

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

"VOLTAJES Y CORRIENTES TRANSITORIOS AL ENERGIZAR UN MODELO
DE LINEA DE TRANSMISION"

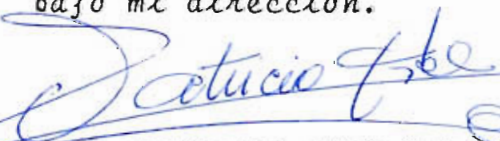
Por
LUIS ALFONSO CASTELO LEON

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO ELEC-
TRICO EN LA ESPECIALIZACION DE POTENCIA

Quito, Abril 1985



Certifico que el presente
trabajo fue realizado por
el señor Luis Castelo León
bajo mi dirección.



ING. PATRICIO ORBE GARCÉS

Director de Tesis

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

Mi mayor gratitud al Ingeniero Patricio Orbe Garcés, Director y mentalizador de esta Tesis, por su constante disposición y ayuda. A los Ingenieros Hugo Banda y Pablo Peñafiel, por su invalorable colaboración; y, a todas aquellas personas que siempre estuvieron prestas a dar su aporte.

La satisfacción de culminar mi carrera, se equipara con la de agradecer amorosamente a quienes me han servido de estímulo y apoyo para lograrlo: Mis padres, mis hermanos, mi esposa y mi pequeña María Gabriela; así como el ratificar el respeto y consideración que tuve y mantengo para quienes fueron mis maestros.

I N D I C E

	Pág.
CAPITULO # 1	
INTRODUCCION	
1.1 <i>Trabajos previos</i>	1
CAPITULO # 2	
OBTENCION DE VOLTAJES Y CORRIENTES TRANSITORIOS EN DOMINIO DEL TIEMPO	
2.1 <i>Introducción</i>	7
2.2 <i>Análisis de los voltajes de excitación</i>	9
2.3 <i>Obtención y análisis de voltajes y corrientes transitorios</i>	11
2.3.1 <i>Alimentación desde otras líneas</i>	12
2.3.2 <i>Energización desde una barra infinita</i>	16
2.3.3 <i>Fuente inductiva</i>	20
2.3.4 <i>Energización con carga atrapada</i>	27
CAPITULO # 3	
OBTENCION DE VOLTAJES Y CORRIENTES EN DOMINIO DE LA FRECUENCIA.	
3.1 <i>Introducción</i>	32
3.2 <i>Pruebas de comprobación del programa utilizado</i>	33
3.3 <i>Obtención y análisis de los espectros de frecuencia de los voltajes y corrientes transitorios</i>	36

3.3.1	<i>Alimentación desde otras líneas</i>	36
3.3.2	<i>Energización desde una barra infinita</i>	41
3.3.3	<i>Fuente inductiva</i>	53
3.3.4	<i>Energización con carga atrapada</i>	70

CAPITULO # 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
--------------------------------	----

APENDICE A

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA INTERFASE DE CONEXION. ENTRE EL CIRCUITO DIGITAL Y EL CIRCUITO DE POTEN- CIA	78
--	----

A.1	<i>Introducción</i>	74
A.2	<i>Características del sistema de control</i>	75
A.3	<i>Diagrama de bloques del sistema implemen- tado</i>	75
A.4	<i>Circuito de interfase</i>	77
A.5	<i>Características de los elementos utiliza- dos en el circuito de interfase</i>	78

APENDICE B

PROGRAMA DIGITAL	79
------------------	----

REFERENCIAS

CAPITULO # 1

CAPITULO # 1

INTRODUCCION

1.1. TRABAJOS PREVIOS

Dentro del diseño y planificación de Sistemas Eléctricos de Potencia, el estudio de los fenómenos transitorios producidos a° energizar líneas de transmisión de extra y ultra alto voltaje (EHV; UHV), ha adquirido gran importancia y atención, ya que de su conocimiento depende la determinación del nivel de aislamiento del sistema.

Para sistemas de potencia que operan con voltajes de 400 KV y más, el nivel de aislamiento no sólo está determinado por las sobretensiones atmosféricas; cuya importancia decrece conforme aumenta el voltaje de operación del sistema, sino también y sobre todo, por los sobrevoltajes producidos por energización de líneas de transmisión, cuya magnitud aumenta al incrementarse el voltaje del sistema.^{1,2,4,5} Para voltajes superiores a 1.000 KV, el ais-

...lamiento del sistema está limitado por el comportamiento del mismo en condiciones de falla.³ Dentro de este contexto, los sobrevoltajes producidos por energización de una línea de transmisión son particularmente significati - vos, ya que dadas ciertas condiciones, pueden producirse - sobrevoltajes del orden de tres veces el voltaje fase-neu - tro.

Además el nivel de aislamiento del sistema debe ra ser suficientemente alto, a fin de no poner en peligro - la confiabilidad de éste; y, al mismo tiempo lo más bajo posible, con el objeto de lograr un ahorro económico consi - derable.¹

Con el fin de calcular los transitorios por maniobras, los elementos componentes de un sistema de poten - cia deben ser divididos en dos clases:

- Aquellos cuyos parámetros son de tipo concen - trado; tales como generadores, transformadores, reactores y capacitores.

- Líneas de transmisión y cables subterráneos , cuyos parámetros son de tipo distribuido.

Cuando ocurre un cierre o apertura de un disyun -

...tor, estos elementos son sometidos a voltajes y corrientes con un rango de frecuencia que puede ir desde los 50 Hz. hasta los 100 KHz. Sobre este rango de frecuencia, los parámetros del sistema dejan de ser constantes, ya que su valor depende de la frecuencia.¹

Idealmente el método de cálculo utilizado para este propósito debería ser capaz de representar ambos tipos - de parámetros por igual y de simular su variación con la -- frecuencia.

El método tradicional de cálculo para este tipo de fenómenos en sistemas eléctricos, ha sido, el usar un tipo de computador analógico denominado "Analizador de Transitorios" (TNA), con el que puede formarse un modelo a escala del sistema en estudio, usando parámetros concentrados. Este método presenta una limitación en cuanto al tamaño de los sistemas a representarse.

Con el desarrollo de los computadores digitales, la implementación de técnicas digitales capaces de resolver sofisticados modelos matemáticos, ha ido en aumento.

La combinación de cálculos digitales y analógicos puede ser de tremenda utilidad, tomándolos como complementarios y no como competitivos. Comparación de los resultados

conseguidos por ambos métodos, pueden mostrar una buena correlación de los mismos, pero con diferencias en cuanto a detalles pequeños en las formas de onda.¹

El propósito de la presente tesis, es realizar toda una serie de pruebas prácticas referentes a energización de líneas de transmisión, cuyas longitudes corresponden a líneas medias y largas.

Trabajos previos al presente, han constituido las Tesis: "Estudio de una línea de transmisión mediante un modelo"⁶ y "Estudio de Fenómenos transitorios producidos por cortocircuitos en un modelo de línea de transmisión".³

En el primero se describe todo el proceso de cálculo de los parámetros constitutivos de una determinada línea de transmisión, a fin de construir un modelo a escala que permita desarrollar estudios posteriores que involucren la presencia de esa línea de transmisión.

En el segundo se desarrolla un estudio de los estados transitorios producidos por cortocircuitos en una línea de transmisión, analizándose someramente la condición de transitorios por energización.

En este estudio, se enfoca la energización de una

línea de transmisión, simulándose varios tipos de fuentes - de alimentación, como son: energización desde otras líneas, fuente inductiva, barra infinita, energización con carga - atrapada.

Se presenta los oscilogramas de los voltajes y corrientes de envío y recepción, además de los espectros de frecuencia correspondientes. Para cada caso se varía la - longitud de la línea de transmisión desde 100 Km. hasta -- 400 Km.; también se analiza el efecto del ángulo de cierre , de 0° a 90° ; para lo que se hace uso de un circuito de control de alta resolución diseñado y construido en la tesis "Control digital para conmutadores estáticos de corriente alterna".⁷

El diseño de la interfase de conexión del circuito electrónico de disparo con los tiristores de la línea se describe en el Apéndice A.

La evaluación de los oscilogramas de voltajes y corrientes en dominio de frecuencia se realizan con el programa "LCASTELO/EVTRANSF" implementado para el efecto. Su utilización se describe en el Apéndice B.

CAPITULO # 2

CAPITULO # 2

OBTENCION DE VOLTAJES Y CORRIENTES TRANSITORIOS EN DOMINIO DEL TIEMPO

2.1. INTRODUCCION

El modelo de línea de transmisión construido en la referencia (6) y que se usa en este trabajo, simula la línea del estudio de prefactibilidad del proyecto Jubones-Paute, realizado por la Consultora Ches T. Main Int., que contempla el tendido de la línea desde la central de Cola de San Pablo hasta la ciudad de Guayaquil.

La Fig. 2.1 muestra la disposición de los elementos y equipos utilizados para la obtención de los voltajes y corrientes en el dominio del tiempo.

Para el caso de voltajes de envío y recepción, el osciloscopio se ajusta en los siguientes valores:

Amplitud: 5 V/div

Barrido: 2 ms/div

utilizando puntas de prueba con atenuación x100

Para el caso de corrientes:

Amplitud: 0.2 V/div

Barrido: 2 ms/div

medidas sobre una resistencia de 0.1Ω , con puntas de prueba de atenuación x10.

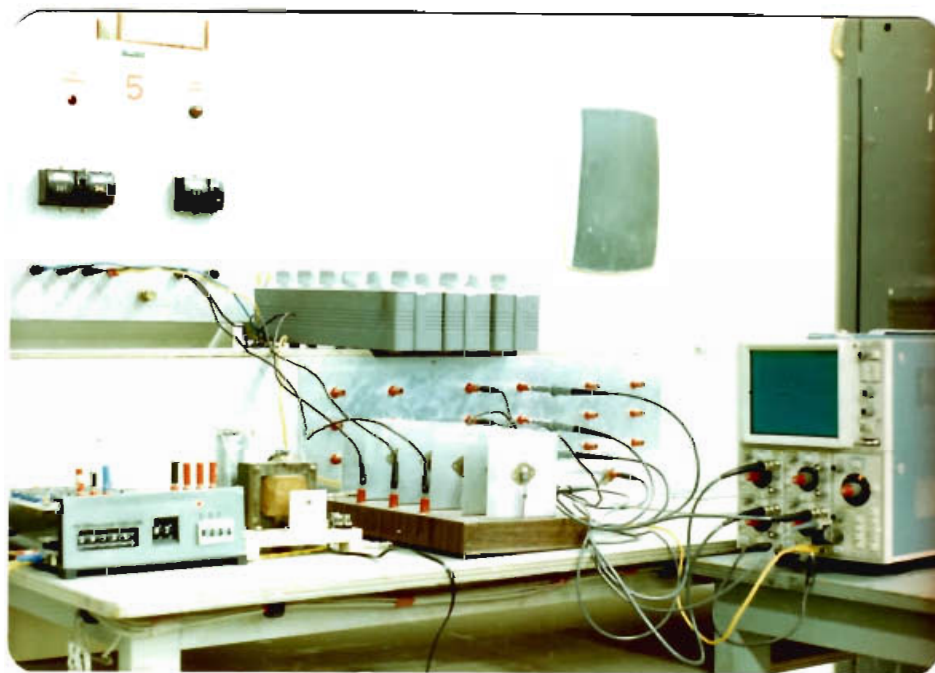


Fig. 2.1 Disposición de los elementos y equipos usados en las pruebas.

En ambos casos se capta el oscilograma del primer período de la onda ($T=16\text{ ms}$), ya que se considera que

en este ocurren los transitorios más críticos al operarse un disyuntor en un sistema eléctrico. En cada gráfico se presentan las ondas de voltaje y corriente de las tres fases. El control del ángulo de disparo se realiza en la fase a, la misma que sirve de referencia en esta tesis. El cierre es simultáneo en las tres fases.

En las pruebas que se requiere de la inclusión de parámetros eléctricos, tales como inductancias para simular una fuente inductiva, éstos deberán estar afectados por el factor de reducción corregido $K=0.036$ (Ref. 6), a fin de mantener la escala del modelo.

2.2. ANALISIS DE LOS VOLTAJES DE EXCITACION

El voltaje de la red pública de distribución se usa como alimentación, cuyos oscilogramas se presentan en la Fig. 2.2.

Previo al desarrollo de las diferentes pruebas, es necesario hacer un análisis espectral de los voltajes que se usan como excitación para la simulación de los diferentes tipos de fuente, a fin de conocer el contenido armónico de frecuencias de los mismos.

