo total anual para determinar el tiempo óptimo de operación.

En los modelos de programación lineal, se aplica el análisis de sensibilidad para obtener la misma información con diferente análisis, pero la siguiente presentación, tiene el carácter más general.

La función objetivo es una expresión cuantitativa de los valores que deben optimizarse. Puede ser deseable minimizar (costo total, tiempo ocioso, mano de obra) ó maximizar (ganancias, producción, etc) la función, generalmente mediante diferenciación. Ordinariamente, como se ilustra en la figura A-1 , ésta función objetivo es una combinación de términos crecientes y decrecientes. Para propósitos de estudio utilizemos el modelo del tiempo óptimo de un proyecto de alimentación eléctrica.

Haciendo la función objetivo al modelo de Costo Equivalente Promedio CEP , que determina un valor mínimo para el valor CEPo , se tiene que corresponde a un valor óptimo de tiempo de operación T_o y que cualquier otro valor de la variable de decisión (t) , ocasionará un incremento del CEP. Es importante recordar, que éste método de análisis sólo incluye en la ecuación del costo, aquellos

componentes del costo que son función de la variable de decisión. Esto significa que la comparación se basa únicamente en los costos que pueden ser influidos por decisiones de tipo administrativo, o sea, selecciones de la variable de decisión.

Para comparación, se define una medida de sensibilidad mediante la relación $CEP/CEPo$, que se denomina k , y la relación de sensibilidad queda definida como

$$k = \frac{CEP}{CEPo}, \text{ en que } k \geq 1, \text{ donde} \quad \text{Ec. A.1}$$

k = relación de sensibilidad,

CEP = función costos equivalentes promedio, que es la variable,

$CEPo$ = valor mínimo de la variable ó función objetivo.

Se define como término de error w como la desviación de la variable de decisión a partir del valor óptimo. Si To es el tiempo óptimo económico del proyecto, cualquier otro valor de tiempo t , puede expresarse como el producto de To y un término de error w .

$$t = w To, \text{ en que } w \geq 0, \quad \text{Ec. A.2}$$

w = término de error,

To = Valor óptimo de la variable de decisión, para el cual se tiene $CEPo$,

t = tiempo, que en este caso es la variable de decisión.

Observamos que el valor de t cuando $w = 1$, la variable de decisión t es exactamente T_0 (óptima). Si w es mayor que 1, t es mayor que el óptimo, y si w es menor que 1, t es menor que el óptimo. También es posible expresar el término de error como porcentaje, y notemos siempre que será un valor decimal no negativo.

Intervalo Administrativo de Operación IAO, es un útil concepto en administración, que expresa y presenta la sensibilidad de cualquier modelo en una forma fácil de comprender y utilizar. Si la administración define un incremento tolerable o permisible del costo, es posible determinar el IAO. Por ejemplo, puede fijarse un incremento permisible del costo del 1%, en el CEP, y según esto se pueden fijar límites superior y límite inferior de la variable de decisión. Gráfico A-2. Por consiguiente, cualquier valor de la variable de decisión que se encuentre dentro de éste IAO, ocasionará un valor de CEP que está dentro del 1 por ciento del mínimo.

APENDICE B

ANALISIS DE SENSIBILIDAD

PARA LA FORMULACION GENERAL DE LA FORMA $CVT = ax^n + b/x^m$

Cuando la ecuación general del costo 'CVT', tiene la forma:

$$CVT = ax^n + \frac{b}{x^m}, \text{ donde} \quad \text{Ec. B.1}$$

CVT es la función de costos variables totales,

a y b son parámetros de la función que permanecen constantes,

n y m son exponentes constantes, mayores que cero,

x es la variable de decisión,

es posible obtener un valor óptimo de x , aplicando Cálculo:

$$\frac{d(CVT)}{dx} = anx^{n-1} - \frac{bm}{x^{m+1}}$$

$$anx^{n-1} - \frac{bm}{x^{m+1}} = 0$$

$$anx^{m+n} = bm$$

$$X_o = \left[\frac{bm}{an} \right]^{1/(m+n)}$$

Ec. B.2

donde X_0 es el valor óptimo de la variable de decisión x .

Sustituyendo X_0 en la ecuación del CVT, se obtiene el valor óptimo CVT₀:

$$\begin{aligned} \text{CVT}_0 &= aX_0^n + \frac{b}{X_0^m} \\ \text{CVT}_0 &= a \left[\left[\frac{bm}{an} \right]^{1/(m+n)} \right]^n + b \frac{1}{\frac{bm}{an}^{1/(m+n)} m} \\ \text{CVT}_0 &= a \left[\frac{bm}{an} \right]^{n/(m+n)} + \frac{b}{\frac{bm}{an}^{m/(m+n)}} \\ \text{CVT}_0 &= a^{m/(m+n)} b^{n/(m+n)} \frac{m/n + 1}{(m/n)^{m/(m+n)}} \end{aligned} \quad \text{Ec. B.3}$$

A fin de encontrar la influencia de una desviación de la variable de decisión a partir de su valor óptimo, al introducir un término de error w , tal que $w \geq 0$, haciendo $x = wX_0$, y reemplazando, tendremos:

$$\begin{aligned} \text{CVT} &= a (w X_0)^n + \frac{b}{(w X_0)^m} \\ \text{CVT} &= a \left[w \left[\frac{bm}{an} \right]^{1/(m+n)} \right]^n + \frac{b}{\left[w \left(\frac{bm}{an} \right)^{1/(m+n)} \right]^m} \\ \text{CVT} &= a^{m/(m+n)} b^{n/(m+n)} \frac{(m/n) w^{m+n} + 1}{w^m (m/n)^{m/(m+n)}} \end{aligned} \quad \text{Ec. B.4}$$

Y con las ecuaciones anteriores, podemos obtener el término de sensibilidad k , donde

$$k = \frac{CVT}{CVT_0} \quad \text{y tenemos:} \quad \text{Ec. B.5}$$

$$k = \frac{a^{m/(m+n)} b^{n/(m+n)} \frac{(m/n) w^{m+n} + 1}{w^m (m/n)^{m/(m+n)}}}{a^{m/(m+n)} b^{n/(m+n)} \frac{m/n + 1}{(m/n)^{m/(m+n)}}}$$

$$k = \frac{1}{m+n} \left(m w^n + \frac{n}{w^m} \right) \quad \text{Ec. B.6}$$

De donde podemos obtener información sobre algunas funciones que nos interesan, para cada valor de m y n . Tenemos:

TABLA A - I RESUMEN DE LOS TERMINOS DE SENSIBILIDAD

Ecuación	X_0	CVT_0	k
$CVT = ax + \frac{b}{x}$	$(b/a)^{1/2}$	$2(ab)^{1/2}$	$\frac{1}{2}(w + \frac{1}{w})$
$CVT = ax^2 + \frac{b}{x}$	$(b/2a)^{1/3}$	$\frac{3}{2^{2/3}}(ab^2)^{1/3}$	$\frac{1}{3}(w^2 + \frac{2}{w})$
$CVT = ax^3 + \frac{b}{x}$	$(b/3a)^{1/4}$	$\frac{4}{3^{3/4}}(ab^3)^{1/4}$	$\frac{1}{4}(w^3 + \frac{3}{w})$

Cuando $m = n \cong 1$, se tiene el caso de una función de programación lineal, donde la solución óptima de la variable de decisión, corresponde a la intersección de las curvas creciente y decreciente que componen la función costo total. Dado el caso que $n = 2$, y $m = 1$, se tiene que la función creciente no es una recta, sino que se trata de una parábola, y si reemplazamos el valor de T_0 en la función costos totales, tendremos:

$$T_0 = \left(\frac{b}{2a} \right)^{1/3}$$

$$CVT_0 = a \left(\frac{b}{2a} \right)^{2/3} + \frac{b}{\left(\frac{b}{2a} \right)^{1/3}}$$

$$CVT_0 = \left(\frac{1}{4} ab^2 \right)^{1/3} + \left(2 ab^2 \right)^{1/3} = \frac{3}{2^{2/3}} \left(ab^2 \right)^{1/3},$$

Ecs. B.7

donde observamos que el valor de la función decreciente, es mayor que la componente creciente, y por tanto contribuye más al valor de la función costo en el punto óptimo. Además se observa que el valor óptimo de la variable de decisión x , X_0 , se desplaza hacia la izquierda, y que esto se generaliza para cuando la función del costo aumenta de orden.

En la tabla mostrada, aparecen las principales funciones de nuestro interés, que típicamente, tienen valor de $m = 1$, y el término creciente es el que adquiere diferentes valores para n , a medi-

da que la demanda se presente en forma de una ecuación de mayor orden.

Si damos valores a $m = 1$, $w = 1.2$, $n = 1, 2, 3, \dots$, observamos cómo el límite de sensibilidad se alcanza más rápido a medida que crece el orden de la componente creciente de la función. Lo cual nos indica la importancia que tiene para el cálculo de los costos la forma de crecimiento de la demanda, que a su vez es la que produce la forma creciente de pérdidas en una alimentadora eléctrica, pérdidas que a su vez aparecen en la ecuación de costos como la componente creciente.

Finalmente, de la ecuación de CVT_0 , observamos que el valor mínimo de la función CVT , a medida que crece el orden del término creciente, esto es, el valor de n en la ecuación, depende de los coeficientes a y b de la función costos, ya que será la relación a/b la que determine si al aumentar n , el valor de CVT_0 crecerá ó disminuirá, lo que debe ser analizado en la función específica, a fin de explotar al máximo esta característica de la ecuación de costo mínimo.

APENDICE C

RESUMEN DE LAS ECUACIONES DE LA TASA DE INTERES

Cuando estudiamos los costos que se consideran en una alternativa de alimentadora eléctrica, nos encontramos con que éstos se encuentran distribuidos a lo largo del tiempo de vida del proyecto, unos costos son uniformes todos los años, otros son discretos, y hay los que dependen de ecuaciones en el tiempo, de orden superior y hasta pueden tener forma exponencial. Dado que se hace necesario escoger entre un conjunto de alternativas, para poder hacer la selección se hace necesario que los costos que involucran cada una de ellas, se presenten de forma que todas aparezcan bajo las mismas condiciones, a fin de apreciar sólo las diferencias, que en el fondo son las únicas que cuentan.

Gracias a los conceptos de la "Tasa de Interés", "Valor Presente", "Valor Futuro", podemos expresar todos los costos que aparecen repartidos en el tiempo, como una serie uniforme de costos a anualmente distribuída, correspondiente a un conjunto dado de años en los que se ha considerado estos costos, lo cual norma la ppre- sentación de las características de costos que corresponden a ca da alternativa, y permite observar con facilidad las ventajas ne-

tas que existan entre éstas. Para una mejor visualización, en el gráfico C- 1, aparece lo anteriormente mencionado, donde las constantes $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$, son costos diferentes que aparecen cada uno en diferente año, que pueden ser presentados en un solo valor presente VP, y en una serie uniforme de costos anuales CA.

El mismo gráfico, corresponde a una escala en el tiempo, donde se considera un proyecto que tiene un conjunto de costos, C, y en que la inversión inicial, en el año 0 es C_0 , en el año primero, aparece un costo de operación, mantenimiento, ó lo que fuere, que tiene un valor C_1 ; a continuación aparece a fines del segundo año, el valor C_2 , que corresponde a los costos en el año 2 de vida, y así se grafican todos los costos hasta el año n, en que finaliza el proyecto. Como sabemos, el valor del dinero se refiere al año en que se tiene cada cantidad, por lo que si se desea expresar todos los costos acumulados en el año 0, es necesario trasladar primero cada valor de C a su valor correspondiente al año 0, mediante los conceptos de "Tasa de Retorno", y luego obtener el valor acumulado en tiempo 0, que es el valor "Presente" VP. Dado que para hacer una comparación, es necesario también considerar que para cada valor presente, existe un tiempo de duración del proyecto, lo que se prefiere hacer, es distribuir este valor presente, en un conjunto de costos uniformes, que anualmente se consideran a lo lar

go de la vida del proyecto, y donde se considera cada anualidad, a su correspondiente valor de cada año, de donde se tiene el valor de costo anual CA uniforme, que aparece en el gráfico.

Las ecuaciones de la Tasa de Interés, (que son las mismas para la tasa de retorno) , que nos interesan para nuestros cálculos, son:
La ecuación fundamental,

$$S = P (1+i)^n \quad \text{Ec. C-1}$$

en la que

S es el valor futuro que alcanzará un valor presente P , si es sometido a una tasa de rendimiento i durante un tiempo de n periodos anuales. Esta ecuación, se puede expresar de la forma:

$$S = P \cdot {}_{i-n}S_{pcaf} \quad \text{Ec. C-2}$$

en la que

${}_{i-n}S_{pcaf}$ es el coeficiente de factor de pago simple - cantidad com puesta, donde los índices corresponden al valor de la tasa de rendimiento i , y el tiempo de imposición n que se utilicen. Por tanto, el coeficiente

$${}_{1-n}S_{pcaf} = (1+i)^n \quad \text{Ec. C-3}$$

De la ecuación fundamental, es posible despejar el valor presente,

$$P = S \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. C-4}$$

que se puede a su vez expresar como

$$P = S \cdot i^{-n} \text{Sppwf} \quad \text{Ec. C-5}$$

donde

$i^{-n} \text{Sppwf}$ es el coeficiente Factor de pago simple - Valor actual para unos valores de i y n dados. Tenemos entonces :

$$i^{-n} \text{Sppwf} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. C-6}$$

Observando el gráfico C.2 , vemos que es posible expresar mediante los coeficientes que acabamos de definir, los valores de costos en un año cualquiera n , a su valor presente, y viceversa.