Este análisis se realizó de dos maneras: digital

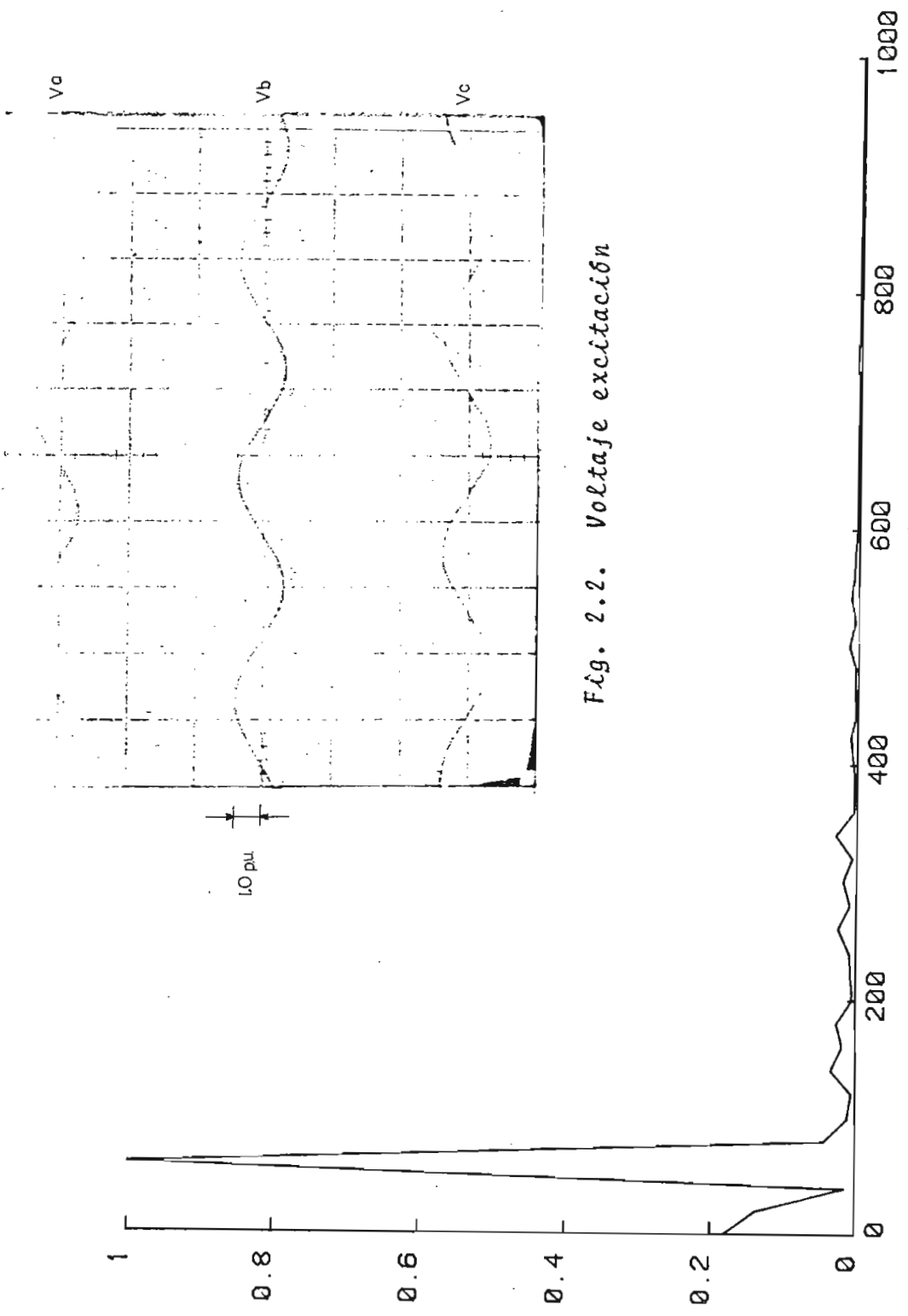


Fig. 2.3. Análisis digital del contenido espectral del voltaje de excitación

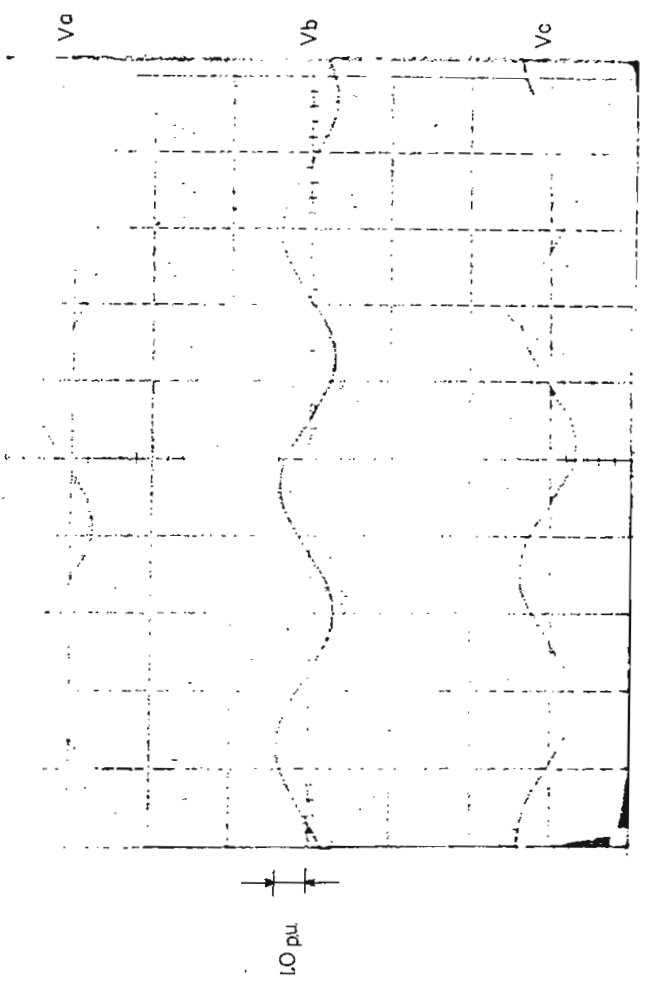


Fig. 2.2. Voltaje excitación

Fig. 2.3. Análisis digital del contenido espectral del voltaje de excitación

...mente y con el analizador de ondas. Los resultados - del primero se presentan en la Fig. 2.3; y se tabulan con juntamente a continuación:

COMPONENTE	AMPLITUD	%
Fundamental (60 Hz)	118 Vrms	100 (*) 100 (**)
Tercera armónica	0.8 Vrms	2.67 2.3
Quinta armónica	2.8 Vrms	3.37 1.0
Séptima armónica	1.15Vrms	0.97 0.7
Novena armónica	0.1 Vrms	0.085 0.02

Tabla 2.1 Contenido espectral del voltaje de alimentación

(*) Analizador de ondas; (**) Digital

En ambos análisis se observa la existencia de ar mónicas con amplitudes inferiores al 3% respecto de la fun damental. De este muestreo se concluye que los voltajes a usarse son lo suficientemente adecuados para la ejecución de esta tesis.

2.3. OBTENCION Y ANALISIS DE VOLTAJES Y CORRIENTES TRANSITORIOS AL ENERGIZAR UNA LINEA

Una línea de transmisión por sí sola, es tan solo una parte de un sistema eléctrico de potencia; y para el cálculo de fenómenos transitorios, necesariamente se de

...berá incluir una representación del resto del sistema.¹

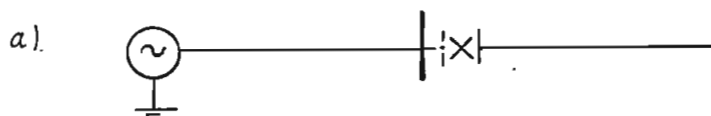
En un sistema eléctrico, una línea de transmisión puede ser energizada desde varios tipos de fuente, cuyas configuraciones y características varían extensamente.

En este estudio se consideran:

- Alimentación desde otras líneas
- Barra infinita
- Fuente inductiva
- Energización con carga atrapada

2.3.1. ALIMENTACIÓN DESDE OTRAS LINEAS

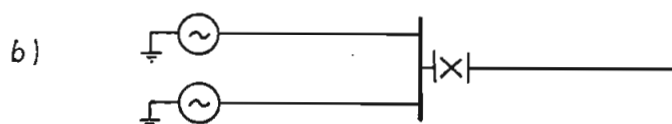
En este caso se considera la energización del modelo de línea desde una barra alimentada solo por línea(s) de transmisión.



En la Fig. 2.4 se presentan los oscilogramas de los voltajes de recepción donde se observa el efecto del ángulo de cierre, que provoca un mayor pico de sobrevoltaje y una mayor oscilación conforme se incrementa su valor, llegando a la condición más crítica con un sobrevoltaje de

1.8 p.u. para un cierre del disyuntor a 90°

Los oscilogramas de corrientes, Fig. 2.5, igualmente muestran este efecto, corroborando lo anotado.



Para esta condición también se varía el ángulo de cierre de 0° a 90° , presentándose igual efecto en la amplitud de la onda, al aumentarse el ángulo; pero en mayor grado, Figs. 2.4 y 2.5, llegando a obtenerse un sobrevoltaje de 1.9 p.u. para un ángulo de 90° .

Además se nota que las oscilaciones de las ondas de voltaje y corriente para un mismo período, son más rápidas al conectarse a la barra dos líneas de 100 Km en paralelo, que cuando tan solo se conecta una de ellas.

Estos resultados se presentan en la Tabla 2.2.

Número de líneas conectadas a la barra (lado de generación)	Voltajes máximos de recepción (p.u.)			
	0°	30°	60°	90°
1	1.0	1.6	1.7	1.8
2	1.2	1.7	1.8	1.9

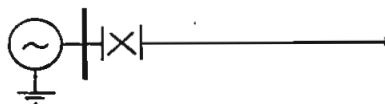
Tabla 2.2 Sobrevoltajes por energización desde otras líneas

Inicialmente este tipo de fuente aparece como un voltaje detrás de una resistencia, el valor de esta resistencia viene dado por el paralelo de las impedancias características de las líneas conectadas a la barra en el lado de generación. A un mayor número de líneas, le corresponde un menor valor de resistencia, tendiendo a cero en el límite.¹ Esto se confirma con los valores tabulados en la Tabla 2.2, donde se observa que para la condición de conexión de dos líneas en paralelo, se presenta un mayor valor del pico de voltaje del transitorio en el lado de recepción.

Esta forma de representación, de un voltaje detrás de una resistencia, sólo es válido por el tiempo que tardan las ondas reflejadas en volver de los terminales remotos donde son energizadas.

De ahí que la naturaleza de los terminales remotos, afecta la forma de onda y la magnitud de los voltajes de energización.¹

2.3.2. ENERGIZACION DESDE UNA BARRA INFINITA



Para el análisis de esta condición, se realizan pruebas de energización con longitudes de línea de 100 Km,

200 Km, 300 Km y 400 Km. Los oscilogramas de los voltajes de recepción más representativos se muestran en la Fig. 2.6. Además en cada caso se incluye la variación del ángulo de cierre con valores de 0° , 30° , 60° y 90° .

Del análisis de estos gráficos se desprende que el pico del voltaje transitorio aumenta, al aumentar el ángulo de cierre, volviéndose más crítico en 90° .

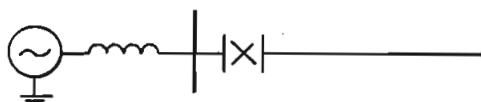
Al aumentar la longitud de la línea, disminuyendo las oscilaciones de la onda, ya que es menor el número de ondas reflejadas. El pico de voltaje aparece más rápido en líneas de menor longitud, debido a que disminuye el tiempo de propagación de la onda.

El transitorio de la onda presenta mayor número de oscilaciones en líneas de menor longitud. La atenuación es función de los parámetros del circuito.

Los oscilogramas de corrientes correspondientes a los gráficos anteriores se muestran en la Fig. 2.7. Estos igualmente presentan oscilaciones mayores con menores longitudes de línea; además el valor pico de la corriente aumenta al incrementarse la longitud. Esto se debe a que siendo la corriente de carga la única que circula, ésta es mayor para una mayor distancia de línea.

2.3.3. FUENTE INDUCTIVA

Para simular una fuente inductiva, en cada fase se introduce una inductancia, a escala, en serie entre la fuente y la barra de conexión.



La inductancia L de la fuente varía desde 0.1 H hasta 1.0 H y se energiza la línea con longitudes de 100 Km, 200 Km y 400 Km. El control del ángulo de cierre se lo mantiene fijo en 90° .

"Para el caso de fuente inductiva, el voltaje aplicado a la línea crece exponencialmente con una constante de tiempo L/Z_0 , dada por la inductancia L de la fuente y la impedancia característica Z_0 de la línea. Este crecimiento también se aprecia en el extremo receptor. Debido a múltiples reflexiones, se producen cambios exponenciales tanto en la onda de voltaje de envío como en la de recepción. Los intervalos en los cuales se producen estos cambios están determinados por un segundo factor de tiempo, el tiempo de propagación de la línea."¹

De esta teoría se desprende que para una línea de transmisión dada, una variación del valor de la inductancia de la fuente, altera la constante de tiempo de los cambios exponenciales; y un aumento o disminución de la longitud de la línea produce variación de los intervalos

en los cuales aparecen los picos de voltaje.

De esta manera, la magnitud de los sobrevoltajes en el extremo receptor, dependen de la longitud de la línea energizada y del valor de la inductancia de la fuente.

Los resultados más representativos de las pruebas realizadas se muestran en la Fig. 2.8, correspondientes a los voltajes de envío, donde se observa claramente el efecto de la variación de la inductancia L de la fuente, que produce un mayor sobrevoltaje al aumentar su valor, con una longitud de línea constante.

Con un mismo valor de inductancia de la fuente y a diferentes longitudes, se aprecia que los intervalos entre picos de voltaje son más largos para la línea de mayor longitud.

En igual forma, aparecen estos mismos efectos en los oscilogramas de voltajes de recepción que se presentan en la Fig. 2.9.