Manipulando las ecuaciones anteriores, es posible obtener la primera ecuación que introduce un valor anual uniforme R , que represente el pago que periódicamente deberá realizarse para obtener al final del tiempo de imposición, el valor futuro S , y si llamamos a S el valor futuro acumulado, tenemos el gráfico C.3 , y el siguiente desarrollo matemático:

$$S = R \cdot (1+i)^{n-1} + R \cdot (1+i)^{n-2} + R \cdot (1+i)^{n-3} + \dots + R \cdot (1+i)^2 + R \quad \text{Ec. C-7}$$

Que resolviendo para los términos en serie, tendremos:

$$S = R \cdot i^{-n} \text{Uscaf} \quad (1) \text{ Ec. C-8}$$

donde

$i^{-n} \text{Uscaf}$, es el factor de series uniformes - cantidad compuesta, y tiene la forma

$$i^{-n} \text{Uscaf} = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec. C-9}$$

Pero a nosotros lo que nos interesa conocer, es R, y obtenemos:

$$R = S \cdot \frac{i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Ec. C-10}$$

y de donde tenemos el coeficiente que nos interesa:

$$R = S \cdot i^{-n} \text{Sfdf} \quad \text{Ec. C-11}$$

donde

$i^{-n} \text{Sfdf}$ se conoce como factor de depósito de fondo de amortización, a una tasa compuesta i , en un tiempo n .

Y finalmente, ya que lo que realmente vamos a tener es inversiones

(1) Ver desarrollo completo en Taylor George A. "Managerial and Engineering Economy"

actualizadas que expresar en series uniformes, podemos remplazar S en la ecuación C.10 , por la ecuación fundamental C.1, y tenemos:

$$R = P \cdot \frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Ec. C.12}$$

que tiene su forma

$$R = P \cdot i^{-n} \text{Crf} \quad \text{Ec. C-13}$$

en donde el coeficiente

$i^{-n} \text{Crf}$ se conoce como "Factor de recuperación del capital, a una tasa compuesta de recuperación i , en un tiempo de imposición de n períodos.

Con las ecuaciones anteriores, tenemos las armas que necesitamos para trasladar un valor cualquiera, en un tiempo m , a un conjunto de anualidades a lo largo del tiempo n , para lo que necesitamos siempre pasar por el valor presente.

APENDICE D

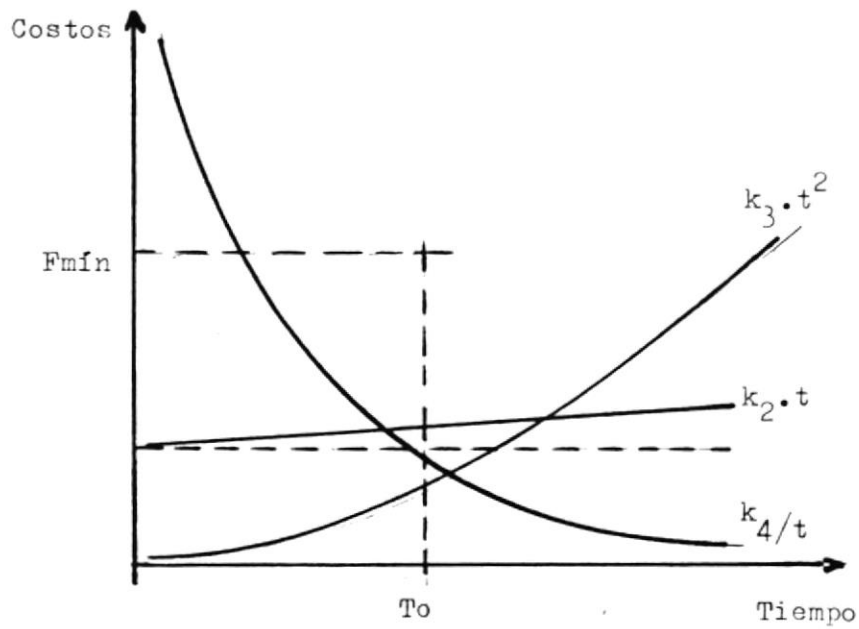
$$\text{ANALISIS DE UNA FUNCION } f(t) = k_1 + k_2 \cdot t + k_3 \cdot t^2 + \frac{k_4}{t}$$

En el estudio económico de una alimentadora eléctrica, al representar el Costo Total Anual en un modelo matemático concebido bajo unas ciertas simplificaciones, nos encontramos que la función costo simplificada, llega a una forma $f(t) = k_1 + k_2 t + k_3 t^2 + \frac{k_4}{t}$, la que conviene analizar, para comprender la forma en que cada parámetro hace incidencia sobre los costos que anualmente van apareciendo en el proyecto.

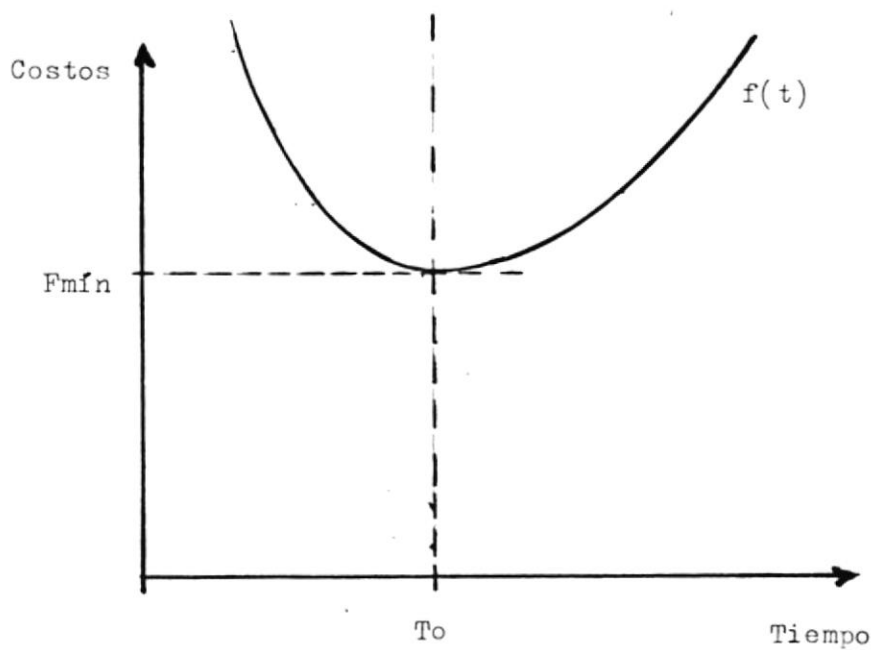
La función que estudiamos, está formada por un término decreciente que es k_4/t , un término monótonamente creciente $k_3 \cdot t^2$, un término constante ó independiente k_1 , que son positivos para el caso de nuestro interés, y un término lineal $k_2 \cdot t$, cuya constante k_2 tiene un signo que puede ser positivo, cero ó negativo.

Graficando en un mismo plano los términos individuales de $f(t)$, obtenemos el gráfico D- 1, y graficando la suma se tiene el gráfico D - 2.

GRAF. D- 1 Términos que componen la función $f(t)$:



GRAF. D- 2 Punto Mínimo de $f(t)$.



El término k_1 , es una recta paralela al origen y eje horizontal t que desplaza la curva de la función $f(t)$ hacia arriba, en una magnitud positiva k_1 . El término $k_3 \cdot t^2$, corresponde a una parábola, que pasa por el origen, tiene su vértice también en el origen, se abre hacia arriba, y que se hace más cerrada según crece su constante k_3 . El término k_4 , corresponde a una hipérbola equilátera, simétrica con respecto al origen, monótonamente decreciente en el plano positivo, y que se aleja del origen conforme crece su término constante k_4 .

El gráfico de la función $f(t)$, corresponde a una curva que baja de infinito positivo en $t=0$, tiene un punto mínimo en $t= T_0$, y crece luego monótonamente, y se abre hacia la derecha más mientras mayor sea el coeficiente k_3 . De la gráfica, observamos que en T_0 , que es el punto mínimo de la función, en que toma un valor $F_{\text{mín}}$, $(T_0, F_{\text{mín}})$, se reflejan todos los coeficientes de la función, de modo que k_1 , no afecta al valor de T_0 , sino únicamente al valor que toma $F_{\text{mín}}$; k_3 , cuando crece, desplaza el valor de T_0 hacia la izquierda, incrementando el valor de $F_{\text{mín}}$, y lo contrario sucede para cuando k_3 decrece, en que la función tiene un mínimo con menor valor de $F_{\text{mín}}$, y un mayor valor de T_0 . Aquí notemos que si $f(t)$, es una función costos, nos interesa que su valor costo mínimo $F_{\text{mín}}$ sea lo menor posible, y que T_0 que es el tiempo óptimo económico, sea a su vez lo más grande que sea posible, lo cual se consigue

disminuyendo el coeficiente k_3 . Cuando k_4 crece, es un poco más difícil predecir el comportamiento de la función total en base únicamente del gráfico, pero observando que el mínimo de la función $g(t) = k_3 \cdot t^2 + k_4/t$ se encuentra en $T_0 = (k_4/2k_3)^{1/3}$,

(B), podemos afirmar que al incrementar el valor de k_4 , el tiempo óptimo T_0 se va a desplazar hacia la derecha, pero que el valor mínimo de la función, F_{\min} , va a crecer cuadráticamente (B) a medida que este tiempo crece. El caso de k_2 , es diferente a los casos anteriores, ya que puede desplazar T_0 hacia la derecha, y produciendo un valor de F_{\min} que es inferior al anterior. Tenemos entonces, que el mejor coeficiente para nuestros propósitos, es el k_2 , que puede inclusive llegar a tomar valores negativos.

Desarrollando el cálculo del punto mínimo para $f(t)$, tenemos:

$$\frac{d}{dt} f(t) = k_2 + 2 \cdot k_3 \cdot t + \frac{-k_4}{t^2} = 0 \quad \text{Ec. D.1}$$

$$\frac{d}{dt} f(t) = \frac{k_2 \cdot t^2 + 2 \cdot k_3 \cdot t^3 - k_4}{t^2}$$

(B) Ver Apéndice B.

Para $\frac{d}{dt} = 0$,

$$2 \cdot k_3 \cdot t^3 + k_2 \cdot t^2 - k_4 = 0 \quad \text{Ec. D.2}$$

que es una ecuación cúbica sin término en t .

Resolviendo la ecuación de tercer orden, hacemos el cambio de variable: $y = t - h$, y reemplazando en

$$t^3 + \frac{k_2}{2 \cdot k_3} t^2 - \frac{k_4}{2 \cdot k_3} = 0 \quad , \text{ se tiene} \quad \text{Ec. D.3}$$

$$(y + h)^3 + \frac{k_2}{2 \cdot k_3} (y + h)^2 - \frac{k_4}{2 \cdot k_3} = 0$$

$$y^3 + h^3 + 3 \cdot y^2 \cdot h + 3 \cdot y \cdot h^2 + \frac{k_2}{2 \cdot k_3} (y^2 + 2 \cdot y \cdot h + h^2) - \frac{k_4}{2 \cdot k_3} = 0$$

$$y^3 + \left(3 \cdot h + \frac{k_2}{2 \cdot k_3}\right) \cdot y^2 + \left(3 \cdot h^2 + \frac{k_2}{k_3} h\right) \cdot y + \left(h^3 + \frac{k_2}{2 \cdot k_3} h^2 - \frac{k_4}{2 \cdot k_3}\right) = 0$$

para $3 \cdot h + \frac{k_2}{2 \cdot k_3} = 0 \quad \text{Ec. D.4}$

$$h = -\frac{k_2}{6 \cdot k_3} \quad , \quad \text{Ec. D.5}$$

$$y^3 + \left(\frac{k_2^2}{12 \cdot k_3^2} - \frac{k_2^2}{6 \cdot k_3^2}\right) \cdot y + \left(-\frac{k_2^3}{216 \cdot k_3^3} + \frac{k_2^3}{72 \cdot k_3^3} - \frac{k_4}{2 \cdot k_3}\right) = 0$$

$$y^3 - \frac{k_2^2}{12.k_3^2} y + \left(\frac{k_2^3}{108.k_3^3} - \frac{k_4}{2.k_3} \right) = 0 \quad \text{Ec. D.6}$$

que tiene la forma $y^3 + q.y + r = 0$.

Haciendo el nuevo cambio de variable:

$y = x + z$, tenemos que

$$y^3 = x^3 + z^3 + 3.x.z(x + z)$$

$$y^3 = x^3 + z^3 + 3.x.z.y \quad \text{Ec. D.7}$$

que arreglando, puede escribirse en la forma

$$x^3 + z^3 + 3.x.z.y - y^3 = 0 \quad \text{Ec. D.8}$$

y reemplazando el término y^3 por su expresión en q y r , tenemos:

$$x^3 + z^3 + 3.x.z.y - (-q.y - r) = 0$$

$$x^3 + z^3 + (3.x.z + q).y + r = 0$$

y si hacemos:

$$3.x.z + q = 0$$

$$x.z = -\frac{q}{3} \quad \text{Ecs. D.9}$$

$$x^3.z^3 = -\frac{q^3}{27}$$

y por tanto:

$$x^3 + z^3 + r = 0$$

$$x^3 + z^3 = -r \quad \text{Ecs. D.10}$$

Dado que conocemos las expresiones para la suma y el producto de x^3 y z^3 , éstas deben ser solución de una ecuación cuadrática de la forma $A.\theta^2 + B.\theta + C = 0$, cuyas raíces son $\theta_1 = x^3$ y $\theta_2 = z^3$, y sabiendo por las propiedades de las raíces de las ecuaciones cuadráticas, que

$$x^3 + z^3 = -\frac{B}{A}$$

$$x^3 \cdot z^3 = \frac{C}{A}$$

tenemos que la ecuación cuadrática correspondiente será:

$$\theta^2 + r.\theta + \left(-\frac{q^3}{27}\right) = 0 \quad \text{Ec. D.11}$$

que es la ecuación resolvente de la ecuación cúbica que deseamos resolver, y dado que las soluciones para θ son:

$$\theta_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4.A.C}}{2.A}$$

Como sabemos, x^3 y z^3 son las soluciones θ_1 y θ_2 , y tenemos:

$$y = \sqrt[3]{\frac{-r + \sqrt{r^2 - \frac{4}{27}q^3}}{2}} + \sqrt[3]{\frac{-r - \sqrt{r^2 - \frac{4}{27}q^3}}{2}} \quad \text{Ec. D.12}$$

pero $t = y + h$, por lo que tenemos la solución óptima para t , T_0 ,

$$T_0 = \sqrt[3]{\frac{-\left(\frac{k_2^3}{108.k_3^3} - \frac{k_4}{2.k_3}\right) + \sqrt{\left(\frac{k_2^3}{108.k_3^3} - \frac{k_2}{2.k_3}\right)^2 - \frac{4}{27}\left(-\frac{k_2^2}{12.k_3^2}\right)}}{2}} + \dots$$

$$\begin{aligned}
& + \sqrt[3]{\frac{-\left(\frac{k_2^3}{108.k_3^3} - \frac{k_4}{2.k_3}\right) - \sqrt{\left(\frac{k_2^3}{108.k_3^3} - \frac{k_4}{2.k_3}\right)^2 - \frac{4}{27}\left(-\frac{k_2^2}{12.k_3^3}\right)^3}}{2}} \\
& + \left(-\frac{k_2}{6.k_3}\right) \quad . \quad \quad \quad \text{Ec. D.13}
\end{aligned}$$

Que es la expresión para T_0 que buscábamos.

Notemos que la expresión no depende de K_1 , como ya se observó en los gráficos. Observemos que al hacer $k_2 = 0$, la solución se convierte en $T_0 = \left(\frac{k_4}{2.k_3}\right)^{1/3}$, que tiene la misma forma que la obtenida para la formulación general de costos totales (B).

Si reemplazamos ahora en la ecuación de T_0 un valor positivo y uno negativo para k_2 observaremos que el T_0 será mayor para un valor negativo de k_2 , y que se hace menor a medida que el valor de k_2 va creciendo.

La expresión D. para T_0 , puede ser analizada observando la magnitud de los coeficientes k_2 , k_3 , y k_4 , y la influencia que tienen sobre la solución T_0 , de modo que puedan ser aproximados a cero los términos de pequeña influencia, lo cual se aprecia ya con los valores típicos aplicados de un caso dado. Para el caso de los costos de las alimentadoras eléctricas, observamos que la expresión se comporta de manera similar a una aproximación simplificada del apéndice B. (1.4). (Ver artículo 1.4).

APENDICE E

DEDUCCION DE LAS ECUACIONES DE APROXIMACION AL COSTO TOTAL ANUAL

CUANDO LA DEMANDA TIENE LA FORMA DE UNA EXPONENCIAL MAS UN ESCALON

Repitiendo el procedimiento para obtener una función de Costos Totales Anuales aplicado en el primer capítulo de la presente Tesis, en el artículo I.3 , esta vez cuando la demanda tiene una forma:

$$DEM(t) = D_0 e^{at} + k E(h) , \text{ donde} \quad \text{Ec. E.1}$$

DEM(t) = función Demanda, que depende del tiempo,

D_0 = demanda inicial,

e = base de los logaritmos neperianos,

a = coeficiente del exponente de e , que da la expansión exponencial,

t = tiempo, variable de decisión,

k = magnitud del escalón de la demanda,

$E(h)$ = es la función escalón, que vale cero desde el tiempo cero hasta un punto h^- del tiempo, y vale la unidad desde el punto h^+ en adelante,

evaluando los costos variables, que son los que dependen de la demanda, tenemos:

$$PENAL = \frac{FC \text{ INVo}}{CAP} \int_0^t [CAP - DEM(t)] dt \quad \text{Ec.E.2}$$

PENAL = Costos por penalización de capital invertido en sobredimensión de la alimentadora,

FC = factor de costos por penalización, ya que no se considera una tasa de interés para el capital, se toma en cuenta una penalización del 24% sobre el promedio de costos anual,

INVo = inversión inicial,

CAP = capacidad de la alimentadora,

y desarrollando, tenemos:

$$\begin{aligned}
 \text{PENAL} &= \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}} \int_0^t (\text{CAP} - \text{Do} e^{at} - k E(h)) dt \\
 \text{PENAL} &= \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}} \left[\text{CAP} \cdot t - \frac{\text{Do}}{a} e^{at} \right]_0^t - k (t - h) \\
 \text{PENAL} &= \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}} \left[\text{CAP} \cdot t - \frac{\text{Do}}{a} e^{at} + \frac{\text{Do}}{a} \right] - k (t - h) \\
 \text{PENAL} &= \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}} \left[k \cdot h + \frac{\text{Do}}{a} + (\text{CAP} - k) t - \frac{\text{Do}}{a} e^{at} \right]
 \end{aligned}$$

Ec. E.3

y dividiendo para t, encontramos el promedio anual:

$$\text{PENALAN} = \frac{\text{FC INVo}}{\text{CAP}} \left[\left(k \cdot h + \frac{\text{Do}}{a} \right) + (\text{CAP} - k) t - \frac{\text{Do}}{a} e^{at} \right] \frac{1}{t}$$

Ec. E.4

que es la expresión para el costo promedio anual por concepto de penalización por sobredimensión.

El costo de las pérdidas de energía, se calcula:

$$\text{PERD} = \int_0^t \frac{1}{3} \cdot \left[\frac{\text{DEM}(t)}{\sqrt{3 \cdot \text{VLL} \cdot \text{FP}}} \right]^2 \cdot \text{PREC} \cdot R \cdot dt \quad \text{Ec. E.5}$$

$$\text{PERD} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \int_0^t \left[\text{Do} \cdot e^{at} + k \cdot E(h) \right]^2 \cdot dt$$

$$\text{PERD} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \int_0^t \left[\text{Do}^2 \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} + k^2 \cdot E(h) + 2 \cdot \text{Do} \cdot k \cdot e^{a \cdot t} \cdot E(h) \right] dt$$

$$\text{PERD} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \left[\frac{\text{Do}^2}{2a} \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} - \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} + k^2 \cdot (t - h) + \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} \cdot (e^{at} - e^{ah}) \right]$$

$$\begin{aligned} \text{PERD} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} & \left[- \left(\frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} + k^2 \cdot h + \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot h} \right) + k^2 \cdot t + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot t} + \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} \right] \end{aligned}$$

Y dividiendo para t obtenemos el costo promedio por año:

$$\begin{aligned} \text{PERDAN} = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} & \cdot \left[- \left(k^2 \cdot h + \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} + \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot h} \right) + k^2 \cdot t + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot t} + \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a} \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} \right] \frac{1}{t} \quad \text{Ec. E.6} \end{aligned}$$

donde R es la resistencia de la línea,

PREC es el costo de la unidad de potencia perdida en un año,
 VLL es el voltaje entre líneas de la alimentadora,
 FP es el factor de potencia de la carga.

Los costos fijos son los mismos que en el artículo 1.3, (Ec.I.3)
 y remplazando las ecuaciones en la Ecuación I.1, tenemos:

$$\begin{aligned}
 CTAN(t) = & \frac{INVo}{t} + MANTAN + \frac{FC.INVo}{CAP} \left[\left(k.h + \frac{Do}{a} \right) + \right. \\
 & \left. + (CAP - k) \cdot t - \frac{Do}{a} \cdot e^{a \cdot t} \right] \frac{1}{t} + \\
 & + \frac{R.PREC}{VLL^2 \cdot FP^2} \cdot \left[- \left(k^2 \cdot h + \frac{Do^2}{2 \cdot a} + \frac{2 \cdot Do \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot h} \right) + \right. \\
 & \left. + k^2 \cdot t + \frac{2 \cdot Do \cdot k}{a} \cdot e^{a \cdot t} + \frac{Do^2}{2 \cdot a} \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} \right] \frac{1}{t}
 \end{aligned}$$

Ec. E.6

Ecuación que tiene la forma

$$\begin{aligned}
 CTAN(t) = & \frac{A}{t} + C + C_1 \cdot \left[B + D \cdot t - E \cdot e^{a \cdot t} \right] \frac{1}{t} + \\
 & + C_2 \cdot \left[-F + k^2 \cdot t + G \cdot e^{a \cdot t} + H \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} \right] \frac{1}{t}
 \end{aligned}$$

Ec. E.7

Donde las variables son como se definieron para las ecuaciones E.1 a E.5 , y

MANTAN es el valor anual estimado para mantenimiento de la alimentadora.

Para la ecuación E.7, se tiene que

$$A = \text{INVo}$$

$$C = \text{MANTAN}$$

$$C_1 = \frac{\text{FC.INVo}}{\text{CAP}}$$

$$B = k.h + \frac{\text{Do}}{a}$$

$$D = \text{CAP} - k$$

$$E = -\frac{\text{Do}}{a}$$

$$C_2 = \frac{\text{R.PREC}}{\text{VIL}^2 . \text{FP}^2}$$

$$F = k^2 . h + \frac{\text{Do}^2}{2.a} + 2 . \frac{\text{Do} . k}{a} . e^{a.h}$$

$$G = \frac{2 . \text{Do} . k}{a}$$

$$H = \frac{D_0^2}{2.a}$$

Ecs. E.8

El siguiente paso, es determinar el valor mínimo de la función, y aplicando cálculo, tenemos:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \text{CTAN}(t) &= -\frac{A}{t^2} + \\ &+ C_1 \cdot \frac{t \cdot (D - E.a.e^{a.t}) - (B + D.t - E.e^{a.t})}{t^2} + \\ &+ C_2 \cdot \frac{t \cdot (k^2 + G.a.e^{a.t} + 2.a.H.e^{2.a.t}) +}{t^2} \\ &+ \frac{F - k^2.t - G.e^{a.t} - H.e^{2.a.t}}{t^2} \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sacando común denominador, t^2 , y eliminando la solución trivial $t = 0$ que resulta de igualar el denominador a cero, multiplicamos ambos lados de la ecuación por t^2 , y tenemos:

$$\begin{aligned} -A + C_1 \cdot (D.t - E.a.e^t .t - B - D.t + E.e^{a.t}) + \\ C_2 \cdot (t.k^2 + G.a.e^{a.t} + 2.a.H.e^{2.a.t} .t + F - k.t^2 - \\ - G.e^{a.t} - H.e^{2.a.t}) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_1 \cdot (1 - a \cdot t) \cdot E + C_2 \cdot (a \cdot t - 1) \cdot G \cdot e^{a \cdot t} + \\
& + C_2 \cdot (2 \cdot a \cdot t - 1) \cdot H \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} + (C_2 \cdot F - A - B \cdot C_1) = 0 \\
& (a \cdot t - 1)(C_2 \cdot G - C_1 \cdot E) \cdot e^{a \cdot t} + (2 \cdot a \cdot t - 1) \cdot C_2 \cdot H \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} + \\
& + (C_2 \cdot F - A - B \cdot C_1) = 0 \qquad \text{Ec. E.9}
\end{aligned}$$

Expresión que tiene la forma:

$$(a \cdot t - 1) A' \cdot e^{a \cdot t} + (2 \cdot a \cdot t - 1) B' \cdot e^{2 \cdot a \cdot t} + C' = 0, \qquad \text{Ec. E.10}$$

en la que

$$A' = (C_2 \cdot G - C_1 \cdot E)$$

$$B' = C_2 \cdot H$$

$$C' = C_2 \cdot F - A - B \cdot C_1 \qquad \text{Ecs. E.11}$$

y reemplazando tenemos:

$$A' = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \frac{2 \cdot \text{Do} \cdot k}{a} - \frac{\text{FC} \cdot \text{INVo}}{\text{CAP}} - \frac{\text{Do}}{a}$$

$$B' = \frac{R \cdot \text{PREC}}{\text{VLL}^2 \cdot \text{FP}^2} \cdot \frac{\text{Do}^2}{2 \cdot a}$$

$$C' = \frac{R.PREC}{VLL^2.FP^2} \cdot k^2 \cdot h + \frac{Do^2}{2.a} + 2 \cdot \frac{Do.k}{a} \cdot e^{a.h} - INVo -$$

$$- \left(k.h + \frac{Do}{a} \right) \cdot \frac{FC.INVo}{CAP} \quad \text{Ecs. E.12}$$

Dado que la forma de la ecuación E.10, no es fácil de manipular para calcular t , (1), utilizando las ecuaciones E.12, podemos evaluar las constantes de la expresión implícita de E.10, y aplicar métodos numéricos para resolver un valor To de la función.

Posterior al cálculo de To , se evalúa el valor mínimo de $CTAN(t)$ que puede hacerse de la expresión:

$$CTAN(t) = k_1 + k_2 \cdot \frac{e^{a.t}}{t} + k_3 \cdot \frac{e^{2.a.t}}{t} + \frac{k_4}{t} \quad \text{Ecs. E.13}$$

siendo:

$$k_1 = MANTAN + \frac{FC.INVo}{CAP} \cdot (CAP - k) + \frac{R.PREC.k^2}{VLL^2.FP^2}$$

$$k_2 = \frac{R.PREC}{VLL^2.FP^2} \cdot \frac{2.Do.k}{a} - \frac{FC.INVo}{CAP} \cdot \frac{Do}{a}$$

(1) El autor todavía no ha conseguido llegar a la forma explícita.

$$k_3 = \frac{R.PREC}{VLL^2.FP^2} \cdot \frac{Do^2}{2.a}$$

$$k_4 = Invo + \frac{FC.INVo}{CAP} \cdot \left(k.h + \frac{Do}{a} \right) - \frac{R.PREC}{VLL^2.FP^2} \cdot k^2.h +$$

$$+ \frac{Do^2}{2.a} + \frac{2.Do.k}{a} \cdot e^{a.t}$$

Ecs. E.14

APENDICE F

PROGRAMA EN LENGUAJE PASCAL

LISTADO DEL PROGRAMA DE COMPUTADOR CON EL QUE SE SIMULAN LOS COSTOS DE LA ALIMENTADORA ELECTRICA.