Las formas de onda obtenidas en esta tesis, son comparables a las calculadas por método digital en la Ref.1 (Fig. 7.1 y Fig. 7.3); y en la Ref.8 (Fig. 5.2). Las pequeñas diferencias existentes se deben a que en cada caso se

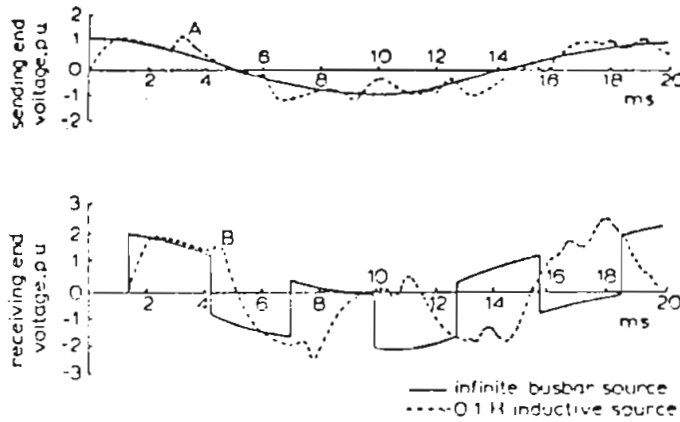


Fig. 7.1 Line energisation transients

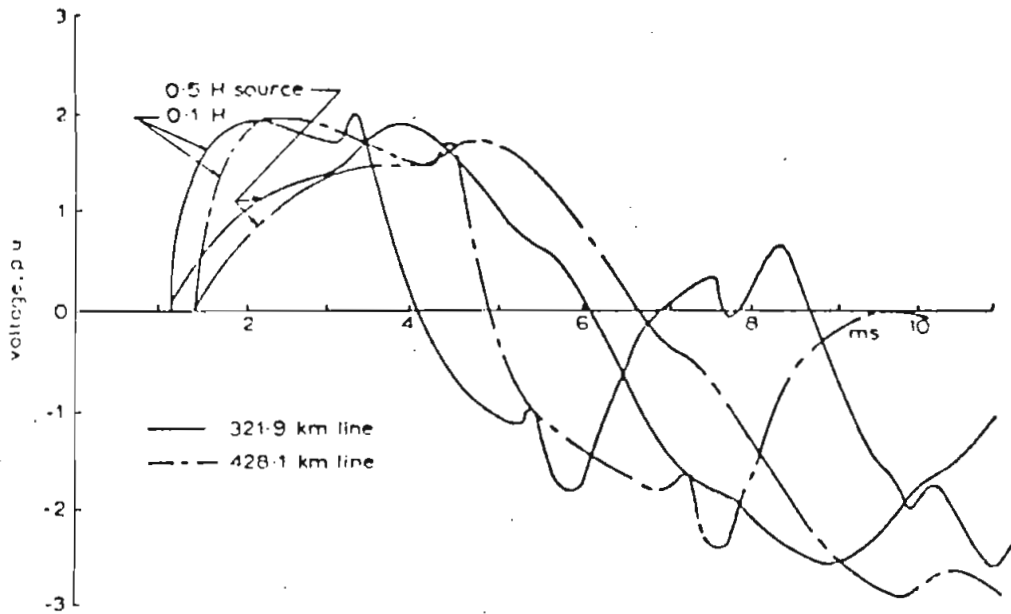
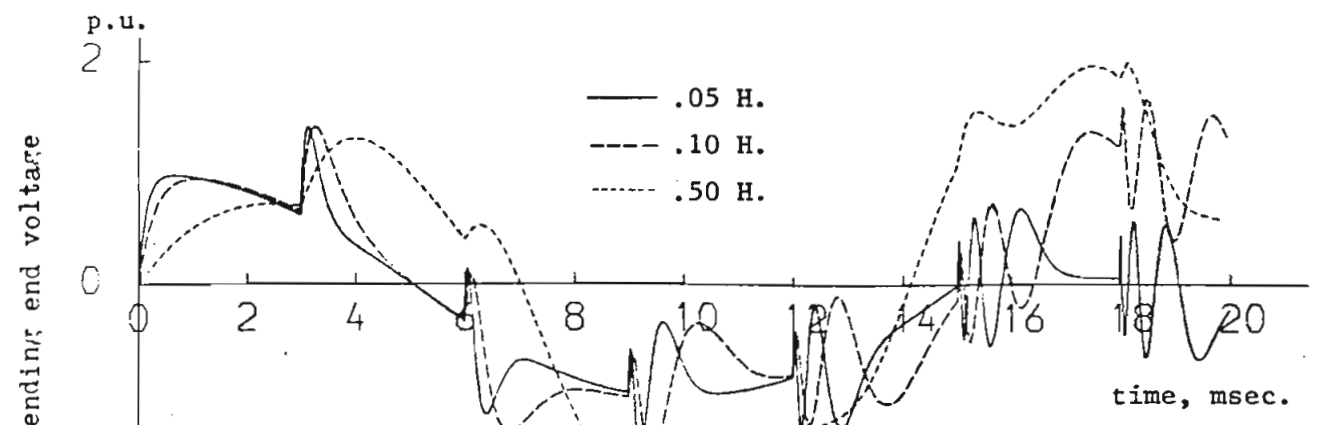
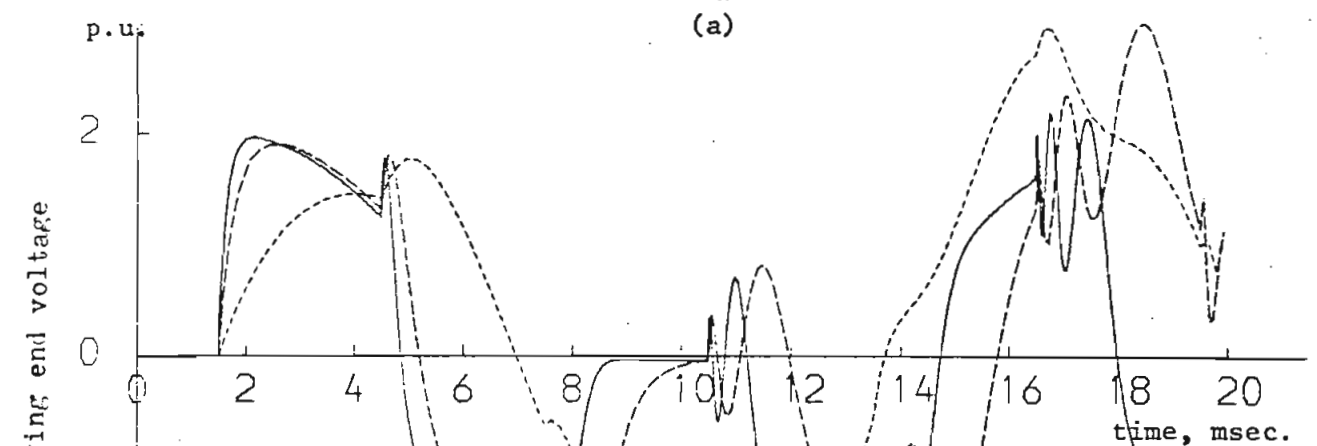


Fig. 7.3 Effect of source inductance and line length on the waveform of the energisation transient voltage at the receiving end of the line

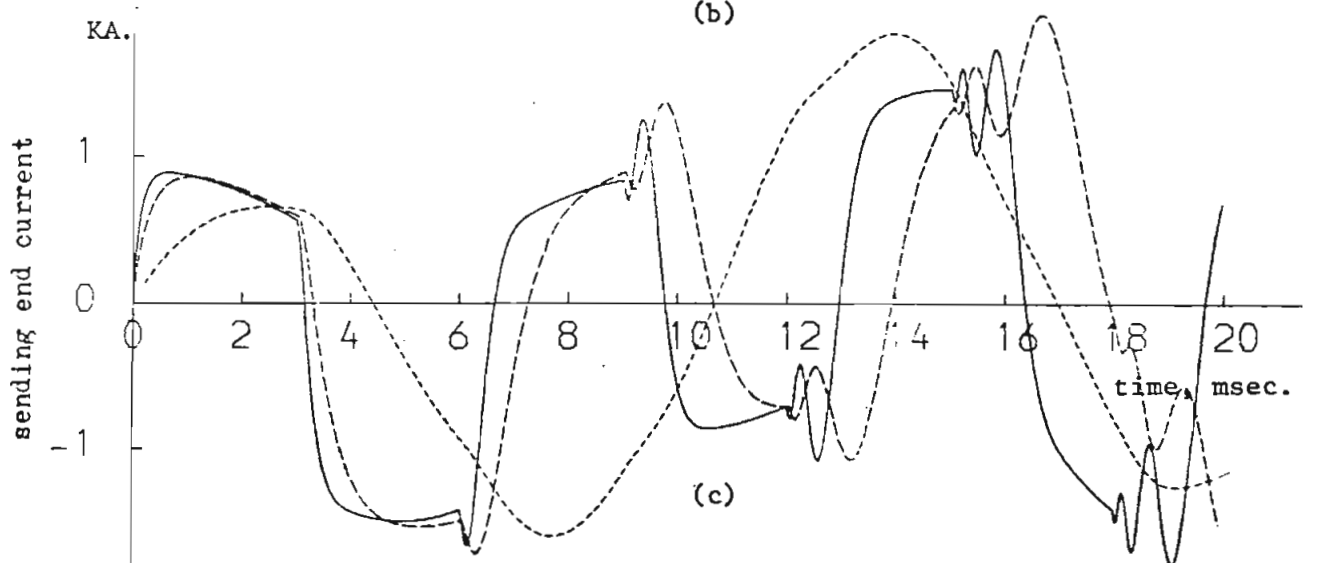
Figuras comparativas. Referencia (1)



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.2. EFFECT OF THE SOURCE INDUCTANCE ON ENERGISATION OF AN OPEN CIRCUITED LINE, CIRCUIT OF Fig. 6.1a.

Figuras comparativas. Referencia (8).

energizan líneas de diferente longitud, a diferente frecuencia y sin consideración de pérdidas. De esta manera se comprueba la fiabilidad del modelo utilizado y de los resultados que se obtienen.

Los oscilogramas de corrientes correspondientes a los gráficos presentados se muestran en la Fig. 2.10, observándose que para una misma longitud de línea, el pico de corriente disminuye al aumentar el valor de la inductancia, debido principalmente a la variación de la constante de tiempo que depende de L ; y a las reflexiones sucesivas.

2.3.4. ENERGIZACION CON CARGA ATRAPADA

La condición de carga atrapada se presenta en una línea de transmisión, al despejarse una falla que no involucre a las tres fases; o al desconectarse una línea sana, haciendo que las fases no fallosas queden cargadas con voltajes de hasta el valor pico de voltaje fase-neutro del sistema, dependiendo del valor instantáneo de voltaje de la onda en el momento en que se produjo el despeje.

Al restablecerse la energía en el sistema, la condición más crítica ocurre cuando el voltaje de alimentación se encuentra en su máximo valor y la carga atrapada-

es de igual magnitud pero de signo contrario, produciéndose un aumento de los voltajes transitorios en el extremo de recepción.

Los oscilogramas de este caso se muestran en la Fig. 2.11. Se energiza una línea de transmisión de 100 Km con una carga atrapada de -1.0 p.u. en la fase a, con ángulos de cierre de 0° y 90° . El oscilograma d) de esta figura, presenta un valor pico de 2.5 p.u., comparable con el gráfico d) de la Fig. 2.6, en el que no se considera la presencia de carga atrapada. Igualmente pueden compararse los oscilogramas c) de la Fig. 2.11 con los del gráfico a) de la Fig. 2.6, donde también se nota el incremento del sobrevoltaje al existir carga atrapada.

El sobrevoltaje de 2.5 p.u. obtenido para la condición de carga atrapada con un ángulo de cierre de 90° es el valor pico más alto conseguido en la realización de estas pruebas.

En los oscilogramas de corrientes, Fig. 2.11, se observa que también la corriente presenta un incremento en amplitud respecto de las conseguidas en ausencia de carga atrapada.

En la práctica, una línea permanece cargada con



valor pico por muchos segundos después del despeje de la -
falla. Este tiempo es mucho mayor al usado en esquemas -
eléctricos equipados con reconectores.¹

El tiempo de descarga de una línea está dado por las condiciones climáticas existentes en el medio. Normalmente se requiere de dos a cinco minutos para una descarga completa. En condiciones extremadamente secas, este tiempo puede incrementarse hasta un valor de quince minutos.

CAPITULO # 3

CAPITULO # 3

OBTENCION DE VOLTAJES Y CORRIENTES EN DOMINIO DE LA FRECUENCIA

3.1. INTRODUCCION

Hasta la presente fecha, ha sido motivo de mucho estudio el análisis en dominio del tiempo de los transitorios causados por maniobras y cortocircuitos en una línea de transmisión.

Uno de los objetivos de la presente tesis es el de profundizar el conocimiento del comportamiento en dominio de la frecuencia de una línea en vacío, sometida a operaciones de cierre de un disyuntor.

Para el desarrollo de este análisis, ha sido necesario primeramente la obtención de los transitorios en dominio del tiempo. Estos resultados se han presentado ya en el capítulo anterior.

El modelo de línea usado ha sido construido en tramos π de 100 y 200 Km, Ref. 6, cuya configuración es de un filtro pasa-bajos. La respuesta de frecuencia de un circuito π está afectada por la resistencia R conectada en serie con la inductancia L . La inclusión de esta resistencia aumenta el ancho de banda de la respuesta de frecuencia. En los tramos de línea mencionados no se ha considerado la presencia de la resistencia, por lo que los espectros de frecuencia analizados en este capítulo presentan una menor resolución que en un circuito real.

La evaluación de los resultados en dominio de la frecuencia se realiza mediante la "Transformada Rápida de Fourier", implementada en un programa digital. (Apéndice B).

Los resultados de este procedimiento se presentan como espectros de frecuencia, que no son más que la representación de las componentes de frecuencia de la respuesta transitoria de un circuito eléctrico, para un tiempo determinado. Estas componentes dependen de los parámetros y de la configuración del circuito.⁹

3.2 PRUEBAS DE COMPROBACION DEL PROGRAMA UTILIZADO

Con el fin de comprobar la confiabilidad del pro

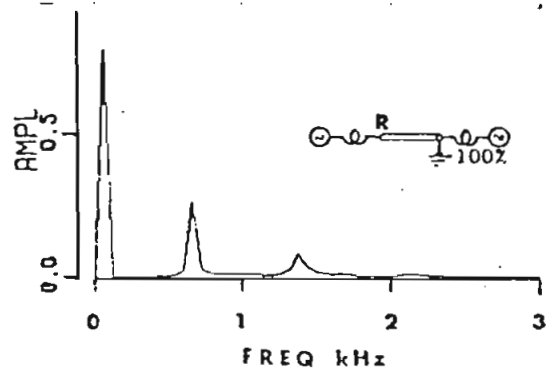
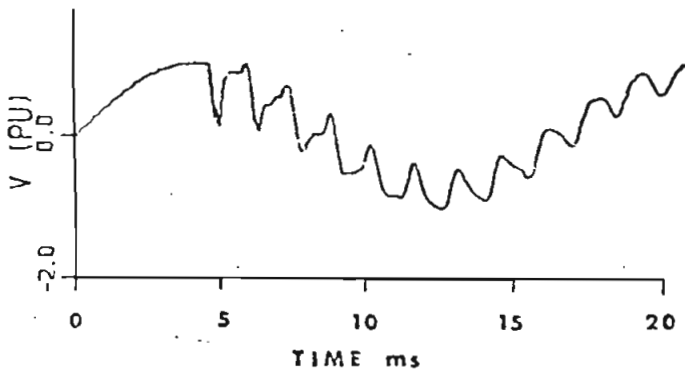


Fig.3.1.a) fig. 7 de la Ref. (11)

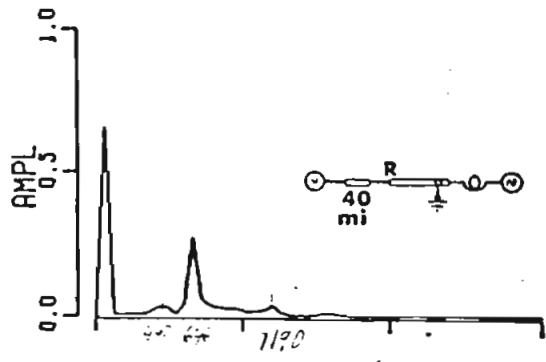
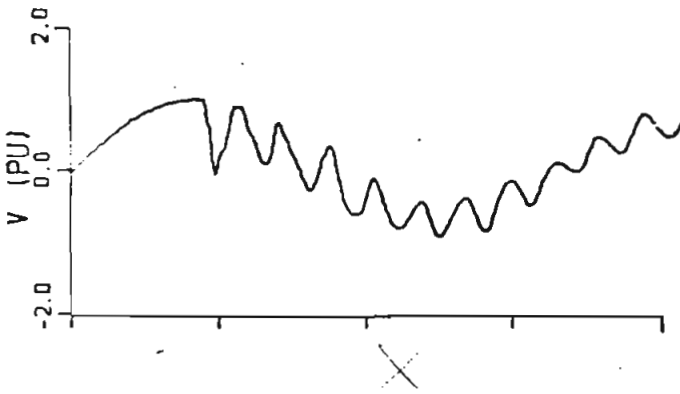


Fig.3.1.b) Fig. 8 de la Ref. (11)

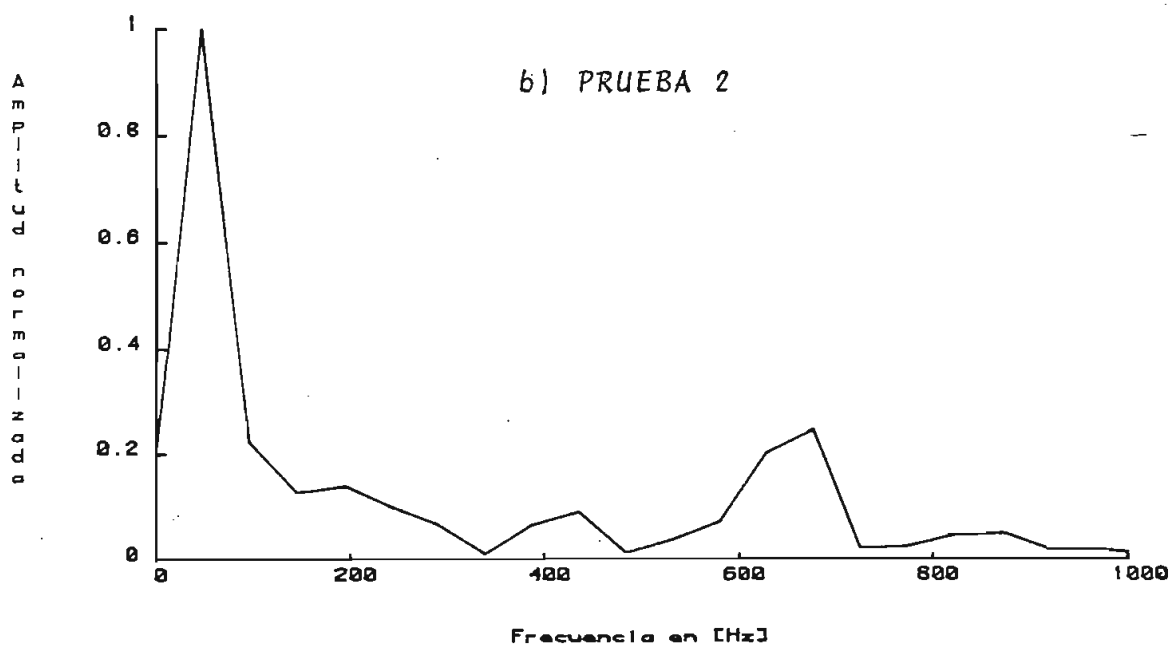
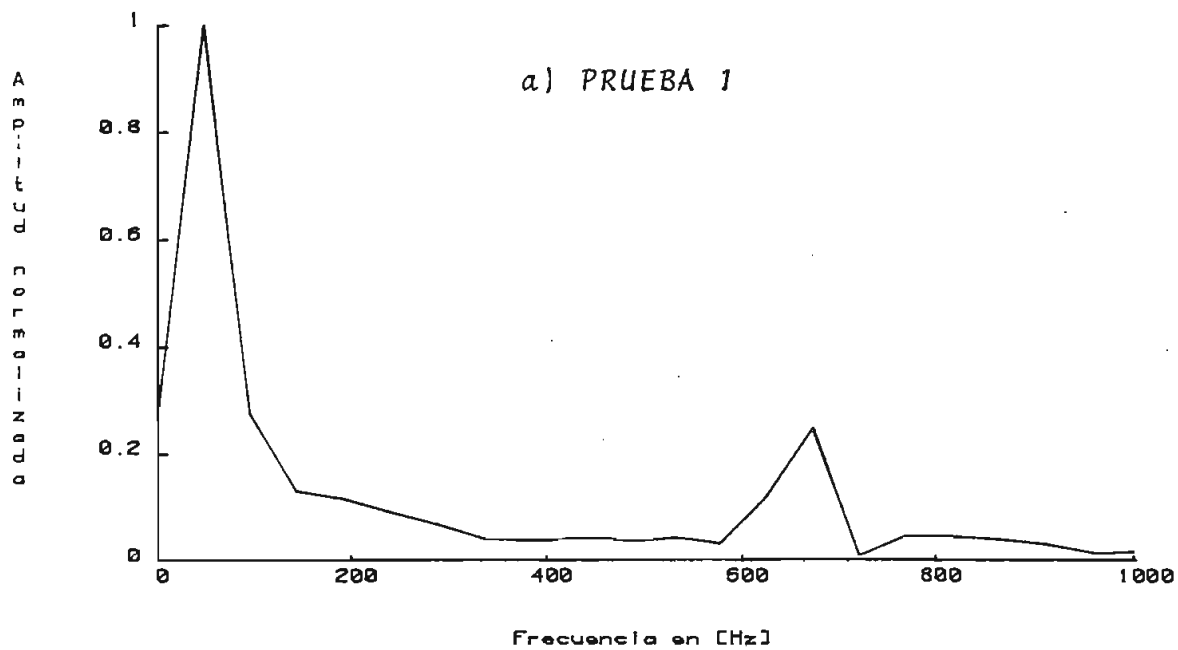


Fig. 3.2. Pruebas de comprobación del programa.

...grama digital implementado (Apéndice B), se realizaron dos pruebas, ingresándose las curvas de voltajes transitorios mostrados en las Figs. 7 y 8 de la Ref. (11), que se reproducen en la Fig. 3.1.

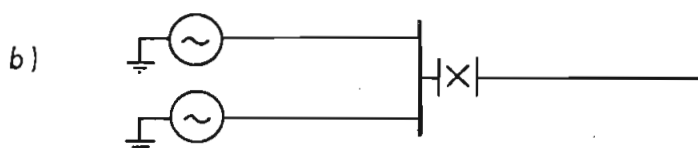
Los espectros de frecuencia de estas curvas se presentan en la Fig. 3.2. La Prueba 1 corresponde a la curva de la Fig. 3.1.a); y la Prueba 2 a la curva de la figura 3.1.b). Nótese la similitud de los espectros obtenidos, con los de la referencia.

3.3. OBTENCION Y ANALISIS DE LOS ESPECTROS DE FRECUENCIA DE LOS VOLTAJES Y CORRIENTES TRANSITORIOS

3.3.1. ALIMENTACION DESDE OTRAS LINEAS



Para este caso, de energización de un tramo de línea de 200 Km desde una línea de 100 Km, en los espectros de frecuencia de la Fig. 3.3 se observa que el rango de frecuencias comprendidas entre la 3^a y 6^a armónica presentan una variación en su amplitud, al incrementarse el ángulo de cierre, de 0° a 90°; resalta el crecimiento de la quinta armónica, de 25% para un ángulo de 0°, un 60% para un ángulo de 90°.



Al conectarse en paralelo otro tramo de línea - de 100 km en el lado de la fuente, los espectros de frecuencia presentan igualmente un incremento en amplitud de las mismas armónicas observadas en el caso anterior, pero en menor proporción, Fig. 3.3.

Así mismo se nota que la variación de la 5^a armónica es la más importante, presentando un crecimiento desde 10% para 0°, hasta 45% para 90°.

Estos resultados se pueden resumir en la siguiente tabla:

ARMÓNICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
3 ^a	10 (*)	15	15	21
	9 (**)	10	12	16
4 ^a	15	25	30	24
	7	12	14	28
5 ^a	25	30	40	60
	10	28	36	45
6 ^a	10	12	14	8
	2	16	26	11

Tabla 3.1. Variación de las armónicas - de los voltajes de recepción

(*) Caso a)

(**) Caso b)

Los espectros de frecuencia de las corrientes de envío de estos dos casos también presentan una variación notable de las componentes comprendidas entre 3^{ra} y 6^{ra} armónica, con incremento de su amplitud al aumentar el ángulo de cierre. Este incremento es menor para la condición de dos líneas en paralelo, Fig. 3.4.

Además se observa en ambos casos, que para los ángulos de 60° y 90° se presenta una disminución de la fundamental hasta en un 37%, llegando la 5^{ra} armónica a un valor de 100% en amplitud, para un ángulo de 90°. Estos resultados se tabulan a continuación:

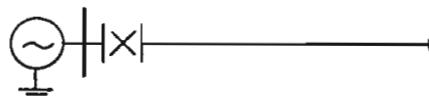
ARMONICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
Fundamental	100 (*)	100	84	76
	100 (**)	100	100	63
3 ^{ra}	20	28	42	44
	20	28	26	25
4 ^{ra}	22	45	60	78
	20	28	40	42
5 ^{ra}	40	63	100	100
	24	70	92	100
6 ^{ra}	8	18	20	16
	6	58	50	36

Tabla 3.2. Variación de las armónicas de de las corrientes de envío.

(*) Caso a)

(**) Caso b)

3.3.2. ENERGIZACION DESDE UNA BARRA INFINITA



Los resultados conseguidos en el capítulo anterior para esta condición se pasan igualmente al dominio de frecuencia, obteniéndose los espectros de frecuencia de los sobrevoltajes de recepción y corrientes de envío con diferentes longitudes de línea, energizadas con diferentes ángulos de cierre. Estos resultados se analizan separadamente a continuación:

a) $l = 100 \text{ Km}$

Tanto en los espectros de frecuencia de los voltajes de recepción, como en los de corrientes de envío, - Figs. 3.5 y 3.6, resalta el crecimiento en amplitud de una componente de mediana frecuencia, la 12^a armónica, acorde con el incremento del ángulo de cierre. Para 0° , el espectro presenta una uniformidad en casi todo su rango. A partir de 30° , se aprecia la formación de un pequeño pico en los 600 Hz, que se incrementa en los 60° manteniendo este aumento hasta los 90° . Los valores que va tomando esta componente se tabulan a continuación:

ARMONICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
12 ^º	3(*)	4	24	24
	4(**)	18	34	40

Tabla 3.3. Variación de las armónicas de voltajes y corrientes -
 $l = 100 \text{ Km}$

(*) Voltajes de recepción

(**) Corrientes de envío

De estos valores se aprecia que el crecimiento - de la 12^º armónica es más pronunciado en los espectros de corriente que en los de voltaje.

b) $l = 200 \text{ Km}$

De los gráficos de los espectros de frecuencia - de voltajes de recepción como de corrientes de envío, se aprecia la existencia de la 6^º armónica como componente dominante del grupo de componentes comprendidas entre 200 y 350 Hz., cuyas amplitudes aumentan conforme se incrementa el ángulo de cierre del disyuntor, hasta conseguir un va - lor máximo para los 90°.

El crecimiento de la 6^º armónica es mayor para - el caso de los espectros de frecuencia de las corrientes -

de envío. Estos valores se tabulan a continuación:

ARMÓNICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
6 ^º	3(*)	18	38	41
	12(**)	56	62	90

Tabla 3.4. Variación de las armónicas de los voltajes y corrientes $l = 400$ Km

(*) Voltajes de recepción

(**) Corrientes de envío

c) $l = 300$ Km

Al incrementarse la longitud de la línea energizada, el rango de armónicas dominantes comprendidas entre 150 y 250 Hz. presentan una mayor amplitud, destacándose la 5^º armónica con ángulos de cierre de 0°, 30°, y 90°; y la 4^º armónica en 60°. Esto para los espectros de frecuencia de los voltajes de recepción.

Para las corrientes de envío, el rango de frecuencias dominantes es el mismo que en el caso de los voltajes, manteniéndose la 4^º armónica como dominante con los cuatro valores de ángulo de cierre.

Igualmente se aprecia el incremento de la amplitud

de las componentes mencionadas, al aumentarse el ángulo de cierre del disyuntor. Las componentes de frecuencia de las corrientes también - presentan una mayor amplitud que las de voltaje. Estos resultados se tabulan a continuación:

ARMONICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
3 ^o	12 (*)	10	40	28
	16 (**)	36	42	44
4 ^o	8	19	51	51
	22	65	92	94
5 ^o	9	27	44	66
	14	56	70	81

Tabla 3.5. Variación de las armónicas de voltajes y corrientes
 $l = 300 \text{ Km}$

(*) Voltajes de recepción

(**) Corrientes de envío

d) $l = 400 \text{ Km}$

Los espectros de frecuencia de voltajes se presentan en la Fig. 3.5. De su análisis se desprende que, el rango de frecuencias dominantes está comprendido entre 100 y 200 Hz, 2^o y 4^o armónicas, - presentando la 3^o armónica un mayor crecimiento hasta los 60°, apareciendo la 4^o armónica como predominante en los 90°.