En el capítulo III de la presente Tesis, se presenta un algoritmo computacional, para determinar los valores de la función Costos Totales Anuales, de un proyecto de alimentación eléctrica. Para mayor comodidad, se divide el proceso en tres programas, que pueden ser utilizados individualmente. El primero, es un programa que manipula datos a procesar. El segundo, es la función simuladora de costos, que opera con los datos del primer programa, y que acepta ciertas variaciones en la curva de la demanda. El tercero, se diseña para analizar los resultados generados por el segundo programa, una vez que se tiene un conjunto de planes y variaciones procesadas.

En la FIGURA F - 1, se muestra el listado del primer programa, que se denomina PROGRAMA CAMBIADATOS. En la FIGURA F- 2 se muestra el segundo, el PROGRAMA MODELO 1. El tercer programa se muestra en el siguiente apéndice, junto con un ejemplo.

FIGURA F - 1

LISTADO DEL PROGRAMA CAMBIADATOS, EN
LENGUAJE PASCAL.

```

PROGRAM CAMBIADATOS ;
  ( PROGRAMA PARA CAMBIAR LOS DATOS
    EN EL ARCHIVO FILEDATA )

CONST
  SI = 'S' ;
  VIDAMAXIMA = 50 ;

TYPE
  VIDAUTIL = 1 .. VIDAMAXIMA ;
  RESULTADOS = RECORD
    NOMBRE : STRING ;
    TIVIDA,TIAMPLIACION : INTEGER ;
    INVERINICIAL,INVERAMPLIACION : REAL ;
    COSTANEGUIVALENTE,COSTOSCADANIO : ARRAY[VIDAUTIL] OF REAL ;
  END ;

  DATAMATRIX = RECORD
    NOMBR : STRING ;
    COMENT1,COMENT2,COMENT3 : STRING ;

    COSTINICIAL,
    COSTAMPLIACION,
    LIMITERMICO,
    RESISINICIAL,
    RESISAMPLIACION,
    RFACINICIAL,
    REACAMPLIACION,
    KVOLTINICIAL,ESLL,
    KVOLTAMPLIACIONLL,
    EQUIFAMPLIACION,
    LONGITUD,
    FACTORPOTENCIA,
    DELTAVOLTAJE,
    PRECIOENERGIA,
    MANTENIMIENTOANUAL,
    TASAINTERES : REAL ;
  END ;

VAR
  DISPLAY : INTERACTIVE ;
  DATOS : DATAMATRIX ;
  DATA1 : FILE OF DATAMATRIX ;
  RESULTS : FILE OF RESULTADOS ;
  FILEDATA,FILERESULTS,FILENAME : STRING ;

  DIG : CHAR ;

PROCEDURE LEEDATA1 ;
VAR
  NOMBRE : STRING ;

BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS QUE DESEA LEER') ;
  WRITELN ;
  READLN(FILENAME) ;
  FILEDATA := CONCAT(FILENAME, '.DATA') ;
  WRITELN ;
  WRITELN(' LAS ALTERNATIVAS DEL ARCHIVO ',FILEDATA,' SON : ') ;
  WRITELN ;

```

```

RESET(DATA1,FILEDATA) ;
WHILE NOT EOF(DATA1) DO
BEGIN
  DATOS := DATA1 ;
  WRITELN(DATOS.NOMBR);
  GET(DATA1) ;
END ;
CLOSE(DATA1) ;
WRITELN ;
WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DE LA ALTERNATIVA QUE DESEA LEER') ;
WRITELN ;
READLN(NOMBRE) ;

RESET(DATA1,FILEDATA) ;
DATOS := DATA1 ;
WHILE NOT (NOMBRE = DATOS.NOMBR) DO
BEGIN
  GET(DATA1) ;
  DATOS := DATA1 ;
END ;
CLOSE(DATA1) ;
END ;

PROCEDURE INICIAL ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
  BEGIN
    WRITE(DISPLAY,' ALTERNATIVA ',NOMBR) ;
    WRITELN(DISPLAY,' :120,'ARCHIVO ',FILEDATA);
    WRITELN(DISPLAY);
    WRITELN(DISPLAY,COMENT1) ;
    WRITELN(DISPLAY,COMENT2) ;
    WRITELN(DISPLAY,COMENT3) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,'          CARACTERISTICAS DE LA ALIMENTADORA ') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,'          CARACTERISTICA INICIAL') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,' RESISTENCIA INICIAL : ',
    RESISINICIAL :10 :4,' OHMIOS/KM') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,' REACTANCIA INICIAL : ',
    REACINICIAL :10 :4,' OHMIOS/KM') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,' VOLTAJE INICIAL DE OPERACION : ',
    KVOLTINICIALESLL:10:2,' KV') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,' COSTO POR KILOMETRO : ',
    COSTINICIAL :10 :2,' SUCRES/KM') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY,' LIMITE TERMICO : ',
    LIMITERMICO:10:2,' AMPERIOS') ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
  END ;
END ;

```



```

PROCEDURE AMPLIACION ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
  BEGIN
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' CARACTERISTICAS DE LA AMPLIACION ' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' RESISTENCIA DE LA AMPLIACION : ',
      RESISAMPLIACION :10 :4, ' OHMIOS/KM' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' REACTANCIA DE LA AMPLIACION : ',
      REACAMPLIACION :10 :4, ' OHMIOS/KM' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' VOLTAJE DE OPERACION : ',
      KVOLTAMPLIACIONLL :10 :2, ' KV' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' COSTO POR KILOMETRO : ',
      COSTAMPLIACION :10 :2, ' SUCRES/KM' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' COSTO DE EQUIPOS ADICIONALES : ',
      EQUIPAMPLIACION :10 :2, ' SUCRES' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
  END ;
END ;

PROCEDURE PROYECTO ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
  BEGIN
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' CARACTERISTICAS DEL PROYECTO' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' LONGITUD : ',
      LONGITUD :10 :2, ' KM' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' FACTOR DE POTENCIA : ',
      FACTORPOTENCIA :10 :4) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' CAIDA DE VOLTAJE : ',
      DELTAVOLTAJE :10 :2, ' X ' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' PRECIO DE LA ENERGIA : ',
      PRECIOENERGIA :10 :2, ' MILES SUCRES/KW-AN*O' ) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' TASA DE INTERES : ',
      TASAINTERES :10 :4) ;
    WRITELN(DISPLAY) ;
    WRITELN(DISPLAY, ' MANTENIMIENTO ANUAL : ',
      MANTENIMIENTOANUAL :10 :2, ' SUCRES' ) ;
  END ;
END ;

PROCEDURE PRINTDATA1 ;
BEGIN
  WRITELN(' DESEA IMPRIMIR LOS DATOS DEL ARCHIVO ' ) ;
  WRITELN(FILEDATA, ' ? SI O NO ' ) ;
  WRITELN ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI
  THEN
  BEGIN
    INICIAL ; ( PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS DE LA ALIMENTADORA
      INICIAL )

    AMPLIACION ; ( PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS DE LA AMPLIACION )

    PROYECTO ; ( PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS DEL PROYECTO )
  END ;
END ;

```

```

PROCEDURE ALMACENA ;
BEGIN
  RESET(DATA1,FILEDATA) ;
  WHILE NOT EOF(DATA1) DO
    GET(DATA1) ;
    DATA1 := DATOS ;
    PUT(DATA1) ;
    CLOSE(DATA1) ;
  END ;

PROCEDURE COHENT ;
BEGIN
  WRITELN(' DESEA MODIFICAR LOS COMENTARIOS DE DATOS ? ') ;
  WRITELN ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI
  THEN
    BEGIN
      WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DE LA ALTERNATIVA, 2 CARACTERES ') ;
      WRITELN ;
      WITH DATOS DO
        BEGIN
          READLN(NOMBR) ;
          WRITELN(' DIGITE LOS NUEVOS COMENTARIOS EN 3 LINEAS ') ;
          WRITELN ;
          READLN(COMENT1) ;
          READLN(COMENT2) ;
          READLN(COMENT3) ;
        END ;
      END ;
    END ;

PROCEDURE ACEPTINICIAL ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
    BEGIN
      WRITELN ;
      WRITELN(' DIGITE LOS VALORES DE ') ;
      WRITELN(' LIMITE TERMICO DE LA ALIMENTADORA INICIAL (AMPS) ') ;
      WRITELN ;
      READLN(LIMITERMICO) ;
      WRITELN(' RESISINICIAL REACINICIAL KVOLTINICIALESLL COSTINICIAL ') ;
      WRITELN ;
      READLN(RESISINICIAL,REACINICIAL,KVOLTINICIALESLL,COSTINICIAL) ;
    END ;
  END ;

PROCEDURE ACEPTAMPLIACION ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
    BEGIN
      WRITELN ;
      WRITELN(' DIGITE LOS VALORES DE ') ;
      WRITELN(' RESISAMPLIACION REACAMPLIACION KVOLTAMPLIACIONLL ') ;
      WRITELN ;
      READLN(RESISAMPLIACION,REACAMPLIACION,KVOLTAMPLIACIONLL) ;
      WRITELN ;
      WRITELN(' COSTAMPLIACION EQUIFAMPLIACION ') ;
      WRITELN ;
      READLN(COSTAMPLIACION,EQUIFAMPLIACION) ;
    END ;
  END ;

PROCEDURE ACEPTPROYECTO ;
BEGIN
  WITH DATOS DO
    BEGIN
      WRITELN ;
      WRITELN(' DIGITE LOS VALORES DE ') ;
      WRITELN(' LONGITUD FACTORPOTENCIA DELTAVOLTAJE PRECIOENERGIA ') ;
      WRITELN ;
      READLN(LONGITUD,FACTORPOTENCIA,DELTAVOLTAJE,PRECIOENERGIA) ;
      WRITELN ;
      WRITELN(' TASAINTERES MANTENIMIENTOANUAL ') ;
      WRITELN ;
      READLN(TASAINTERES,MANTENIMIENTOANUAL) ;
    END ;
  END ;

```

```

PROCEDURE CAMBIA ;
BEGIN
  WRITELN(' DESEA CAMBIAR DATOS ? ') ;
  WRITELN ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI THEN
  BEGIN
    WITH DATOS DO
    BEGIN
      COMENT ;
      WRITELN ;
      WRITELN(' DESEA CAMBIAR DATOS DE ALIMENTADORA INICIAL ? SI O NO') ;
      WRITELN ;
      READLN(DIG) ;
      IF DIG = SI
      THEN ACEPTINICIAL ; ( PROCEDE A ACEPTAR CAMBIOS EN LA
        ALIMENTADORA INICIAL )

      WRITELN(' DESEA CAMBIAR DATOS DE AMPLIACION ? SI O NO') ;
      WRITELN ;
      READLN(DIG) ;
      IF DIG = SI
      THEN ACEPTAMPLIACION ; ( PROCEDE A ACEPTAR CAMBIOS EN
        LOS DATOS DE LA AMPLIACION )

      WRITELN ;
      WRITELN(' DESEA CAMBIAR DATOS DEL PROYECTO ? SI O NO') ;
      WRITELN ;
      READLN(DIG) ;
      IF DIG = SI
      THEN ACEPTPROYECTO ; ( PROCEDE A ACEPTAR CAMBIO DE DATOS
        DEL PROYECTO )

      WRITELN(' ESTAN CORRECTOS LOS NUEVOS DATOS ? ') ;
      READLN(DIG) ;
      IF DIG = SI
      THEN
        ALMACENA ;
    END ;
  END ;
END ;

PROCEDURE LECTURA ;
BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN(' DESEA LEER DATOS ? ') ;
  WRITELN ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI THEN
  LEEDATA1 ;
END ;

PROCEDURE CREA ;
BEGIN
  WRITELN(' ESTAN CORRECTOS LOS DATOS ? ') ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI THEN
  BEGIN
    REWRITE(DATA1,FILEDATA) ;
    DATA1 := DATOS ;
    PUT(DATA1) ;
    CLOSE(DATA1+LOCK) ;
    REWRITE(RESULTS,FILERESULTS) ;
    CLOSE(RESULTS+LOCK) ;
  END ;
END ;

```

```

PROCEDURE NUEVODATO ;
BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DE LA ALTERNATIVA, 2 CARACTERES ') ;
  WRITELN ;
  WITH DATOS DO
  BEGIN
    READLN(NOMBR) ;
    WRITELN(' DIGITE LOS NUEVOS COMENTARIOS EN 3 LINEAS ') ;
    WRITELN ;
    READLN(COMENT1) ;
    READLN(COMENT2) ;
    READLN(COMENT3) ;
    WRITELN ;
    WRITELN('DIGITE LOS VALORES DE') ;
    WRITELN(' LIMITE TERMICO DE LA ALIMENTADORA INICIAL (AMPS) ') ;
    WRITELN ;
    READLN(LIMITERMICO) ;
    WRITELN('RESISINICIAL REACINICIAL KVOLTINICIALESLL COSTINICIAL') ;
    WRITELN ;
    READLN(RESISINICIAL,REACINICIAL,KVOLTINICIALESLL,COSTINICIAL) ;
    WRITELN ;
    WRITELN('DIGITE LOS VALORES DE') ;
    WRITELN('RESISAMPLIACION REACAMPLIACION KVOLTAMPLIACIONLL ') ;
    WRITELN ;
    READLN(RESISAMPLIACION,REACAMPLIACION,KVOLTAMPLIACIONLL) ;
    WRITELN ;
    WRITELN('COSTAMPLIACION EQUIPAMPLIACION ') ;
    WRITELN ;
    READLN(COSTAMPLIACION,EQUIPAMPLIACION) ;
    WRITELN ;
    WRITELN(' DIGITE LOS VALORES DE ') ;
    WRITELN(' LONGITUD FACTORPOTENCIA DELTAVOLTAJE PRECIOENERGIA') ;
    WRITELN ;
    READLN(LONGITUD,FACTORPOTENCIA,DELTAVOLTAJE,PRECIOENERGIA) ;
    WRITELN ;
    WRITELN(' TASAINTERES MANTENIMIENTOANUAL') ;
    WRITELN ;
    READLN(TASAINTERES,MANTENIMIENTOANUAL) ;
  CREA ;
  END ;
END ;

PROCEDURE NUEVOFILE ;
BEGIN
  WRITELN(' DESEA CREAR UN NUEVO ARCHIVO ? ') ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI THEN
  BEGIN
    WRITELN ;
    WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DEL NUEVO ARCHIVO') ;
    WRITELN ;
    READLN(FILENAME) ;
    FILEDATA := CONCAT(FILENAME, '.DATA') ;
    FILERESULTS := CONCAT(FILENAME, '.RSTS') ;
    NUEVODATO ; ( PROCEDE A TOMAR LOS NUEVOS DATOS )
  END ;
END ;

BEGIN
  REWRITE(DISPLAY, 'PRINTER:') ;

  NUEVOFILE ; ( PROCEDE A CREAR UN NUEVO ARCHIVO DE DATOS )

  LECTURA ; ( PROCEDE A LEER EL ARCHIVO DATA1 )

  PRINTDATA1 ; ( PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS DEL ARCHIVO )

  CAMBIA ; ( PROCEDE A CAMBIAR LOS DATOS ANTERIORES Y ALMACENAR
  LOS NUEVOS DATOS EN DATA1 )

END.

```

FIGURA F - 2

LISTADO DEL PROGRAMA MODELO 1, EN

LENGUAJE PASCAL

PROGRAMA MODELO1 ;

(PROGRAMA QUE CONSTRUYE UN MODELO DE COMPUTADOR
QUE SIMULA EL COMPORTAMIENTO ECONOMICO DE
ALIMENTADORAS ELECTRICAS
UTILIZANDO UN COMPUTADOR DIGITAL)

CONST

VIDAUXIMA = 50 ;
SI = 'S' ;
NO = 'N' ;

TYPE

VIDAUTIL = 1 .. VIDAUXIMA ;
MATRIZCOSTOS = RECORD
CONFRECIENTE,
CONFDECRECIENTE,
COSTOINICIAL : ARRAYVIDAUTIL OF REAL ;
END ;

MATRIZRESULTADOS = RECORD

NOMBRE : STRING ;
TIVIDA, TIAMPLIACION : INTEGER ;
INVERINICIAL, INVERAMPLIACION : REAL ;
COSTAINEQUIVALENTE, COSTOSCADAÑO : ARRAYVIDAUTIL OF REAL ;
END ;

MATRIZDATOS = RECORD

NOMBRE : STRING ;
COMENT1, COMENT2, COMENT3 : STRING ;

COSTINICIAL,
COSTAMPLIACION,
LIMITERICO,
RESISINICIAL,
RESISAMPLIACION,
REACTINICIAL,
REACTAMPLIACION,
KVOIINICIALFSLI,
KVOIAMPLIACIONLL,
EQUIFAMPLIACION,
LONGITUD,
FACTOREFICIENCIA,
DELTAVOLTAJE,
EFFICIENCIA,
MANTENIMIENTOANUAL,
TASAINTERES : REAL ;
END ;

VAR

DISPLAY : INTERACTIVE ;
BIG : CHAR ;
FILEREULTS, FILEDATA : STRING ;

COSTVARIABLES,
AUXGRAF : ARRAYVIDAUTIL OF REAL ;

DATOS : MATRIZDATOS ;
DATA1 : FILE OF MATRIZDATOS ;
FILENAME,
NOMBRE : STRING ;
COMENT1, COMENT2, COMENT3 : STRING ;

(PARAMETROS DE LA ALIMENTADORA)

```

LIMITERMICO,
FACTORPOTENCIA,
KVOLTINICIALESLL,
KVOLTAMPLIACIONLL,
DELTAVOLTAGE,
RESISINICIAL,
RESISAMPLIACION,
REACINICIAL,
REACAMPLIACION,
PRECIOENERGIA,
    ALFA,
    TASAINTERES,
    LONGITUD,
    COSTINICIAL,
    COSTAMPLIACION,
    INVINICIAL,
    INVAMPLIACION,
    CAPACINICIAL,
    CAPACAMPLIADA,
    EQUIPAMPLIACION,
    MANTENIMIENTOANUAL : REAL ;

```

(PARAMETROS DE LA DEMANDA)

DATA2 :TEXT ; (ARCHIVO DEMAND.DAT)

TAMPLIACION,H1,H2,H3,T,TVIDA :VIDAUTIL ;

ALTERN1 :MATRIZCOSTOS ;

A1,A2,A3,K1,K2,K3,D,AUX1 :REAL ;

RESULTS : FILE OF MATRIZRESULTADOS ;

RESULT : MATRIZRESULTADOS ;

FUNCTION DEMANDA(T :INTEGER) :REAL ;

(* COMPUTA EL VALOR DE LA DEMANDA EN EL AÑO T *)

VAR

Z :REAL ;

BEGIN

Z := -D*EXP(T*ALFA) ;

IF T = H1 THEN Z := Z+K1 ;

IF T = H2 THEN Z := Z+K2 ;

IF T = H3 THEN Z := Z+K3 ;

DEMANDA := Z ;

END ;

FUNCTION SPPWF(T : INTEGER) : REAL ;

(EVALUA EL FACTOR DE PAGO SIMPLE VALOR ACTUALM

PARA UNA TASA DE INTERES I , EN EL TIEMPO T)

BEGIN

SPPWF := 1.0/EXP(T*LN(1.0+TASAINTERES)) ;

END ;

FUNCTION INVERSION(T : INTEGER) : REAL ;

(EVALUA EL VALOR PRESENTE DE TODA LA INVERSION

REALIZADA HASTA EL TIEMPO T)

VAR

Z : REAL ;

BEGIN

Z := INVINICIAL ;

IF T = TAMPLIACION THEN Z := Z+(INVAMPLIACION+

EQUIPAMPLIACION)*

SPPWF(TAMPLIACION) ;

INVERSION := Z ;

END ;

```

FUNCION CAPACIDAD( T : INTEGER ) : REAL ;
  ( EVALUA LA CAPACIDAD DE LA ALIMENTADORA EN EL
  TIEMPO T )
  VAR
    Z : REAL ;
  BEGIN
    Z := CAPACINICIAL ;
    IF T >= TAMPLIACION THEN Z := CAPACAMPLIADA ;
    CAPACIDAD := Z ;
  END ;

FUNCION PENALT(T :INTEGER) :REAL ;
  (* COMPUTA COSTOS POR PENALIZACION *)
  BEGIN
    IF DEMANDA( T ) < CAPACIDAD( T )
    THEN
      BEGIN
        PENALT :=TASAINTERES * INVERSION( T ) /
          CAPACIDAD( T ) * ( CAPACIDAD( T ) - DEMANDA( T ) ) ;
      END
    ELSE
      BEGIN
        PENALT := 0.0 ;
      END
    END ;
  END ;

FUNCION RESISTENCIA( T :INTEGER ) :REAL ;
  ( CALCULA EL VALOR DE LA RESISTENCIA EN EL
  CORRESPONDIENTE ANO T )
  VAR
    Z : REAL ;
  BEGIN
    Z := RESISINICIAL ;
    IF T >=TAMPLIACION THEN Z := RESISAMPLIACION ;
    RESISTENCIA := Z ;
  END ;

FUNCION PERDT(T :INTEGER) :REAL ;
  (* COMPUTA COSTOS POR PERDIDAS EN CONDUCTOR EN EL ANO T *)
  VAR
    VOLTLINEAS : REAL ;
  BEGIN
    IF T >= TAMPLIACION
    THEN VOLTLINEAS := KVOLTAMPLIACIONLL
    ELSE VOLTLINEAS := KVOLTINICIALESLL ;
    PERDT :=SQR(DEMANDA(T))/(VOLTLINEAS*FACTORPOTENCIA))
      *RESISTENCIA( T ) *PRECIOENERGIA ;
  END ;

FUNCION CVT(T :INTEGER) :REAL ;
  (* COMPUTA COSTOS VARIABLES EN EL ANO T *)
  BEGIN
    CVT :=-PERDT(T)+PENALT(T) ;
  END ;

FUNCION CVAC(T :INTEGER) :REAL ;
  (* COMPUTA VALOR ACUMULADO PRESENTE DE LOS COSTOS VARIABLES TOTALES
  EN EL ANO T *)
  BEGIN
    AUX1 :=AUX1+CVT( T ) *SPPWF( T ) ;
    CVAC :=AUX1 ;
  END ;

```



```

FUNCION CTVP(T :INTEGER) :REAL ;
(* COMPUTA TOTAL ACUMULADO DE COSTOS EN VALOR PRESENTE
EN EL AN"O T *)
BEGIN
  CTVP :=A1+INVERSION( T )+MANTENIMIENTOANUAL*T ;
END ;

FUNCION CRF(T :INTEGER) :REAL ;
(* COMPUTA EL FACTOR DE RECUPERACION DEL CAPITAL EN EL AN"O T,
PARA LA TASA DE INTERES DADA *)
VAR
  AUX2 :REAL ;
BEGIN
  AUX2 :=EXP(T*LN(1.0+TASAINTERES)) ;
  CRF :=-TASAINTERES*AUX2/(AUX2-1.0) ;
END ;

PROCEDURE ADJUDICA ;
BEGIN
  NOMBRE := DATOS.NOMBR ;
  COMENT1 := DATOS.COMENT1 ;
  COMENT2 := DATOS.COMENT2 ;
  COMENT3 := DATOS.COMENT3 ;
  COSTINICIAL := DATOS.COSTINICIAL ;
  RESISINICIAL := DATOS.RESISINICIAL ;
  REACINICIAL := DATOS.REACINICIAL ;
  KVOLTINICIALESLL := DATOS.KVOLTINICIALESLL ;
  LIMITERMICO := DATOS.LIMITERMICO ;
  COSTAMPLIACION := DATOS.COSTAMPLIACION ;
  RESISAMPLIACION := DATOS.RESISAMPLIACION ;
  REACAMPLIACION := DATOS.REACAMPLIACION ;
  KVOLTAMPLIACIONLL := DATOS.KVOLTAMPLIACIONLL ;
  EQUIFAMPLIACION := DATOS.EQUIFAMPLIACION ;
  LONGITUD := DATOS.LONGITUD ;
  FACTORPOTENCIA := DATOS.FACTORPOTENCIA ;
  DELTAVOLTAJE := DATOS.DELTAVOLTAJE ;
  PRECIOENERGIA := DATOS.PRECIOENERGIA ;
  MANTENIMIENTOANUAL := DATOS.MANTENIMIENTOANUAL ;
  TASAINTERES := DATOS.TASAINTERES ;
END ;

PROCEDURE LEEDATOS ;
BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS ? ') ;
  WRITELN ;
  READLN(FILENAME) ;
  FILEDATA := CONCAT(FILENAME, '.DATA') ;
  FILERESULTS := CONCAT(FILENAME, '.RSTS') ;
  WRITELN(' LAS ALTERNATIVAS DEL ARCHIVO ', FILEDATA, ' SON : ') ;
  WRITELN ;
  RESET(DATA1, FILEDATA) ;
  WHILE NOT EOF(DATA1) DO
    BEGIN
      DATOS := DATA1 ;
      WRITELN(DATOS.NOMBR) ;
      GET(DATA1) ;
    END ;
  CLOSE(DATA1) ;
  WRITELN ;
  WRITELN(' DIGITE EL NOMBRE DE LA ALTERNATIVA QUE DESEA LEER ') ;
  WRITELN ;
  READLN(NOMBRE) ;
  RESET(DATA1, FILEDATA) ;
  DATOS := DATA1 ;
  WHILE NOT (NOMBRE = DATOS.NOMBR) DO
    BEGIN
      GET(DATA1) ;
      DATOS := DATA1 ;
    END ;
  CLOSE(DATA1) ;

  ADJUDICA ; { PROCEDE A ADJUDICAR VALORES LEIDOS A LAS VARIABLES DEL
PROGRAMA }
END ;

```

```

PROCEDURE EVALCONSTANTES ;
VAR
  AUX : REAL ;
BEGIN
  RESISINICIAL := RESISINICIAL * LONGITUD ;
  RESISAMPLIACION := RESISAMPLIACION * LONGITUD ;
  REACINICIAL := REACINICIAL * LONGITUD ;
  REACAMPLIACION := REACAMPLIACION * LONGITUD ;

  INVINICIAL := COSTINICIAL * LONGITUD ;
  INVAMPLIACION := COSTAMPLIACION * LONGITUD + EQUIPAMPLIACION ;

  AUX := ATAN(SQRT( 1.0 - SQR( FACTORPOTENCIA )) / FACTORPOTENCIA ) ;
  CAPACINICIAL := DELTAVOLTAJE * 10.0 * SQR( KVOLTINICIALESLL ) *
    FACTORPOTENCIA / ( RESISINICIAL * FACTORPOTENCIA + REACINICIAL *
    SIN( AUX )) ;
  CAFACAMPLIADA := DELTAVOLTAJE * 10.0 * SQR( KVOLTAMPLIACIONLL ) *
    FACTORPOTENCIA / ( RESISAMPLIACION * FACTORPOTENCIA +
    REACAMPLIACION * SIN( AUX )) ;
END ;

PROCEDURE COMENT ;
BEGIN
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, ' ALTERNATIVA ', 'NOMBRE,'          PROYECTO ',FILENAME) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY,COMENT1) ;
  WRITELN(DISPLAY,COMENT2) ;
  WRITELN(DISPLAY,COMENT3) ;
END ;

PROCEDURE TITULO ;
BEGIN
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, ' LOS PARAMETROS ACTUALES DE LA ALIMENTADORA SON : ' ) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, '          INICIAL          AMPLIACION') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
END ;

PROCEDURE DATAIN ;
BEGIN
  WRITELN(DISPLAY, 'INVERSION : ', 'INVINICIAL/1.0E3 :10 :2,'          ',
    INVAMPLIACION/1.0E3 :10 :2,'          MILES SUQUES') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'EQUIPOS DE') ;
  WRITELN(DISPLAY, 'AMPLIACION : ', ' ', ':17,
    EQUIPAMPLIACION/1.0E3:10 :2,'          MILES SUQUES') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'RESISTENCIA : ', 'RESISINICIAL :10 :4,'          ',
    RESISAMPLIACION :10 :4,'          OHMIOS') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'REACTANCIA : ', 'REACINICIAL :10 :4,'          ',
    REACAMPLIACION :10 :4,'          OHMIOS') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'CAPACIDAD : ', 'CAPACINICIAL :10 :2,'          ',
    CAPACAMPLIADA :10 :2,'          KW') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'VOLTAJE LINEAS: ', 'KVOLTINICIALESLL :10 :2,'          ',
    KVOLTAMPLIACIONLL :10 :2,'          KV') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'FACTOR DE') ;
  WRITELN(DISPLAY, 'POTENCIA : ', 'FACTORPOTENCIA :10 :2,'          ',
    FACTORPOTENCIA :10 :2) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'MANTENIMIENTO') ;
  WRITELN(DISPLAY, 'ANUAL : ', 'MANTENIMIENTOANUAL/1.0E3 :10 :2,'          ',
    MANTENIMIENTOANUAL/1.0E3 :10 :2,'          MILES SUQUES') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'PRECIO DE LA') ;
  WRITELN(DISPLAY, 'ENERGIA : ', 'PRECIOENERGIA :10 :4,'          ',
    PRECIOENERGIA :10 :4,'          MILES SUQUES') ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY, 'TASA DE') ;
  WRITELN(DISPLAY, 'INTERES : ', 'TASAINTERES :10 :4) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
END ;