En el caso de los espectros de las corrientes de envío, -

Fig. 3.6, la 3^ª armónica permanece como dominante de 0° a 90°, a pesar de la presencia de la 2^ª y 4^ª armónicas. Al tabular estos valores, Tabla 3.6, se puede igualmente notar que al incrementarse el ángulo de cierre existe un aumento en amplitud, presentando un mayor crecimiento las componentes de frecuencia de las corrientes.

ARMONICA	AMPLITUD (%)			
	0°	30°	60°	90°
2 ^ª	25 (*)	32	36	50
	38 (**)	32	45	58
3 ^ª	28	37	58	64
	50	58	82	96
4 ^ª	10	28	52	67
	12	34	54	88

Tabla 3.6 Variación de las armónicas de voltajes y corrientes
l = 400 Km

(*) Voltajes de recepción

(**) Corrientes de envío

Además de la 3^ª y 4^ª armónicas, cabe resaltar la presencia de la 8^ª armónica en los espectros de frecuencia de los voltajes y corrientes analizados, con una variación significativa de su amplitud, que en todo caso es menor que las componentes de menor frecuencia.

Recapitulando estos cuatro casos presentados, po

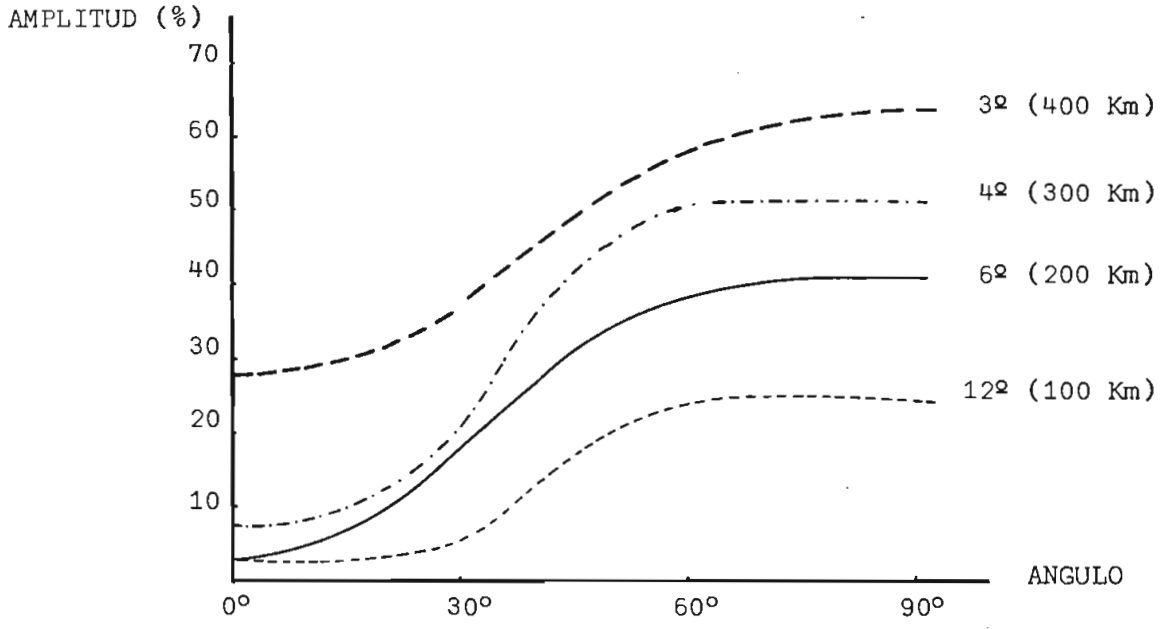
...demos elaborar la siguiente tabla:

l	FRECUENCIA	ARMONICA DOMINANTE
100 Km	600 Hz	12 ^º
200 Km	300 Hz	6 ^º
300 Km	200 Hz	4 ^º
400 Km	150 Hz	3 ^º

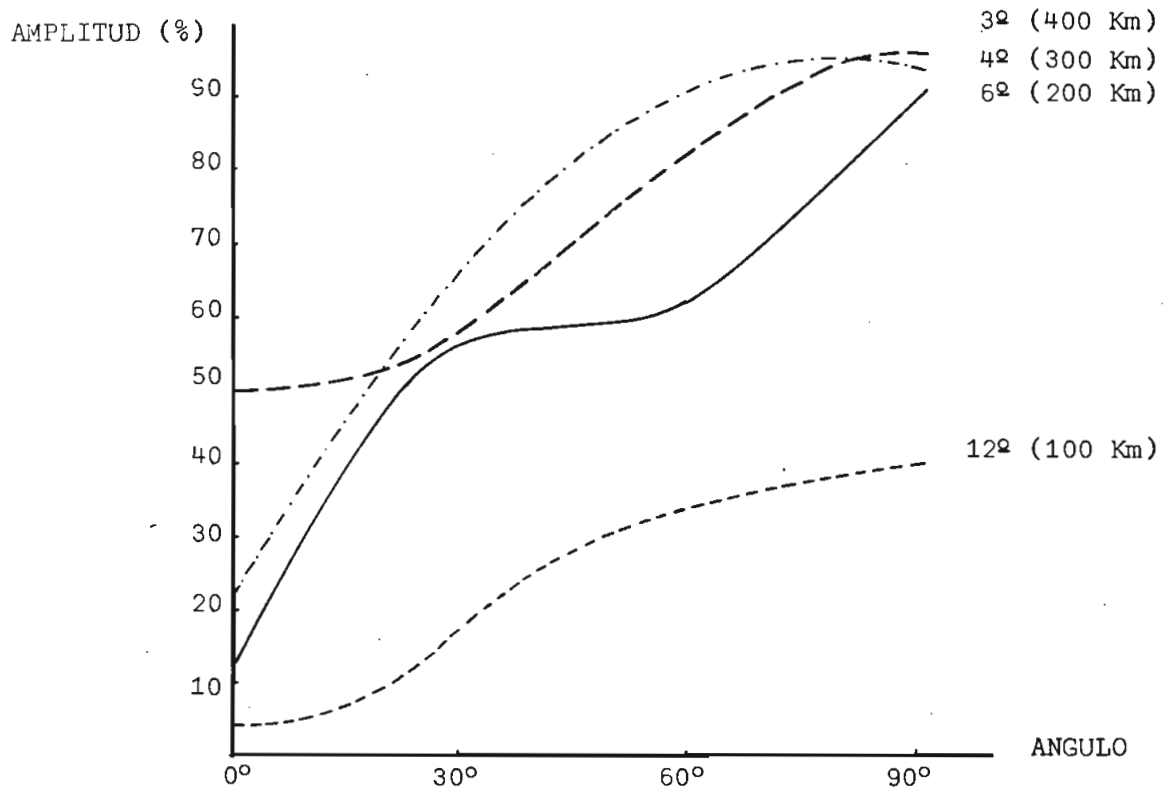
Tabla 3.7. Resumen de los espectros de frecuencia analizados

De esta Tabla podemos afirmar que:

- Al energizar una línea de transmisión en vacío desde una barra infinita, con longitudes variables de 100 Km a 400 Km, los espectros de frecuencia que se producen por el estado transitorio generado, presentan componentes dominantes de diferente frecuencia, cuyo valor disminuye al incrementar la longitud de la línea energizada. Es decir existe un desplazamiento de las armónicas dominantes hacia la izquierda del eje, a medida que se aumenta la longitud l de la línea energizada.
- Con los datos tabulados en cada caso, se han elaborado los gráficos de la Fig. 3.7, donde se presentan las curvas de variación de amplitud de las componentes de frecuencia dominantes, con los diferentes ángulos de conexión.



a) Curvas de variación de las armónicas dominantes. Espectros de voltaje de recepción.



b) Curvas de variación de las armónicas dominantes. Espectros de corrientes de envío.

Fig. 3.7. Armónicas dominantes al energizar una barra infinita

- De la Fig. 3.7. a) , se aprecia claramente como las curvas de variación de cada armónica presentan una gran similitud entre sí, existiendo un desplazamiento positivo en amplitud al aumentarse la longitud. Esto resulta sumamente interesante si consideramos que la armónica dominante es diferente para cada longitud de línea.
- Las curvas de variación de las componentes de corriente no presentan similitud entre sí, Fig. 3.7. b), pero se puede apreciar la mayor amplitud de éstas respecto de las de voltaje.

En la Ref. 8, Figs. 5.8 y 5.3, se presenta el efecto del ángulo de cierre en los oscilogramas de voltajes y corrientes transitorios de recepción y envío por energización de una línea monofásica de 450 Km desde una barra infinita. Utilizando el programa digital implementado en este estudio se trasladaron estos oscilogramas a dominio de la frecuencia, cuyos espectros se presentan en la Fig. 3.8. En éstos se aprecia el dominio de la 3^{ra} armónica tanto en los espectros de voltaje como en los de corriente, donde además se nota el incremento en amplitud de la 8^{va} armónica, tal como se observó en los espectros de las Figs. 3.5 y 3.6. Se puede también apreciar la similitud que presentan los espectros de frecuencia comparados. Debe tomarse en cuenta que se está relacionando con resultados ob

ARMONICA	AMPLITUD (%)									
	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	1.0 H			
3 ^o	14(*) 11(**) 9(***)	15 6 16	6 6 18	14 16 22	12 17 14	6 22 10	10 17 30			
4 ^o	8 12 14	6 8 20	10 10 33	10 12 23	10 29 34	20 18 44	30 47 88			
5 ^o	7 6 30	6 10 26	4 17 30	21 22 60	16 36 72	30 22 80	24 17 72			
8 ^o	6 20 71	5 15 48	7 13 40	2 6 25	0 6 23	10 4 36	7 5 23			

Tabla 3.8. Variación de las armónicas dominantes en los espectros de frecuencia por energización desde una fuente inductiva.
 $l = 100 \text{ km}$

(*) Voltajes de envío; (**) Voltajes de recepción; (***) Corrientes de envío

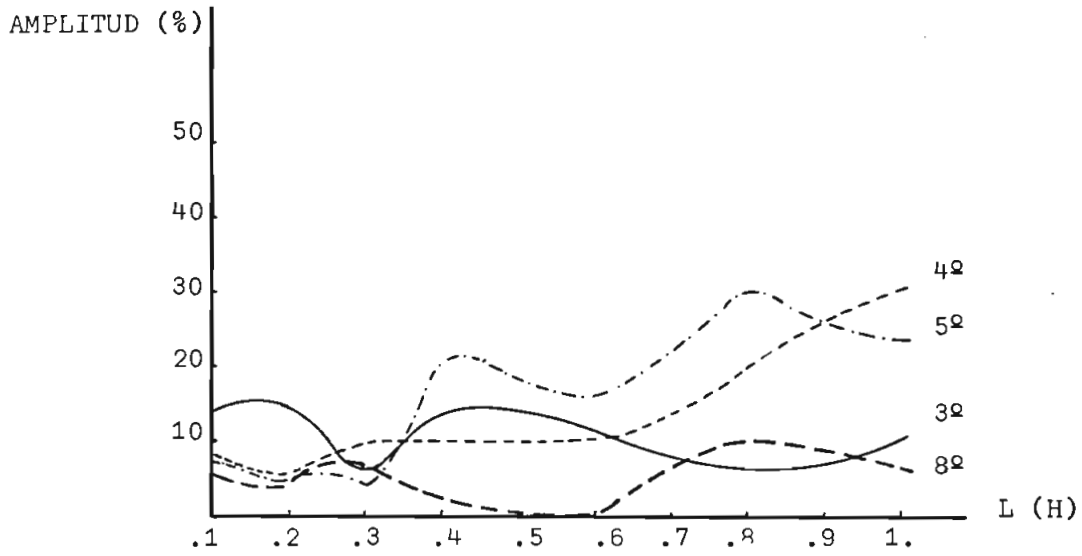


Fig. 3.12. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de envío; $l = 100$ Km.

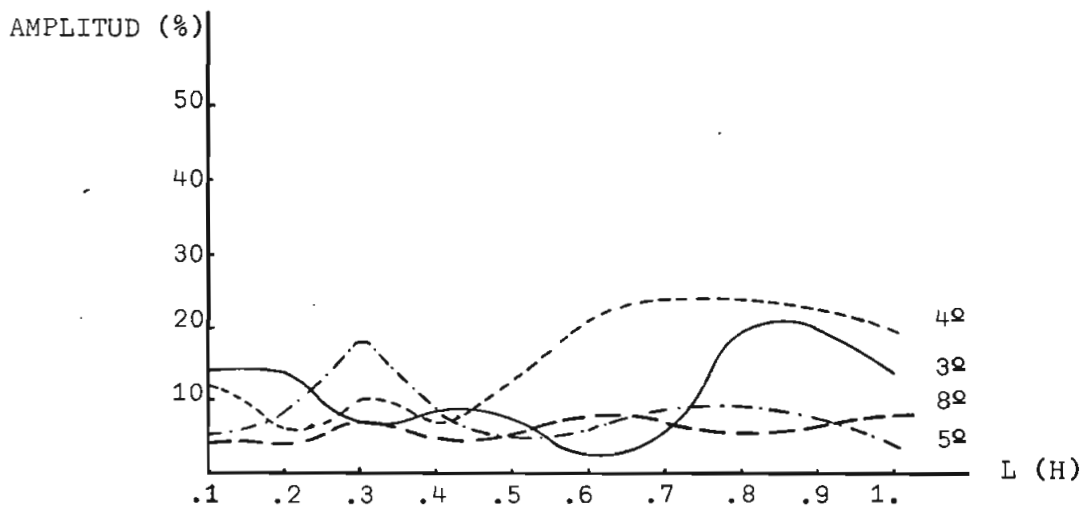


Fig. 3.13. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de envío; $l = 200$ Km.

100 Km. Los voltajes de envío se presentan en la Fig. 3.12

De estas curvas se puede ver que las amplitudes de las componentes dominantes no presentan valores superiores al 30%. Para los tres primeros valores de inductancia casi todas las componentes de frecuencia graficadas presentan un pico, disminuyendo en 0.3H, para luego ascender nuevamente, alcanzando amplitudes mayores para valores de 0.8H y 1.0H. La 3^ª armónica, que inicialmente presenta un mayor valor, disminuye en amplitud al incrementar la inductancia de la fuente. Por el contrario, la 4^ª y 5^ª armónicas que aparecen con valores inferiores al 10% al inicio, incrementan su amplitud con el aumento de la inductancia, presentando éstas el mayor valor, 30% con una inductancia de 1.0H.

En la Tabla 3.9 se resumen las amplitudes que van tomando las armónicas con los distintos valores de inductancia, para una longitud de 200 Km.

Los voltajes de envío se presentan en la Fig. 3.13. Analizando estas curvas, se nota que para valores pequeños de inductancia, 0.1H y 0.2H, la 3^ª armónica presenta igualmente una mayor amplitud que las demás, pasando luego la 4^ª armónica a incrementar su amplitud con 0.6H, 0.8H y 1.0H.

ARMONICA	AMPLITUD (%)									
	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	1.0 H			
3º	14(*)	14	7	8	2	20	14			
	9(**)	14	15	20	20	40	35			
	40(***)	15	22	36	12	54	22			
4º	12	6	10	7	22	24	20			
	10	15	28	44	49	20	30			
	41	41	50	100	30	78	25			
5º	5	8	18	8	6	9	4			
	45	37	30	10	20	20	15			
	51	100	92	54	15	47	14			
8º	4	4	7	5	8	6	8			
	7	8	9	7	4	6	3			
	8	13	22	10	2	13	3			

Tabla. 3.9. Variación de las armónicas dominantes en los espectros de frecuencia por energización desde una fuente inductiva.
 $l = 200 \text{ Km.}$

(*) Voltajes de envío; (**) Voltajes de recepción; (***) Corrientes de envío

En general, la amplitud de estas componentes disminuye respecto del caso anterior.

En la Tabla 3.10 se agrupan los valores de las componentes de frecuencia de los espectros obtenidos con una línea de 400 Km.

Los voltajes de envío se muestran en la Fig. 3.14. De ésta se observa que la 2^ª armónica presenta un dominio total de 0.1H hasta 1.0H, aumentando su amplitud al desplazarse positivamente en el eje de inductancias.

Seguidamente se analizan las componentes de frecuencia de los voltajes de recepción.

En la Fig. 3.15 se muestra la variación que presentan las armónicas dominantes en los voltajes de recepción en la línea de 100 Km.

Para inductancias de 0.1H y 0.2H, la 8^ª armónica presenta la amplitud más alta, 20%; entre 0.3H y 0.8H parece la 3^ª armónica como la más dominante, 36%, pasando la 4^ª armónica en 1.0H a tomar la mayor amplitud del grupo, 48%.

Para una longitud de 200 Km se observa en la Fig.

ARMONICA	AMPLITUD (%)						
	0.1 H	0.2 H	0.3 H	0.4 H	0.6 H	0.8 H	1.0 H
Fundamental	55 (***)	51	70	83	96	100	93
2º	22 (*) 34 (**) 50 (***)	24 34 47	30 34 50	26 38 58	28 35 72	40 50 90	38 53 100
3º	20 81 100	13 65 100	16 64 100	22 60 100	23 55 100	16 44 74	14 42 68
4º	3 27 42	7 26 53	11 21 52	4 20 41	9 24 44	2 15 46	9 20 42
5º	2 (***)	12	12	22	26	24	16
7º	2 (**)	1	2	10	5	20	20
8º	3 17 6	8 12 6	8 12 3	9 12 4	6 16 6	3 12 10	7 10 8

Tabla 3.10. Variación de las armónicas dominantes en los espectros de frecuencia por energización desde una fuente inductiva.
 $l = 400 \text{ Km}$

(*) Voltajes de envío; (**) Voltajes de recepción; (***) Corrientes de envío

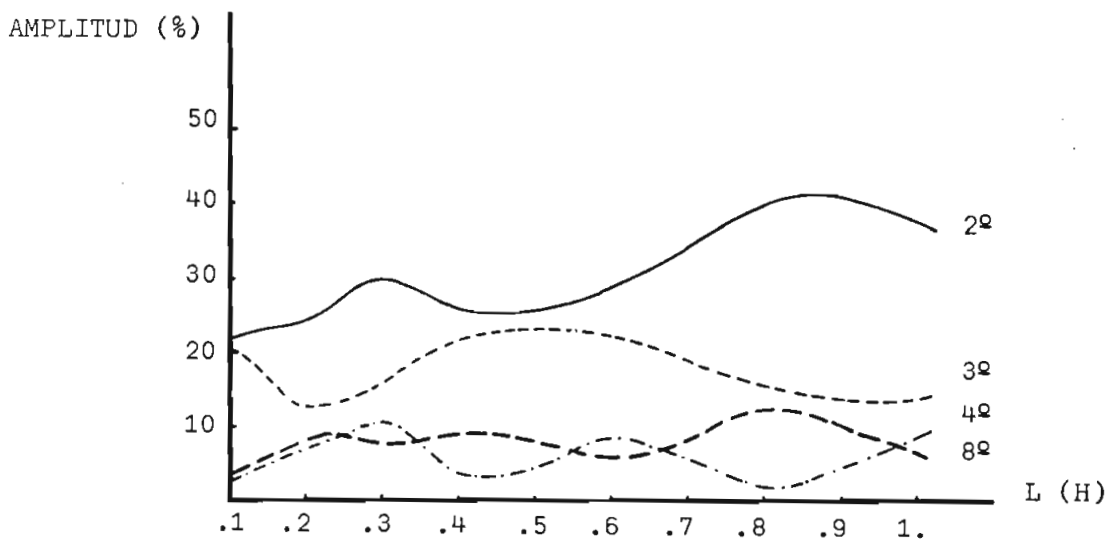


Fig. 3.14. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de envío; $l = 400$ Km.

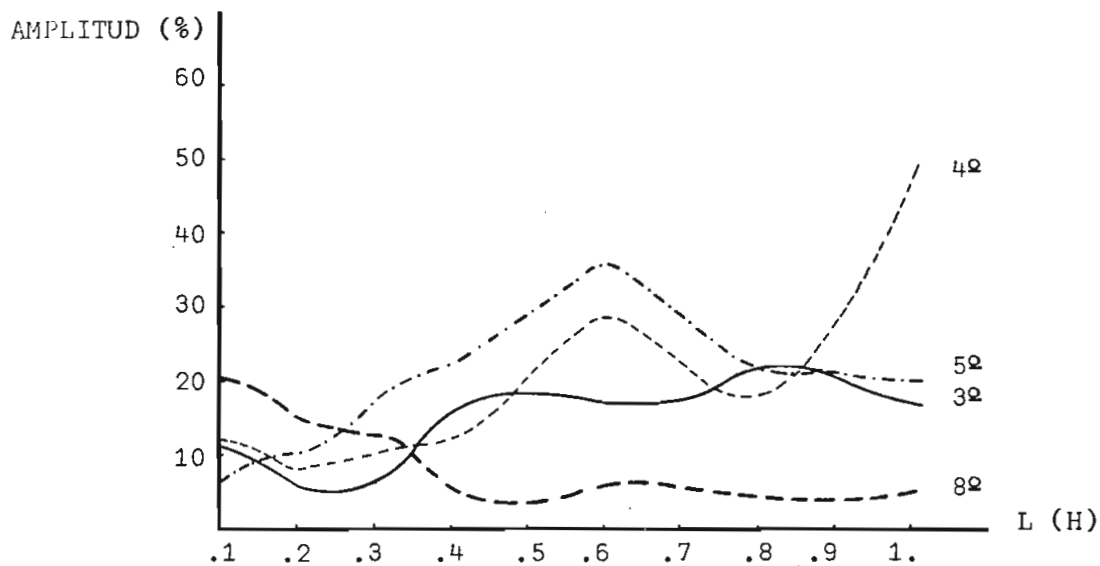


Fig. 3.15. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de recepción; $l = 100$ Km.

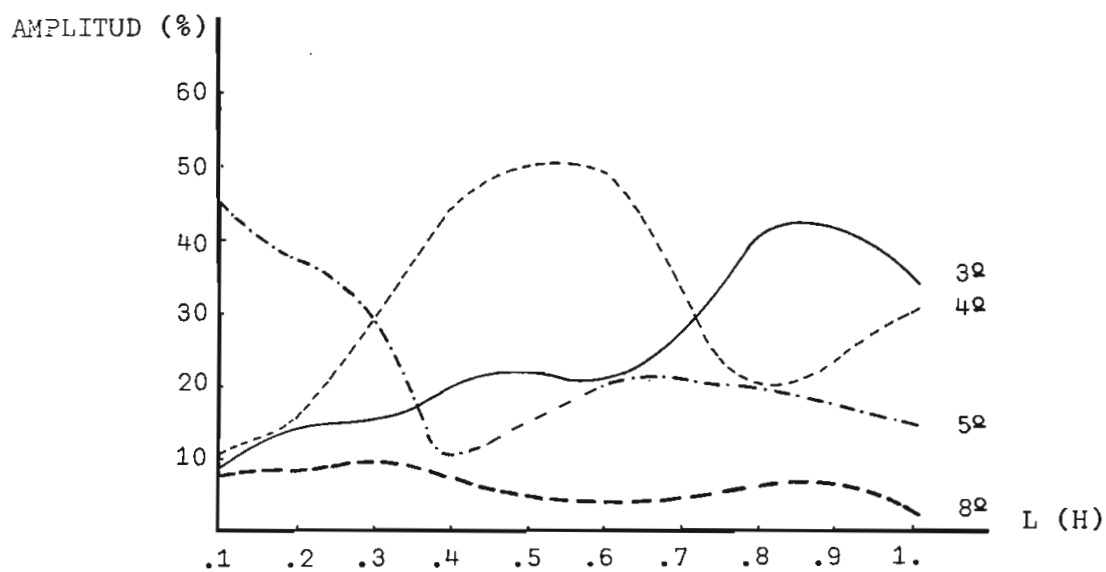


Fig. 3.16. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de recepción; $l = 200$ Km.

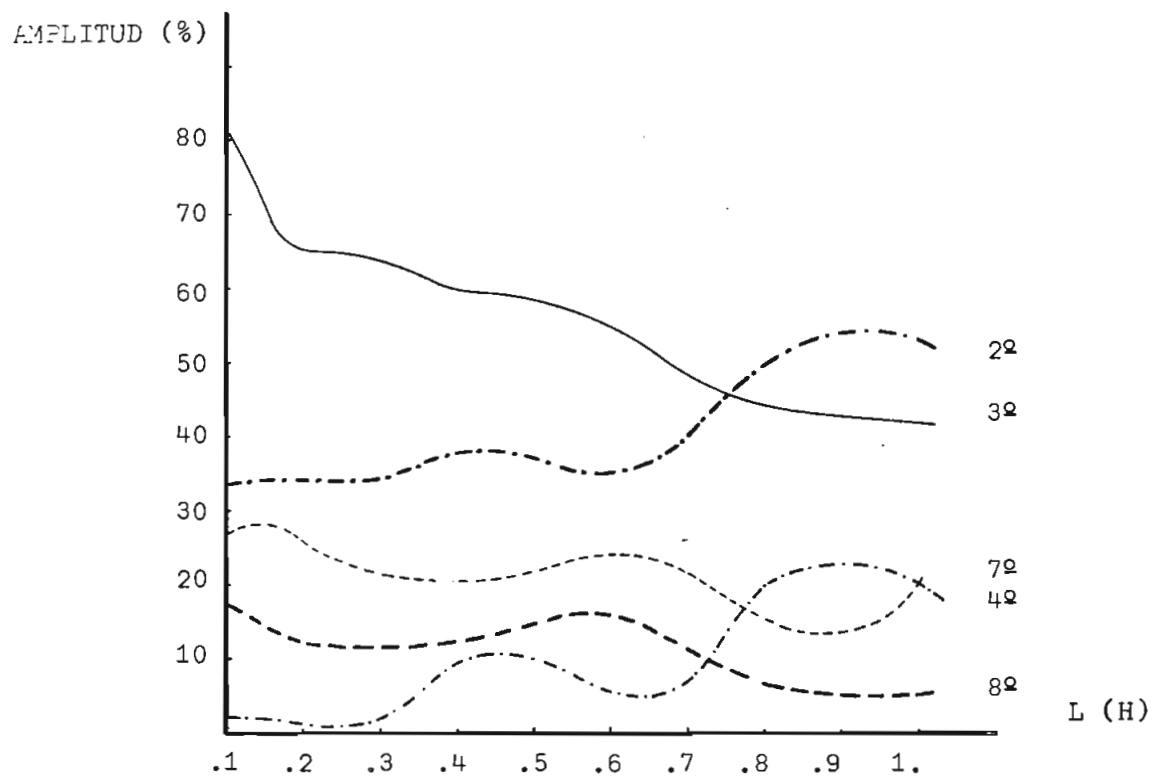


Fig. 3.17. Curvas de variación de las armónicas.
Voltajes de recepción; $l = 400$ Km.

3.16 que las mayores amplitudes empiezan a desplazarse hacia la izquierda del gráfico, apareciendo la 4^ª armónica - con la mayor amplitud, 50%, para un valor de 0.6H. La 3^ª-armónica presenta una amplitud de 45% para 0.1H; y 42% para 0.9H. Las demás componentes de frecuencia permanecen - con amplitudes inferiores al 22%.

Las curvas para una longitud de 400 Km se grafican en la Fig. 3.17 donde se aprecia que las mayores amplitudes se presentan para valores pequeños de inductancia, 0.1H y 0.2H, apareciendo la 3^ª armónica con una amplitud - de 80% como la más alta, disminuyendo paulatinamente con - forme se incrementa la inductancia de la fuente.

Finalmente, se analizan los espectros de frecuencia de las corrientes de envío.

Para 100 Km de línea, Fig. 3.18, se observa que las amplitudes de las armónicas de las corrientes son mayores respecto de las de voltajes. Inicialmente se presenta la 8^ª armónica como dominante, para 0.1H y 0.2H, disminuyendo posteriormente para los valores mayores. A partir de 0.4H aparecen la 4^ª y 5^ª armónicas como las de mayor valor, alcanzando la 4^ª una amplitud del 88% para 0.1H.