```

```

PROCEDURE PRESENTADATOS ;
BEGIN
  WRITELN ;
  CLOSE(DISPLAY) ;
  REWRITE(DISPLAY,'CONSOLE :') ;
  COMENT ;
  TITULO ;
  DATAIN ;
  CLOSE(DISPLAY) ;
  REWRITE(DISPLAY,'PRINTER :') ;
  WRITELN ;
END ;

PROCEDURE PRINTPARAMETROS ;
BEGIN
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN('DESEA IMPRIMIR LOS DATOS ? DIGITE SI O NO') ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI
  THEN
    BEGIN
      COMENT ; < IMPRIME LOS COMENTARIOS DEL ARCHIVO DATA1.TEXT >
      TITULO ; < PROCEDE A IMPRIMIR EL TITULO DE LA SALIDA >
      DATAIN ; < PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS >
    END ;
  END ;

PROCEDURE CAMBIODEPARAMETROS ;
BEGIN
  WRITELN('DESEA EFECTUAR CAMBIOS EN LOS PARAMETROS ? ',
    ' DIGITE SI O NO') ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI
  THEN
    BEGIN
      WRITELN ;
      WRITELN('CAMBIOS EN LA DEMANDA, SI O NO') ;
      READLN(DIG) ;
      IF DIG = SI
      THEN
        BEGIN
          WRITELN ;
          WRITELN('LOS PARAMETROS ACTUALES SON : ') ;
          RESET(DATA2,'DEMAND.DAT') ;
          ( LOS DATOS DE LA CURVA DE DEMANDA ESTAN ALMACENADOS
            EN EL REGISTRO DEMAND.DAT )
          READLN(DATA2,D,ALFA,H1,K1,H2,K2,H3,K3) ;
          CLOSE(DATA2) ;
          WRITELN ;
          WRITELN('D      ALFA      H1      K1      H2      K2      H3      K3') ;
          WRITELN ;
          WRITELN(D :6 :2,' ',ALFA :6 :4,' ',H1 :2,' ',K1 :4 :1,
            ' ',H2 :2,' ',K2 :4 :1,
            ' ',H3 :2,' ',K3 :4 :1) ;

          WRITELN ;
          WRITELN('DIGITE LOS NUEVOS PARAMETROS') ;
          WRITELN ;
          WRITELN('D      ALFA      H1      K1      H2      K2      H3      K3') ;
          READLN(D,ALFA,H1,K1,H2,K2,H3,K3) ;
          REWRITE(DATA2,'DEMAND.DAT') ;
          WRITELN(DATA2,D,ALFA,H1,K1,H2,K2,H3,K3) ;
          CLOSE(DATA2,LOCK) ;
        END
      END
    END
  END ;
END ;

```

```

PROCEDURE SOLICITAINFORMACION ;
BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN('DIGITE EL TIEMPO DE ESTUDIO Y EL AÑO DE AMPLIACION ') ;
  READLN(TVIDA,TAMPLIACION) ;
  WRITELN ;
END ;

PROCEDURE INDICADEMANDA ;
BEGIN
  RESET(DATA2,'DEMAND.DAT') ;
  READLN(DATA2,D,ALFA,H1,K1,H2,K2,H3,K3) ;
  CLOSE(DATA2) ;
  ALFA := LN(1.0 + ALFA) ;
  WRITELN(DISPLAY,'DEMANDA( T ) = ',D :16 :2,'EXP(',ALFA :16 :4,' * T ) + ',
          K1 :4 :1,'ESC(',H1 :12,' ) + ',
          K2 :4 :1,'ESC(',H2 :12,' ) + ',
          K3 :4 :1,'ESC(',H3 :12,' ) ***' ) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY,'AÑO DE AMPLIACION : ',TAMPLIACION :3) ;
  WRITELN(DISPLAY) ;
END ;

PROCEDURE CALCCOSTOS( VAR ALTERN : MATRIZCOSTOS ) ;
BEGIN
  WITH ALTERN DO
  BEGIN
    AUX1 :=0.0 ;      ( INICIALIZA VARIABLE ACUMULATIVA )
    FOR T :=1 TO TVIDA DO
      BEGIN
        A1 :=CVAC(T) ;      ( CALCULA VALOR DE COSTOS
                           VARIABLES ACUMULADOS
                           EN VALOR PRESENTE )

        COMPCRECIENTE[T] :=(A1+T *MANTENIMIENTOANUAL )*CRF( T ) ;
        COMPDECIENTE[T] := INVERSION( T )*CRF( T ) ;
        COSTOANUALTOTAL[T] := COMPCRECIENTE[T]+COMPDECIENTE[T] ;
      END ;
    END ;
  END ;

PROCEDURE PRINTCOSTOS( VAR ALTERN1 : MATRIZCOSTOS ) ;
VAR
  DEMANDAT,AMPERIOS,
  AUX,RESIS,REACTANCIA,KV,CAIDAVOLTAJE : REAL ;
BEGIN
  WRITELN(DISPLAY) ;
  WRITELN(DISPLAY,' T ', 'COMPCREC ', 'COMPDECREC ', ' COSTANUAL',
            ' DEMANDA  CAPACIDAD  RESISTENCIA  INVERSION ') ;
  WITH ALTERN1 DO
  BEGIN
    FOR T := 1 TO TVIDA DO
      BEGIN
        DEMANDAT := DEMANDA(T) ;
        WRITELN(DISPLAY) ;
        WRITELN(DISPLAY,T :2,
                ' ',COMPCRECIENTE[T] :10 :2,
                ' ',COMPDECIENTE[T] :10 :2,
                ' ',COSTOANUALTOTAL[T] :10 :2,
                ' ',DEMANDAT :10 :2,
                ' ',CAPACIDAD( T ) :10 :2,
                ' ',RESISTENCIA( T ) :10 :4,
                ' ',INVERSION( T ) :10 :2) ;
      END ;
    END ;
  END ;

```

```

IF T >= TAMPLIACION
THEN
BEGIN
RESIS := RESISAMPLIACION ;
REACTANCIA := REACAMPLIACION ;
KV := KVDLTAMPLIACIONLL ;
AMPERIOS := DEMANDAT / (1.73205*KV);
AMPERIOS := AMPERIOS *
SQRT(SQR(RESISAMPLIACION)+
SQR(REACAMPLIACION)) /
SQRT(SQR(RESISINICIAL)+
SQR(REACAMPLIACION)) ;
END
ELSE
BEGIN
RESIS := RESISINICIAL ;
REACTANCIA := REACINICIAL ;
KV := KVDLTINICIALESLL ;
AMPERIOS := DEMANDAT / (1.73205*KV);
END ;
IF AMPERIOS >= LIMITERMICO THEN
WRITELN(DISPLAY,' *** LIMITE TERMICO *** ',
AMPERIOS:6:2,' AMPERIOS');
IF DEMANDAT > CAPACIDAD( T )
THEN
BEGIN
AUX := ATAN( SQRT( 1.0 - SQR( FACTORFOTENCIA ))/
FACTORFOTENCIA ) ;
CAIDAVOLTAJE := DEMANDA( T )*(RESIS*FACTORFOTENCIA +
REACTANCIA*SIN( AUX ))/
(10.0*SQR( KV )*FACTORFOTENCIA) ;
WRITELN(DISPLAY) ;
WRITELN(DISPLAY,' *** LIMITE DE REGULACION ***',
'CAIDA DE VOLTAJE : ',CAIDAVOLTAJE :6 :2,' X') ;
( DA AVISO DE LA SATURACION DE LA CAPACIDAD
DE LA ALIMENTADORA )
END ;
END ;
END ;
END ;

```

```

PROCEDURE GRAFICA ;
VAR
COORDENY : INTEGER ;
BEGIN
WRITELN('DESEA IMPRIMIR EL GRAFICO DE LOS COSTOS ? DIGITE SI O NO ') ;
READLN(DIG) ;
IF DIG = SI
THEN
BEGIN
WRITELN(DISPLAY) ;
WRITELN(DISPLAY) ;
WRITELN(DISPLAY,'AM"O COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SURES
WRITELN(DISPLAY) ;
WRITELN(DISPLAY) ;
FOR T :=1 TO TVIDA DO
BEGIN
WRITELN(DISPLAY) ;
COORDENY := ROUND(AUXGRAFE T J/1.0E4)-30 ;
AUXGRAFE T J := AUXGRAFE T J/1.0E3 ;
IF COORDENY <= 100
THEN
BEGIN
WRITELN(DISPLAY,T :2,' ' ,COORDENY,'* ',
AUXGRAFE T J :10 :2) ;
END
ELSE
BEGIN
WRITELN(DISPLAY,T :2,' ',AUXGRAFE T J :10 :2,
' FUERA DE ESCALA') ;
END ;
END ;
END ;
END ;

```

```

PROCEDURE REGISTRA( ALTERN : MATRIZCOSTOS ) ;
BEGIN
  WRITELN(' DESEA ALMACENAR LOS RESULTADOS ? ' ) ;
  READLN(DIG) ;
  IF DIG = SI
  THEN
    WITH ALTERN DO
    BEGIN
      WITH RESULT DO
      BEGIN
        NOMBRE := DATOS.NOMBR ;
        WRITELN(' DESEA MODIFICAR EL NOMBRE : ',NOMBRE,' DIGITE SI O NO');
        READLN(DIG);
        IF DIG = SI THEN
          BEGIN
            WRITELN(' DIGITE EL NUEVO NOMBRE ');
            WRITELN;
            READLN(NOMBRE);
          END;
        COSTANEQUIVALENTE := COSTOANUALTOTAL ;
        COSTOSCADANIO := COSTVARIABLES ;
        TIVIDA := TVIDA ;
        TIAMPLIACION := TAMPLIACION ;
        INVERINICIAL := INVINICIAL ;
        INVERAMPLIACION := INVAMPLIACION + EQUIFAMPLIACION ;
      END ;
    END ;
    RESET(RESULTS,FILERESULTS);
    WHILE NOT EOF(RESULTS) DO
      GET(RESULTS);
      RESULTS := RESULT ;
      PUT(RESULTS) ;
      CLOSE(RESULTS) ;
    END ;
  END ;
BEGIN
  REWRITE(DISPLAY,'PRINTER:') ;
  LEEDATOS ;      ( PROCEDE A LEER LOS PARAMETROS DE LA ALIMENTADORA
                  DEL ARCHIVO DATA1.TEXT )
  EVALCONSTANTES ;      ( PROCEDE A EVALUAR LAS EXPRESIONES
                          CONSTANTES DEL CALCULO )
  PRESENTADATOS ;      ( PROCEDE A MOSTRAR LOS DATOS
                        DEL ARCHIVO DATA1.TEXT )
  PRINTPARAMETROS ;      ( PROCEDE A IMPRIMIR LOS DATOS
                          DEL ARCHIVO DATA1.TEXT, SI LO DESEA
                          EL USUARIO )
  CAMBIODEPARAMETROS ;      ( PROCEDE A EFECTUAR CAMBIOS EN LOS
                              PARAMETROS QUE SE SOLICITEN )
  SOLICITA INFORMACION ;      ( PROCEDE A SOLICITAR INFORMACION
                              NECESARIA POR PANTALLA )
  INDICADEMANDA ;      ( PROCEDE A LEER LOS PARAMETROS DE LA
                        DEMANDA, Y A IMPRIMIRLOS EN EL ENCABEZADO
                        DE LA SALIDA )

  ( EL VALOR DE ALFA EN LA EXPONENCIAL, ES EL LOGARITMO
    DE LA CONSTANTE DE CRECIMIENTO )

```

```
WITH ALTERN1 DO
BEGIN
    CALCCOSTOS(ALTERN1) ;
        ( CALCULA LOS COSTOS CRECIENTES,
          COSTOS DECRECIENTES, Y
          COSTOS ANUALES TOTALES PARA EL CASO DADO )
    PRINTCOSTOS( ALTERN1) ;
        ( IMPRIME LOS COSTOS
          Y CARACTERISTICAS ANUALES DEL SISTEMA )

    AUXGRAF := COSTOANUALTOTAL ;

    GRAFICA ;
        ( PROCEDE A GRAFICAR EL COSTOANUALTOTAL[ T ] )

    REGISTRA(ALTERN1) ;
        ( PROCEDE A ALMACENAR LOS RESULTADOS )
END ;
END.
```