Para 200 Km. de línea, Fig. 3.19, la 5^ª y 4^ª ar-

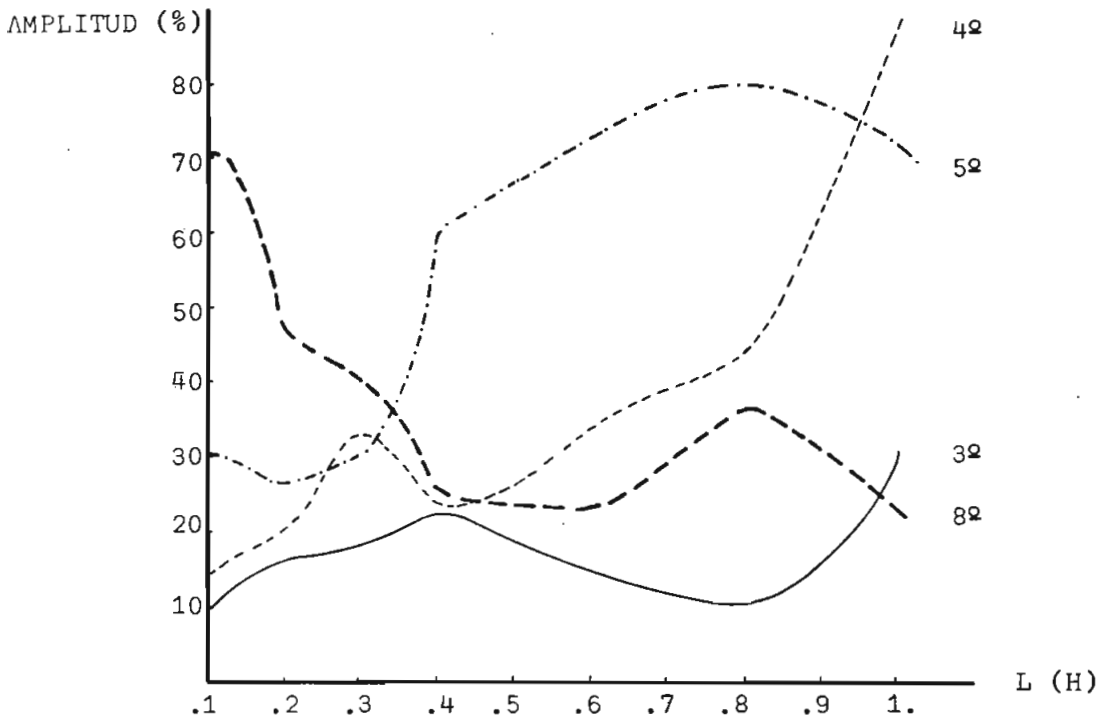


Fig. 3.18. Curvas de variación de las armónicas. Corrientes de envío; $l = 100$ Km.

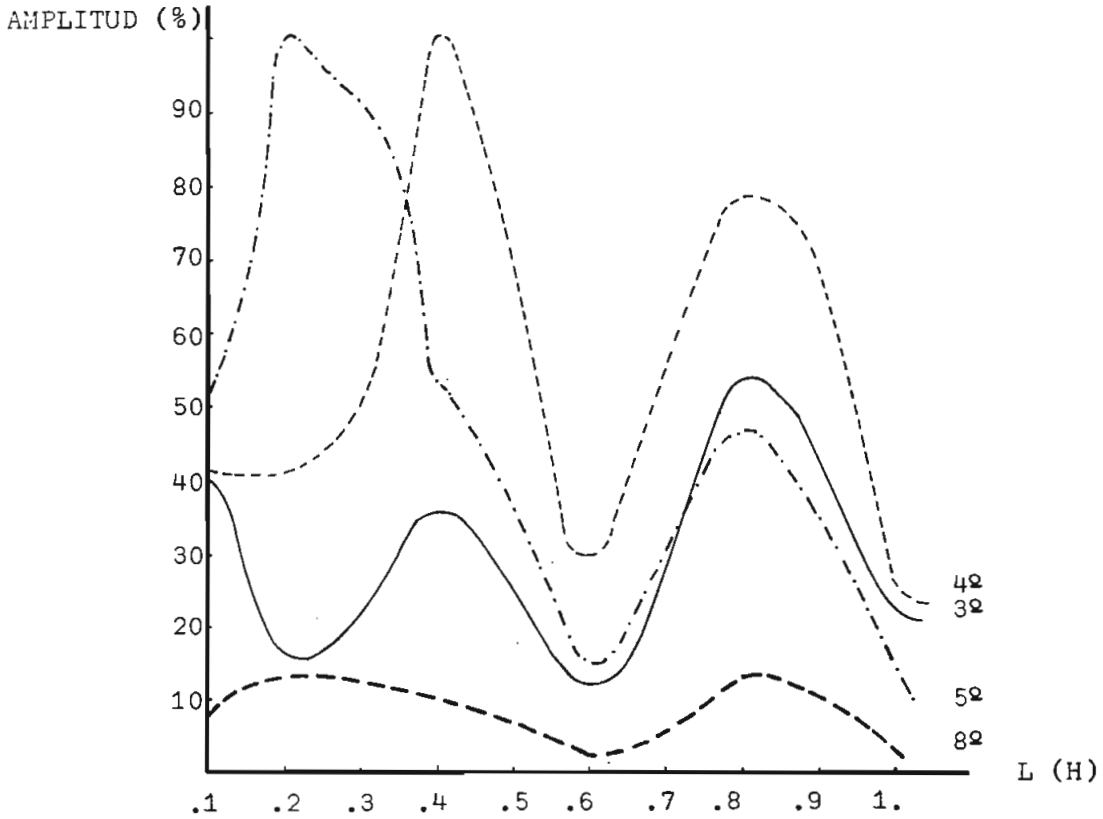


Fig. 3.19. Curvas de variación de las armónicas. Corrientes de envío; $l = 200$ Km.

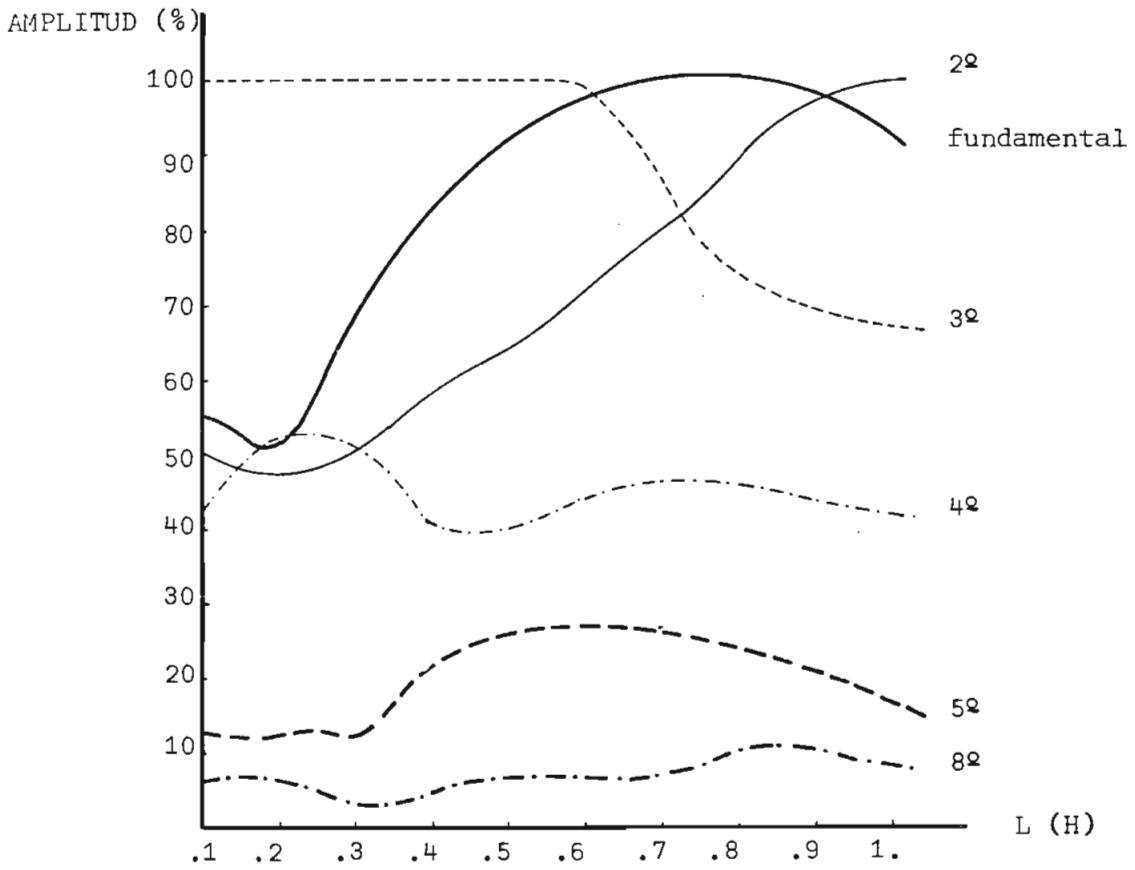


Fig. 3.20. Curvas de variación de las armónicas.
Corrientes de envío; $l = 400$ Km.

...mónicas desplazan sus mayores amplitudes hacia $0.2H$ y $0.4H$ respectivamente, logrando un valor del 100%, disminuyendo en forma oscilante para valores superiores de inductancia de la fuente. Igualmente, estas amplitudes son superiores a las de los voltajes.

Con 400 Km de línea, Fig. 3.20, las curvas se presentan totalmente corridas hacia la izquierda del gráfico, es decir, las mayores amplitudes de las armónicas aparecen para el menor valor de inductancia, $0.1H$. La 3^{ra} armónica predomina con un valor del 100% hasta $0.6H$, pasando la fundamental a este valor en $0.8H$, para terminar la 2^a armónica con 100% de amplitud en $1.0H$.

En los tres casos se ve la mayor amplitud de las componentes de frecuencia de las corrientes de envío con respecto a las de voltajes.

De todo este análisis se puede anotar que:

- Las armónicas que presentan las mayores amplitudes están comprendidas entre la 2^a y 5^a, tanto en voltajes como en corrientes.
- Los gráficos de voltajes y corrientes presentan un desplazamiento de los picos de corriente dominante hacia la izquierda, conforme aumenta la longitud de la línea.

- La variación de las armónicas con la variación de la inductancia de la fuente no es la misma para corrientes - ni para voltajes de envío y recepción.
- En general, la amplitud de las componentes de frecuencia experimenta un aumento paulatino acorde con el incremento en longitud. Este aumento es mayor con las armónicas de las corrientes.

3.3.4. ENERGIZACION CON CARGA ATRAPADA

Como se describió anteriormente, se energizó un tramo de 100 Km, con carga atrapada de -1.0 n.u. con ángulos de cierre de 0° y 90° .

En la Fig. 3.21 se muestran los espectros de frecuencia de los voltajes de envío y recepción. Se puede notar que los espectros de voltaje de envío al conectar la línea con 0° y 90° no presentan prácticamente ninguna variación. Aparece la 2^a armónica con un valor cercano al 30%; y la 3^a, 4^a y 5^a con valores inferiores al 10%.

Los espectros de voltajes de recepción igualmente presentan similitud, para 0° y 90° , siendo las componentes de frecuencia entre 550 Hz y 700 Hz las de mayor ampli

...tud para un ángulo de 90° , predominando entre ellas la 13^{a} armónica con el 50%.

En los espectros de corrientes, Fig. 3.21, se presenta la 12^{a} armónica como dominante, llegando al 100% de amplitud en 90° .

Resumiendo estos valores se tiene:

ARMONICA	AMPLITUD (%)	
	0°	90°
12^{a}	18 (*)	44
	92 (**)	100
13^{a}	21	51
	68	74

Tabla 3.11 Variación de las armónicas al energizar con carga atrapada

(*) Voltajes de recepción

(**) Corrientes de envío

CAPITULO # 4

CAPITULO # 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la realización de la presente tesis se han obtenido una serie de resultados que debidamente procesados han permitido sacar ciertas conclusiones. Muchas de éstas se han mencionado ya en los capítulos respectivos, - presentándose ahora en forma conjunta:

- La utilización de cálculos digitales y analógicos en un estudio de Sistemas Eléctricos deben considerarse como complementarios y no como competitivos.
- Al energizar una línea de transmisión desde otras líneas, los picos transitorios que se presentan son mayores si mayor es el número de líneas de transmisión que se conectan en paralelo en el lado de la fuente.
- El transitorio más crítico se presenta al energizar una línea con el pico de voltaje, es decir con un ángulo de cierre de 90° . La carga atrapada en la línea produce -

transitorios mayores.

- Al aumentar la longitud de la línea, disminuyen las oscilaciones del transitorio.
- El pico del transitorio se presenta más rápidamente en líneas de menor longitud.
- Al energizar una línea desde una barra infinita, el pico de corriente es mayor mientras mayor es la longitud de la línea.
- Al energizar una línea desde una fuente inductiva, la magnitud de los sobrevoltajes de recepción dependen de la longitud de la línea y de la inductancia de la fuente. A una mayor inductancia y mayor longitud corresponde un mayor sobrevoltaje.
- Al energizar una línea desde una barra infinita, disminuye la frecuencia de la componente dominante, al incrementar la longitud de la línea. Es decir existe una relación inversa.
- Al energizar desde barra infinita, aumenta la amplitud de la componente dominante con el aumento de la longitud de la línea energizada.

- Con fuente inductiva, las armónicas dominantes son de menor frecuencia que las que aparecen por energización desde barra infinita.
- Con fuente inductiva, la mayor amplitud de las componentes de frecuencia se presentan con menores valores de inductancia, al incrementarse la longitud de la línea.
- Las componentes de frecuencia de las corrientes de envío presentan una mayor amplitud que las de voltaje. Esto se observa en todos los casos estudiados.
- Con carga atrapada, la 13^a armónica pasa a ser dominante en los espectros de voltaje de recepción, alterándose lo observado al energizar una línea de 100 Km desde una barra infinita.