GRAFICO F - 3

EJEMPLO DE UNA SALIDA DE RESULTADOS

LISTADOS Y GRAFICADOS

DEL PROGRAMA MODELO

DEMANDA (T) = 250.00EXP(0.1133 * T) + 100.0ESC(3) + 150.0ESC(4) + 150.0ESC(8) ***

AÑO DE AMPLIACION: 26

T	COMPREC	COMPDEREC	COSTANUAL	DEMANDA	CAPACIDAD	RESISTENCIA	INVERSION
1	355899.	2.01984E6	2.37574E6	280.00	1491.93	3.6790	1.80343E6
2	364561.	1.06709E6	1.43165E6	313.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
3	373026.	750856.	1.12388E6	451.23	1491.93	3.6790	1.80343E6
4	382530.	593751.	976281.	493.38	1491.93	3.6790	1.80343E6
5	392750.	500289.	893040.	540.59	1491.93	3.6790	1.80343E6
6	404729.	438641.	843370.	743.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
7	417248.	395163.	812412.	802.67	1491.93	3.6790	1.80343E6
8	432129.	363036.	795165.	1018.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
9	447435.	338466.	785901.	1093.27	1491.93	3.6790	1.80343E6
10	463268.	319179.	782446.	1176.46	1491.93	3.6790	1.80343E6
11	479709.	303725.	783434.	1269.64	1491.93	3.6790	1.80343E6
12	496831.	291140.	787971.	1373.99	1491.93	3.6790	1.80343E6
13	514703.	280753.	795456.	1490.87	1491.93	3.6790	1.80343E6
14	533978.	272086.	806064.	1621.78	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	5.44	X		
15	554626.	264787.	819414.	1768.39	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	5.93	X		
16	576647.	258594.	835241.	1932.60	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	6.48	X		
17	600665.	253304.	853369.	2116.51	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	7.09	X		
18	624927.	248760.	873687.	2322.49	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	7.78	X		
19	651302.	244839.	896141.	2553.19	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	8.56	X		
20	679279.	241441.	920720.	2811.57	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	9.42	X		
21	708969.	238486.	947455.	3100.96	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	10.39	X		
22	740502.	235908.	976410.	3425.08	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	11.48	X		
23	774032.	233652.	1.00768E6	3788.09	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	12.70	X		
24	809738.	231675.	1.04141E6	4194.66	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	14.06	X		
25	847822.	229937.	1.07776E6	4650.02	1491.93	3.6790	1.80343E6
***	CAPACIDAD SATURADA	***	CAIDA DE VOLTAJE:	15.58	X		

AÑO COSTO ANUAL EQUIVALENTE EN MILES DE SUARES

1	2375.74 FUERA DE ESCALA	
2	1431.65 FUERA DE ESCALA	
3		1123.88
4		976.28
5		893.04
6		843.37
7		812.41
8		795.16
9		785.90
10		782.45
11		783.43
12		787.97
13		795.46
14		806.06
15		819.41
16		835.24
17		853.37
18		873.69
19		896.14
20		920.72
21		947.45
22		976.41
23		1007.68
24		1041.41
25		1077.76

APENDICE G

PROGRAMA EN LENGUAJE PASCAL

LISTADO Y EJEMPLO DEL PROGRAMA PARA CALCULAR LA TASA DE RETORNO.

El estudio global de todas las alternativas de un proyecto, es más sencillo si se listan todos los resultados de costos totales en un solo cuadro ó matriz. El programa ANALISIS, permite dos salidas. Una es una matriz con todos los costos totales anuales de las alternativas que se estudian, para un proyecto dado. La otra es la tasa interna de retorno entre una alternativa y otra con mayor inversión inicial que la desafía.

En la figura G-1, se muestra el listado del programa.

En la figura G-2, se muestra la salida con un cuadro de los costos anuales totales de todas las alternativas de un proyecto.

En la gráfica G-3, se muestran resultados de una tasa interna de retorno entre dos alternativas Al.1 y Al.2 .

GRAFICO G - 1

LISTADO DEL PROGRAMA ANALISIS

EN LENGUAJE PASCAL

```

PROGRAM ANALYSIS *
*
CONGT
  DT = 10 *
  VIBRATION = 30 *
  TITL
  VIBRATION = 1 * VIBRATION *
  ATTRIBUTE LABELS = RECORDS
    NAME = 'TITLE'
    IDENTIFICATION = IDENTIFY
    IDENTIFICATION = IDENTIFY
    IDENTIFICATION = REAL *
    IDENTIFICATION = IDENTIFY
    IDENTIFICATION = IDENTIFICATION OF REAL *
    END *
  dimension = 1 * 10 *
  ATTRIBUTE LABELS = RECORDS
    NAME = 'TITLE'
    IDENTIFICATION = IDENTIFICATION OF REAL *
    IDENTIFICATION = IDENTIFY
    IDENTIFICATION = IDENTIFY
    IDENTIFICATION = REAL *
    END *
  WRT = IDENTIFICATION OF ATTRIBUTE LABELS *
*
VAR
  DLEVEL = IDENTIFY *
  RESULT = FILE OF ATTRIBUTE LABELS *
  RESULT = ATTRIBUTE LABELS *
*
  DLEVEL = INTEGER *
  DLO = CHAR *
  IDENTIFICATION = IDENTIFY *
*
FROM UNIT = IDENTIFY *
*
VAR
  IDENTIFICATION = IDENTIFICATION OF REAL *
  ATTRIBUTE = IDENTIFICATION OF STRING *
*
LABELS
  FOR I = 1 TO VIBRATION DO
    FOR J = 1 TO VIBRATION DO
      IDENTIFICATION = IDENTIFY *
    WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) FILE ARCHIVE FILENAME = '500' *
    WRITE *
    WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  J = J + 1
  WHILE NOT EOF(RESULT) DO
  BEGIN
    RESULT = RESULT *
    WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
    J = J + 1
    IDENTIFICATION = IDENTIFY *
    FOR I = 1 TO VIBRATION DO
      IDENTIFICATION = IDENTIFY *
    GOTO END *
  END *
  CLOSE(RESULT) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  FOR I = 1 TO VIBRATION DO
    WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  END *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
  END *
  FOR I = 1 TO VIBRATION DO
    FOR J = 1 TO VIBRATION DO
      WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
      WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
      WRITE(RESULT, IDENTIFICATION) *
    END *
  END *
  END *

```

```
PROGRAMA 145WIntEranonExEranon *
```

```

VARI
  NUBALINER : REAL ;
  TIKANTERIOR : TIEMPO ;
  T : REAL ;
  NUBER : REAL ;
  DIFERENCIAR : REAL ;

FUNCTION SFFWEXPLANTEGEM * CIERRE *
  (* EVALUA EL FACTOR DE PAGO SINER VALOR ACTUAL
  PARA UNA TASA DE INTERES IIR *)
  EN EL MODO :
  BEGIN
    SIGUE : LOG(1+IIR)/IIR ;
  END ;

  (* EVALUAR VALOR PRESENTE DE UNA DISTRIBUCION DE COSTOS
  EN EL TIEMPO *)
FUNCTION VALORPRESENTEDEUNA * DISTRIBUCIONDE * SIGUE * DIFERENCIAL *
  VARI
    C : REAL ;
    I : INTEGER ;
  BEGIN
    WITH MATRIZ DE
    BEGIN
      T := 0.0 ;
      FOR I := 1 TO TIVIDA DO
        T := T + DIFERENCIAL *
          INVERSIÓN * SFFWEXPLANTEGEM *
          VALORPRESENTE * C ;
      END ;
    END ;
  END ;

PROGRAMA 145WIntEranonExEranon *
BEGIN
  WRITELN ;
  WRITELN ' LOS ALTERNATIVAS PROPONIDAS SON: ' & FILENAME ;
  WRITELN ' ALMACENADAS EN EL ARCHIVO: ' & FILERESULTS & ' .ERR ' ;
  WRITELN ;
  RESET(RESULTS,FILERESULTS) ;
  J:=0 ;
  WHILE NOT EOF(RESULTS) DO
    BEGIN
      RESULT := NEXTST ;
      J := J + 1 ;
      WITH MATRIZ DE
      BEGIN
        NUBER := RESULT.NUBER ;
        TIVIDA := RESULT.TIVIDA ;
        INVERSIÓN := RESULT.INVERSIÓN ;
        INVERSIÓN := RESULT.INVERSIÓN ;
        INVERSIÓN := RESULT.INVERSIÓN ;
        COSTOSCADAÑO := RESULT.COSTOSCADAÑO ;
        COSTOSCADAÑO := RESULT.COSTOSCADAÑO ;
        COSTOSCADAÑO := RESULT.COSTOSCADAÑO ;
      END ;
    END ;
  END ;
END ;

```



```

      ( PROGRAMA PRINCIPAL )
BEGIN
  WRITE( '
  WRITELN( 'DIGITE EL NOMBRE DEL PROYECTO QUE DESEA REALIZAR ' ) *
  WRITELN( '
  READLN( FILENAME ) *
  FILERESULTS := COMPILOT( FILENAME ) * (RSI) *
  WRITELN( '
  WRITELN( '
  WRITELN( 'DESEA VER LOS COSTOS ANUNCIADOS PROMEDIOS TOTALES' ) *
    ' DE LAS ALTERNATIVAS ? ' ) *
  READLN( D1 ) *
  IF D1 = 'SI' THEN
    LISTADO( '
    ( PROCEDE A LISTAR EL CONTENIDO DEL ARCHIVO DE RESULTADOS )

    WRITELN( '
    WRITELN( 'DESEA CALCULAR LA TASA INTERNA DE RETORNO ? DIGITE SI O NO ' ) *
    WRITELN( '
    READLN( D2 ) *
    IF D2 = 'SI' THEN
      TASAINTERNA( FILERESULTS ) *
    ( PROCEDE A CALCULAR LA TASA INTERNA DE RETORNO DE DOS
    RESULTADOS DE ALTERNATIVAS )
  END

```

GRAFICO G - 2.

SALIDA DEL PROGRAMA ANALISIS

CUADRO DE LOS COSTOS TOTALES ANUALES DE LOS

DIFERENTES PLANES DE UN PROYECTO

COSTOS ANUALES TOTALES DE LAS ALTERNATIVAS PROCESADAS PARA EL PROYECTO FROYE
EN MILES DE SUCRES

ALTERN :	A1.1	A1.2	A2.1	A2
AN°O :				
1	2376.67	2376.67	1896.44	1896.44
2	1432.62	1432.62	1159.43	1159.43
3	1125.50	1125.50	921.45	921.45
4	977.92	977.92	808.59	808.59
5	894.42	894.42	746.09	746.09
6	843.17	843.17	709.02	709.02
7	810.54	810.54	686.74	686.74
8	789.73	789.73	673.91	793.47
9	776.96	776.96	667.60	782.63
10	769.98	876.62	666.04	777.13
11	767.35	871.91	668.15	775.64
12	768.14	870.75	673.18	777.29
13	771.68	872.41	680.66	781.47
14	777.53	876.39	690.26	787.75
15	785.37	882.31	701.74	795.82
16	794.96	889.88	715.33	805.48
17	806.13	898.91	730.91	816.54
18	818.88	909.23	748.34	828.90
19	833.38	920.72	767.56	842.46
20	849.53	933.29	788.53	857.18
21	867.24	946.89	811.22	873.00
22	886.47	961.45	835.65	889.98
23	907.20	976.96	861.86	908.29
24	929.43	993.38	889.92	927.91
25	953.17	1010.85	919.89	948.83
26	0.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00

GRAFICO G - 3.

SALIDA DEL PROGRAMA ANALISIS

CALCULO DE LA TASA DE RETORNO ENTRE DOS ALTERNATIVAS

CALCULO DE LA TASA DE RETORNO

PROYECTO : PROYEC1

ALTERNATIVAS : A1.1 Y A1.2

INVERSIONES

INICIAL : 1.8034E6 1.8034E6

AMPLIACION : 1.8034E6 1.8034E6

TASA DE RETORNO : 5.1 %

APENDICE H

DEDUCCION DE LAS EXPRESIONES DE REPLAZO OPTIMO

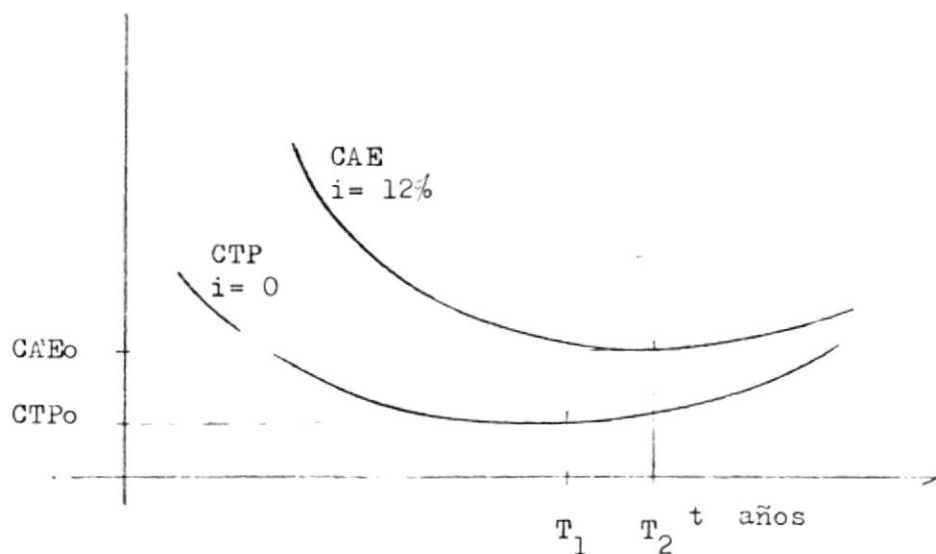
Existe un punto de replazo óptimo entre las funciones de costo crecientes y decrecientes. La función de costo decreciente es la depreciación del equipo original, esto es, la distribución del costo de capital durante un mayor período de tiempo da lugar a un menor costo promedio, lo que favorece la decisión de no replazar. Por el contrario, la función de costo creciente es la disminución de la eficiencia a causa del tiempo de servicio o del desgaste. Esto favorece la decisión de replazar anticipadamente, para disminuir los costos de operación y de mantenimiento. El costo mínimo se obtiene sumando ambos términos y determinando el costo mínimo total.

Un problema similar es la necesidad de replazar a causa de una falla o inminencia de falla. La función de costo decreciente sigue siendo la depreciación del costo original del equipo. Aunque no se considera la variación de la eficiencia de operación con el uso, sin embargo es necesario replazar a causa de fallas. Después de la falla no se requiere una decisión ya que es necesario replazar o reparar. No obstante, puede ser económicamente conveniente replazar o reparar con base a una programación, antes de que la falla se presente. En este caso, un replazo anticipado da lugar a

una disminución del costo. Por consiguiente el problema se convierte en la determinación del intervalo óptimo de remplazo.

Para acercarnos al problema de una manera inicialmente sencilla, consideremos por ahora que no hay variación del valor del dinero en el tiempo, para lo cual vamos a trabajar con la expresión del costo total promedio, CTP. Podemos anticipar que el efecto del interés tiende a desviar la decisión hacia una mayor vida de servicio. En la figura H-1. se presenta una comparación gráfica de los resultados utilizando el valor del interés y obteniendo un costo total equivalente CAE, y simplificando los cálculos del valor del dinero con el tiempo, con un costo total promedio CTP.

GRAF. H-1 INFLUENCIA DE LA TASA DE RETORNO SOBRE
 ↑
 Costos Anuales LA FUNCION COSTOS ANUALES
 Promedio/Equivalente



Observamos que el tiempo T_2 en que se sucede el mínimo de los cálculos para CAE, considerando una tasa de interés del 12%, es mayor al T_1 del CTP, en que no se considera el interés: $i = 0$.

Según la figura H-1, la inclusión del interés aumenta el costo calculado. Aunque la forma se mantiene para ambos casos, cuando el valor del interés es grande, y/o la inversión es en valores grandes, el análisis debe considerar la variación del dinero con el tiempo.

El costo promedio en el año n de operación, se puede expresar de la forma:

$$CTP_n = \frac{1}{n} \left[I - R_n + \sum_{i=1}^n (O_i + M_i) \right] \quad \text{Ec. H.1}$$

donde

CTP_n = Costo Total Promedio en el año n ,

n = año en que se evalúan los Costos,

I = inversión inicial,

R_n = Valor de reventa ó valor de recuperación en el n -ésimo año,

O_i = Costos de operación en el año i ,

M_i = Costos de mantenimiento en el año i ,

i = variable de la sumatoria, que acumula costos de cada año.

Las condiciones óptimas de remplazo, estarán dadas para el proyecto, por las expresiones:

$$CTP_{n-1} > CTP_n < CTP_{n+1} \quad , \quad \text{Exs. H.2}$$

siendo n el año del remplazo que buscamos.

Según esto, se deben cumplir las desigualdades:

$$CTP_{n-1} - CTP_n > 0$$

$$CTP_{n+1} - CTP_n > 0 \quad \text{Exs. H.3}$$

En el período n+1, se tiene:

$$CTP_{n+1} = \frac{1}{n+1} \left[I - R_{n+1} + \sum_{i=1}^{n+1} (O_i + M_i) \right] \quad \text{Ec. H.4}$$

que desarrollando y reagrupando:

$$CTP_{n+1} = \frac{1}{n+1} \left[I - R_n + R_n - R_{n+1} + \sum_{i=1}^{n+1} (O_i + M_i) + O_{n+1} + M_{n+1} \right] ,$$

$$CTP_{n+1} = \frac{1}{n+1} \left[\frac{n}{n} \left(I - R_n + \sum_{i=1}^n (O_i + M_i) \right) + \frac{1}{n+1} (R_n - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1}) \right] ,$$

$$CTP_{n+1} = \frac{n}{n+1} CTP_n + \frac{1}{n+1} (R_n - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1}) ,$$

que arreglando a la forma de las expresiones H.3 , quedan:

$$CTP_{n+1} - CTP_n = \frac{n}{n+1} CTP_n - CTP_n + \frac{1}{n+1} (R_n - R_{n+1} + O_{n+1} - M_{n+1}) ,$$

$$CTP_{n+1} - CTP_n = \frac{-1}{n+1} + \frac{1}{n+1} (R_n - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1}) ,$$

y tenemos, por las expresiones H.3:

$$- CTP_n \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n+1} (R_n - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1}) > 0 ,$$

y la conclusión:

$$CTP_n < R_n - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1} \quad \text{Exp. H.5}$$

Entonces, si la disminución del valor de recuperación $(R_n - R_{n+1})$, en el siguiente año, más el costo de operación y mantenimiento en ese año, $(O_{n+1} + M_{n+1})$, es mayor que el CTP_n , costo total promedio en el año n , ES ECONOMICO REMPLAZAR.

La segunda condición de las expresiones H.3, se puede obtener si milarmente, y tendríamos :

$$CTP_{n-1} = \frac{1}{n-1} \left[I - R_{n-1} + \sum_{i=1}^{n-1} (O_i + M_i) \right] \quad \text{Ec. H.6}$$

$$CTP_n = \frac{1}{n} \left[I - R_n + \sum_{i=1}^n (O_i + M_i) \right]$$

$$CTP_n = \frac{1}{n} \left[I - R_{n-1} + R_{n-1} - R_n + \sum_{i=1}^{n-1} (O_i + M_i) + (O_n + M_n) \right]$$

$$CTP_n = \frac{1}{n} \left[(CTP_{n-1}) (n-1) - R_n + R_{n-1} + O_n + M_n \right]$$

$$CTP_n - CTP_{n-1} = CTP_{n-1} \left[\frac{n-1}{n} - 1 \right] + \frac{R_{n-1} - R_n + O_n + M_n}{n}$$

$$CTP_n - CTP_{n-1} = CTP_{n-1} \frac{n-1-n}{n} + \frac{R_{n-1} - R_n + O_n + M_n}{n}$$

$$CTP_n - CTP_{n-1} = \frac{-CTP_{n-1} + R_{n-1} - R_n + O_n + M_n}{n}$$

del mismo modo que antes, la expresión H.3 nos lleva a:

$$\frac{-CTP_{n-1} + R_{n-1} - R_n + O_n + M_n}{n} > 0$$

$$CTP_{n-1} > R_{n-1} - R_n + O_n + M_n \quad \text{Ec. H.7}$$

Y que completa nuestras expresiones para decisión. La expresión H.7

expresa, que si la disminución del valor de recuperación (o de reventa), más el costo de operación y mantenimiento en el siguiente período es menor que el Costo Total Promedio presente, no es económico el remplazar.

En el capítulo I de la presente Tesis, se trató una aproximación a la solución del tiempo óptimo haciendo la consideración de que el interés era cero. Entonces, se supuso que al introducir el interés en los cálculos, se mantendría la forma de la función de costos anuales equivalentes. Posteriormente se trató el problema considerando el interés. Para el desarrollo de las expresiones de remplazo óptimo, podemos también utilizar la expresión que considera la variación del capital en el tiempo, para lo cual tenemos las siguientes consideraciones:

con la misma nomenclatura anterior, introducimos los factores del apéndice C, para hallar los valores actuales de los desembolsos anuales del proyecto, y luego hallar su equivalente anualizado, y tenemos las expresiones:

$$VP (n) = I - \frac{R_n}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{O_j + M_j}{(1+i)^j}, \quad \text{Ec. H.8}$$

donde

VP (n) es el valor presente de los costos acumulados en n años.

i = tasa de interés aplicada al capital.

La expresión para el Costo Anual Equivalente en el año n:

$$CAE_n = \left[I - \frac{T_n}{(1+i)^n} + \sum_{j=1}^n \frac{O_j + M_j}{(1+i)^j} \right] \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1},$$

Ec. H.9

La condición que debe cumplir el remplazo óptimo, es

$$CAE_{n-1} > CAE_n < CAE_{n+1}$$

Ex. H.10

y

$$CAE_{n+1} - CAE_n > 0$$

$$CAE_{n-1} - CAE_n > 0$$

Exs. H.11

Para facilitar las transformaciones, hagamos:

$V = 1+i$, $K_j = M_j + O_j$, y tenemos:

$$CAE_n = \left[I - \frac{R_n}{V^n} + \sum_{j=1}^n \frac{K_j}{V^j} \right] \frac{V^n \cdot i}{V^n - 1}$$

$$CAE_{n+1} = \left[I - \frac{R_{n+1}}{V^{n+1}} + \sum_{j=1}^{n+1} \frac{K_j}{V^j} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1}$$

Ec. H.12

que arreglamos:

$$CAE_{n+1} = \left[I - \frac{R_n}{V^n} + \frac{R_n}{V^n} - \frac{R_{n+1}}{V^{n+1}} + \left[\sum_{j=1}^n \frac{K_j}{V^j} \right] + \frac{K_{n+1}}{V^{n+1}} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1}$$

$$CAE_{n+1} = \left[I - \frac{R_n}{V^n} + \sum_{j=1}^n \frac{K_j}{V^j} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1} + \left[\frac{R_n}{V^n} - \frac{R_{n+1}}{V^{n+1}} + \frac{K_{n+1}}{V^{n+1}} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1}$$

Multiplicando el primer grupo de términos por el factor

$$\frac{i \cdot V^n / V^n - 1}{i \cdot V^n / V^n - 1}, \text{ tenemos:}$$

$$CAE_{n+1} = \left[I - \frac{R_n}{V^n} + \sum_{j=1}^n \frac{K_j}{V^j} \right] \frac{i \cdot V^n}{V^n - 1} \frac{i \cdot V^{n+1} / (V^{n+1} - 1)}{i \cdot V^n / (V^n - 1)} + \\ + \left[\frac{R_n}{V^n} - \frac{R_{n+1}}{V^{n+1}} + \frac{K_{n+1}}{V^{n+1}} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1}, \text{ simplificamos:}$$

$$CAE_{n+1} = CAE_n \frac{V (V^n - 1)}{V^{n+1} - 1} + \left[\frac{R_n}{V^n} - \frac{R_{n+1}}{V^{n+1}} + \frac{K_{n+1}}{V^{n+1}} \right] \frac{i \cdot V^{n+1}}{V^{n+1} - 1}$$

$$CAE_{n+1} = CAE_n \frac{V (V^n - 1)}{V^{n+1} - 1} + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] \frac{i \cdot V}{V^{n+1} - 1}$$

$$CAE_{n+1} - CAE_n = CAE_n \frac{V (V^n - 1)}{V^{n+1} - 1} - CAE_n + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] \cdot$$

$$\cdot \frac{i \cdot V}{V^{n+1} - 1}, \text{ para aplicar expresiones H.12,}$$

$$CAE_{n+1} - CAE_n = CAE_n \left[\frac{V (V^n - 1)}{V^{n+1} - 1} - 1 \right] + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] \frac{i \cdot V}{V^{n+1} - 1}$$

Aplicando las expresiones H.11, tenemos:

$$CAE_n \left[\frac{V (V^n - 1)}{V^{n+1} - 1} - 1 \right] + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] \frac{i \cdot V}{V^{n+1} - 1} > 0$$

$$CAE_n \left[V (V^n - 1) - (V^{n+1} - 1) \right] + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] i \cdot V > 0$$

$$CAE_n (V^{n+1} - V - V^{n+1} + 1) + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] i \cdot V > 0$$

$$CAE_n (-V + 1) + \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] i \cdot V > 0$$

$$CAE_n < \left[R_n - \frac{R_{n+1}}{V} + \frac{K_{n+1}}{V} \right] \frac{i \cdot V}{V - 1} \quad \text{Ex. H.13}$$

donde podemos remplazar V y K , y tenemos:

$$CAE_n < R_n (1+i) - R_{n+1} + O_{n+1} + M_{n+1} \quad \text{Ex. H.14}$$

Y tenemos que el costo anual equivalente, debe ser menor que

$R_n (1+i)$, que es el valor residual en el año n , contabilizado en el año n+1, menos el valor residual en el año n+1, más los costos de operación y mantenimiento en el año n+1. Entonces:

Si el costo anual equivalente para n períodos de utilización, CAE_n ,

es menor que la disminución del valor de reventa (residual) descontado, más el costo de operación y de mantenimiento para el

($n+1$)-ésimo período, ES ECONOMICO REEMPLAZAR.

De manera similar a las deducciones anteriores, se encuentra la ex presión complementaria de la Ex. H.14 , y que sería: (hasta por simetría se puede obtener):

$$CAE_{n-1} > R_{n-1} (1+i) - R_n + O_n + M_n \quad \text{Ex. H.15}$$

que dice que

Si el costo anual equivalente para $n-1$ períodos de utilización, CAE_{n-1} , es mayor que la disminución del valor de recuperación des contado más el costo de operación y de mantenimiento para el n-ési mo período, NO ES ECONOMICO REEMPLAZAR.

B I B L I O G R A F I A

1. COLEMAN, D. A Structured programming Approach to Data, The MacMillan Press LTD, 1980.
2. DE GARMO, E. P. Engineering Economy, MacMillan Publishing Co. Inc. 1980.
3. GRANT, E. Principles of Engineering Economy, John Wiley & Sons, Inc. 1976.
4. SHAMBLIN, J. Operations Research: A Fundamental Approach, MacGraw-Hill, 1975.
5. TAYLOR, G.A. Ingeniería Económica, Editorial Limusa, 1980
6. TIBERGHIEIN, J. The Pascal Handbook, Sybex Inc., 1981
7. PASCAL COURSE, University of Manchester. 1980
8. RHEA BULLETIN, 60 - 9.
9. SISTEMA ELECTRICO GUAYAQUIL, EMELEC, 1974
10. SYMPOSIUM DE ELECTRIFICACION RURAL, Memorias, 1975
11. T & D, Westinghouse,
12. Distribution Systems, Westinghouse.



A.F. 141834