Los resultados y conclusiones hasta aquí conseguidos no pretenden ser definitivos, sino más bien ser las directrices en futuras investigaciones.

APENDICES

A P E N D I C E A

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA INTERFASE DE CONEXIÓN ENTRE EL CIRCUITO DE CONTROL DIGITAL Y EL CIRCUITO DE POTENCIA

1. INTRODUCCION

Para la ejecución de las pruebas descritas en este estudio, se hacía indispensable la utilización de un control electrónico de alta resolución, que permitiera manejar con alto grado de precisión el ángulo en el cual se debía realizar la conexión del voltaje alterno, tomando una fase como referencia.

El control requerido se había diseñado y construido como tesis de grado del Departamento de Electrónica. Ese trabajo se titulaba "Control digital para conmutadores estáticos de corriente alterna", Ref. 7. Este circuito sería el encargado de controlar la operación de los tiristores (SCR's), usados como conmutadores estáticos de corriente alterna.

2. CARACTERISTICAS DEL SISTEMA DE CONTROL

El control utilizado posee las siguientes características de operación:

- a) Control del ángulo en el cual se realiza la conexión - del voltaje alterno, de 1 a 359 grados.
- b) Error del ángulo de activado, ± 1 grado.
- c) Programación del número de ciclos de activado de los conmutadores estáticos, de 1 a 99 ciclos.
- d) Programación del número de ciclos desactivados de los conmutadores estáticos, de 1 a 99 ciclos.
- e) Sistema digital de conmutación aplicable a un sistema trifásico, sincronizado por una de las fases.
- f) Conexión simultánea o secuencial de las fases.

3. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

El circuito de control, Fig.A.1., maneja los instantes y condiciones de conexión y desconexión de la línea de -

transmisión con la fuente.

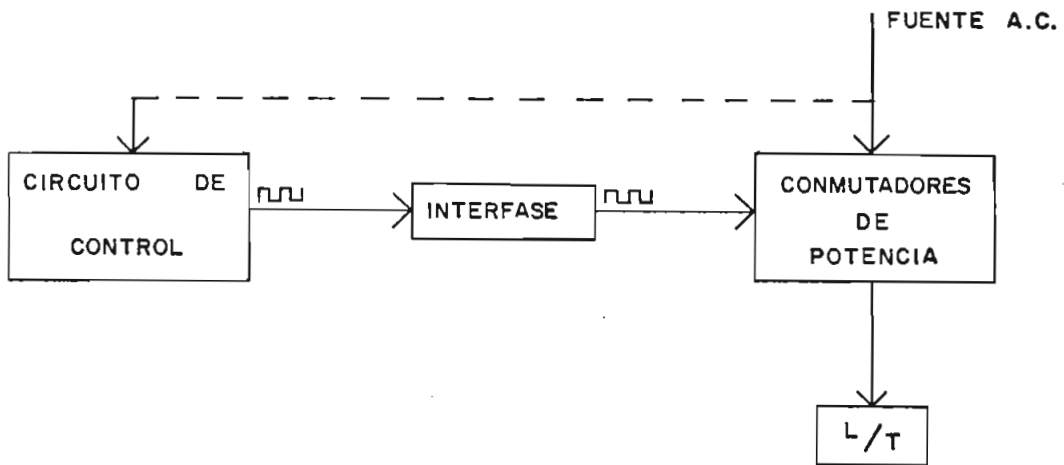


Fig. A.1. Diagrama de bloques

La interfase es el circuito de interconexión entre los circuitos de control y potencia. Su función es adaptar los niveles TTL de la señal entregada por el circuito de control, a los niveles que exigen las compuertas de los tiristores para su operación en el circuito de potencia.

Los conmutadores de potencia controlan la aplicación del voltaje a la línea de transmisión.

De estos tres elementos se contaba con el circuito de control y los conmutadores de potencia, por lo que -

que fue necesaria la construcción de la interfase. Esta y el circuito de control deberían por seguridad estar aislados eléctricamente del circuito de potencia. Este aislamiento se lo realizó con el uso de opto-aclopadores incluidos en el circuito de interfase.

4. CIRCUITO DE INTERFASE

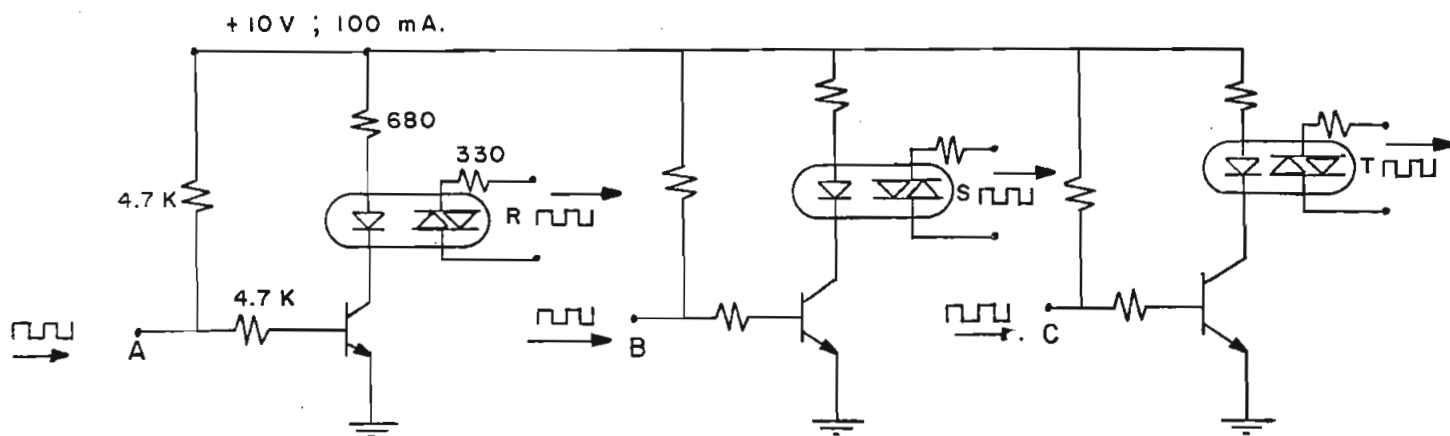


Fig. A.2. Circuito de interfase

A los terminales A, B y C llegan los niveles TTL (pulsos) generados en el circuito de control.

A través de los terminales de los opto-aclopadores (R,S,T) salen los pulsos, que excitando las compuertas de los SCR's conectados en paralelo inverso en cada fase-

de la línea, operan energizándola, Fig. A.3.

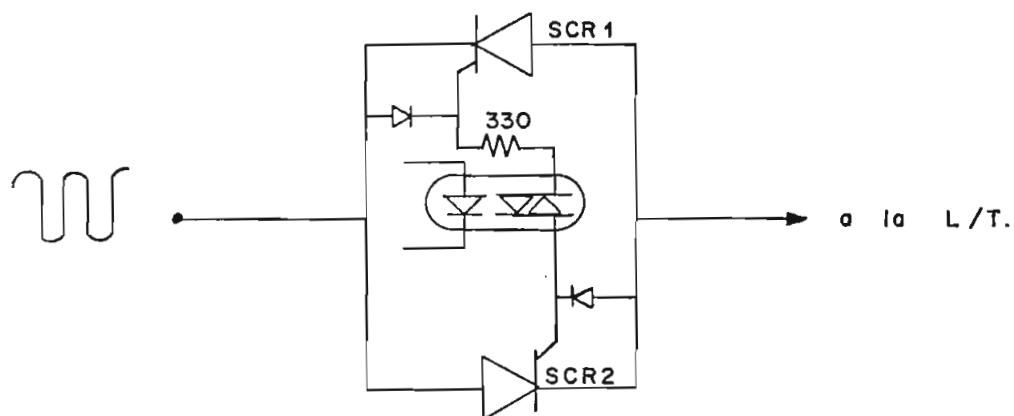


Fig. A.3. Conexión de la interfase con los SCR's

En la Fig. A.4. se observa el conjunto que representa la parte del control del sistema implementado.

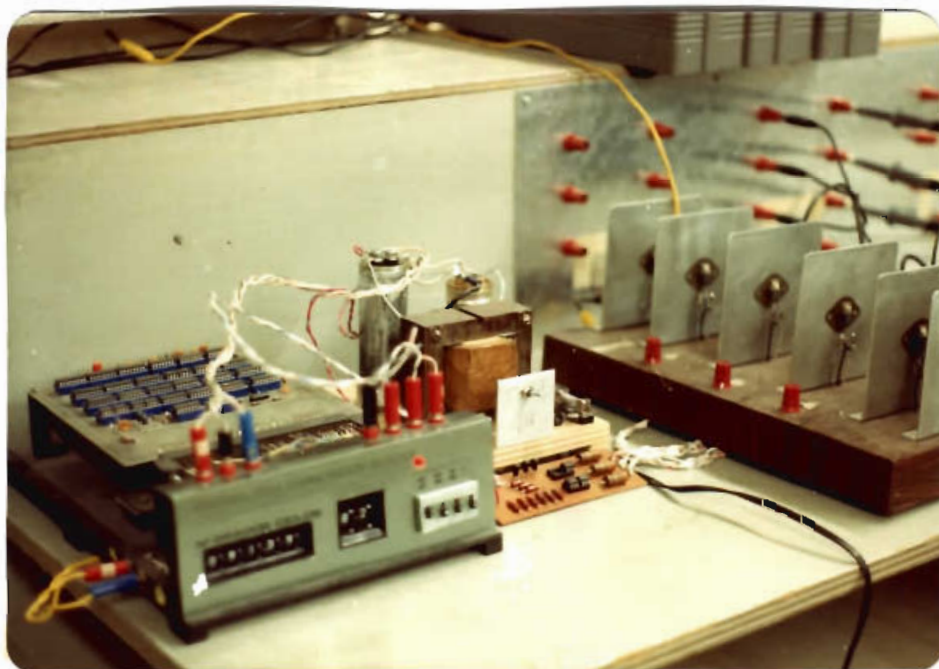


Fig. A.4. Sistema de control utilizado

5. CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL
CIRCUITO DE INTERFASE

CANT.	ELEMENTO	VALOR	ESPECIFICACION
6	Resistencia	4.7K	0.5W
3	Resistencia	680	0.5W
3	Resistencia	330	0.5W
3	Transistor		TCG90
3	Opto-aclopador		SG3048
6	Diodo	1A-1000V	1N4151
6	Tiristor (SCR)		IR122D1

A P E N D I C E B

PROGRAMA DIGITAL

Para la evaluación de los resultados en dominio de frecuencia, se hizo uso de un programa implementado en el computador TEKTRONIX 4051 de la Facultad de Ingeniería-Eléctrica, al que se le añadió un subprograma denominado "LCASTELO/INDAT" en el que se almacenaron todos los datos que en forma de oscilogramas se ingresaban a través del plotter.

El programa que transformaba los datos ingresados a dominio de frecuencia se denominó "LCASTELO/EVTRANSF" De éste se obtuvieron los espectros de frecuencia presentados.

Las variables que se definieron, a fin de establecer las coordenadas de los datos ingresados, eran las siguientes:

- Para voltajes:

$$X_{\min} = 0$$

$$Y_{\min} = 0$$

$$X_{\max} = 20E-3$$

$$Y_{\max} = 2.5$$

- Para corrientes:

$$X_{\min} = 0$$

$$Y_{\min} = 0$$

$$X_{\max} = 20E-3$$

$$Y_{\max} = 1.2$$

A continuación se presenta la secuencia que se debería seguir, en caso de requerirse del programa descrito.

1. Prender el computador y las unidades de disco.
2. Colocar el disco conteniendo el programa en una de las unidades.
3. Inicializar el reloj desde el teclado:

```
CALL"SETTIM", "DD-MMM-AA HH:MM:SS"
RETURN
```

donde: DD: fecha

MMM: mes (iniciales en inglés)

AA: año

HH: hora

MM: minutos

SS: segundos

4. Montar el disco en el sistema

```
CALL" MOUNT",N,A$  
RETURN
```

donde: N: # de la unidad en la que se encuentra el disco

5. UNIT N
RETURN

6. Cargue en la memoria el programa a usar:

- a) Sí va ingresar datos:

```
OLD" LCASTELO/INDAT"  
RETURN  
RUN  
RETURN
```

Luego proceda según las órdenes que aparezcan en pantalla.

- b) Sí va a evaluar los datos ingresados:

```
OLD" LCASTELO/EVTRANSF"  
RETURN  
RUN  
RETURN
```

Luego proceda según ordenes que aparezcan en pantalla.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

1. Bickford, J.P., Mullineux, N., Reed, J. R., "Computation of power system transients", IEEE, Monograph Series 18, (1976).
2. Ritchie, W.M., Irwin, T., "Limitation of transmission line energising overvoltages by resistor insertion".
3. Gavidia, C. A., "Estudio de fenómenos transitorios producidos por cortocircuitos en un modelo de línea de transmisión", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito (1981).
4. Kimbark, E. W., Legate, C.A. "Fault surge versus switching surge: A study of transient overvoltages caused by line to ground faults", IEEE Trans., vol PAS 87, - September (1968), pp 1762-69.
5. Battison, M. J., Bickford, J. P., Corcoran, J. C. W., Jackspn, R. L., Scott, M. and Ward, R. J. S., "British

investigations on the switching of long E.H.V. transmission lines", C.I.G.R.E. Report 13.02, (1970).

6. Rodas, R., "Estudio de una línea de transmisión mediante un modelo", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito (1969).
7. Villalba, J., "Control digital para conmutadores estáticos de corriente alterna", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito (1983).
8. Orbe, P., "Analysis of digital methods to calculate voltages and currents transients", Thesis of Master of Science, The Victoria University of Manchester, England, July (1976).
9. Leser, M., "Cálculo Digital de los voltajes transitorios al energizar líneas de transmisión trifásicas sin carga" Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, Quito (1982).
10. Swift, G. W., "The spectra of fault-induced transients", IEEE, Trans. vol PAS 98, May/June (1979), pp 940-947.