

nivel de la frecuencia fundamental que es un indicativo de asimetría, es decir que la carga balanceada (banco capacitivo) está alimentada por tensiones asimétricas (véase los casos 6 y 7 del capítulo 4).

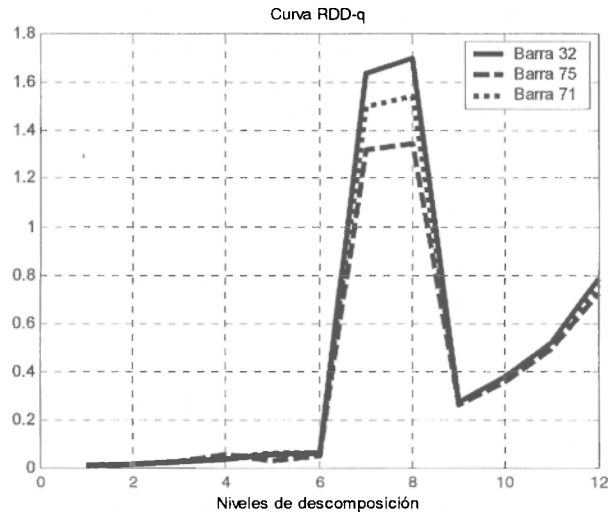


Figura 6.12: Caso 13A, relación ruido/señal, curva RDD- q vista por las barras 32, 71 y 75.

La figura 6.12 muestra la condición del banco capacitivo, su valor en los niveles 7 y 8 disminuye por la condición de alimentación asimétrica

Conclusiones:

En relación con los logros alcanzados en esta simulación se destaca que se pudo hacer una simulación del sistema IEEE de 13 barras con el programa para cálculo de transitorios electromagnéticos ATP [10]. Los resultados fueron similares a los reportados en [3], con las modificaciones que se presentan en el apéndice E. Este sistema sirve como base para comparar los siguientes dos escenarios. (La técnica pqAT lo ha caracterizado en estado estacionario).

El flujo de la potencia estacionaria en el sistema se identifica mediante la figura 6.11, donde se aprecia que la potencia en las barras 71 y 75, para el nivel 5, está saliendo del instrumento, mientras que en la barra 32 su valor es positivo.

Estos datos se pueden incorporar en el bloque sobre el conocimiento “a priori” del sistema monitoreado (figura. 3.5). Fundamentalmente, éstos son los datos previos al evento y los datos de operación y de planeamiento del sistema de distribución. Con el conocimiento de estos datos es posible comenzar la simulación de los siguientes escenarios propuestos.

En el caso de las bajas frecuencias el flujo se observa en los niveles 9 a 12 de las figuras 6.11 y 6.12, para el truncamiento efectuado se detecta como un “Apagón” o “black out”.

6.2.2 Análisis del flujo de potencia a la entrada de un puente rectificador en la barra 34

Caso 13B:

Se simuló la entrada de un puente rectificador trifásico a través de un interruptor tripolar en la barra 34 del escenario de prueba (ver figura. 6.1), este caso se denominó caso 13b. La carga tiene un inductor en el enlace de continua para suavizar la corriente de entrada, buscando reducir el contenido armónico en la corriente de línea que se toma del sistema.

Objetivos de la simulación

- Caracterizar de forma gráfica la entrada de carga en el sistema de prueba de 13 barras de IEEE.
- Caracterizar con la técnica pqAT, el comportamiento de un puente rectificador trifásico en una red de distribución (este puente trabaja en conmutación natural).
- Verificar el estado estacionario del sistema y la propagación de la potencia de perturbación según pqAT.

La potencia del sistema que se agrega en este caso es 1,5% de la potencia instalada.

Como muestra el apéndice E, el transformador del nodo tiene una potencia nominal de 500kVA. La tensión primaria es 4,16kV (lado de alta tensión) con conexión en estrella, con el neutro puesto a tierra. La tensión secundaria es 0,48kV (lado de baja tensión) con conexión en estrella y puesto a tierra el neutro.

Se realizó la simulación despreciando la saturación en el transformador. Algunos resultados parciales se muestran en la figura 6.13.

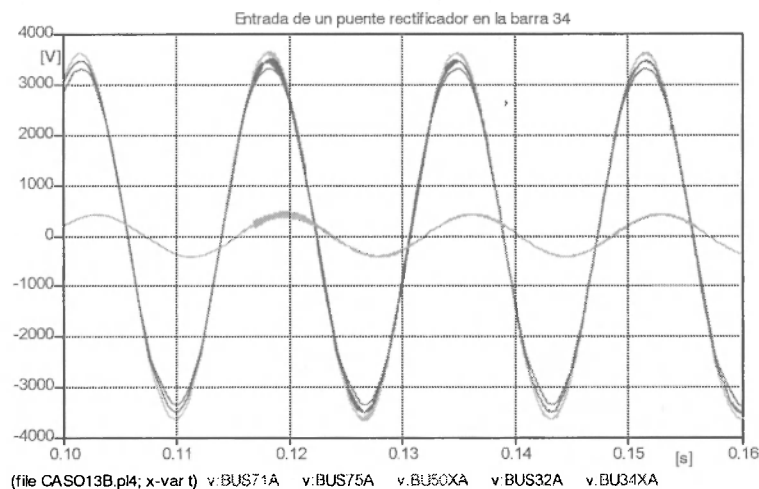


Figura 6.13: Caso 13B, tensiones de la fase a, vistas por las barras 32, 34, 71 y 75.

La tensión en el lado primario experimenta un cambio tenue (color marrón variable v:BUS32A) en comparación con el resultado del cambio observado en el secundario del transformador (variable v:BU34XA) en color gris. El comportamiento para las barras 71 y 75 resultó similar.

La figura 6.14 muestra el comportamiento de las corrientes en las barras. En ellas no se experimenta un cambio apreciable debido a la capacidad de cortocircuito (o sea, en virtud de la relación X/R que tiene cada punto de medida).

Para el tipo de carga indicado en [12], la entrada en servicio no presenta problemas si es: $S_{CC}/S_{carga} > 30$.

En la figura 6.15 se muestra la tensión en el lado de corriente continua del puente rectificador, mientras que la figura 6.16 muestra la corriente de fase tomada de la red.

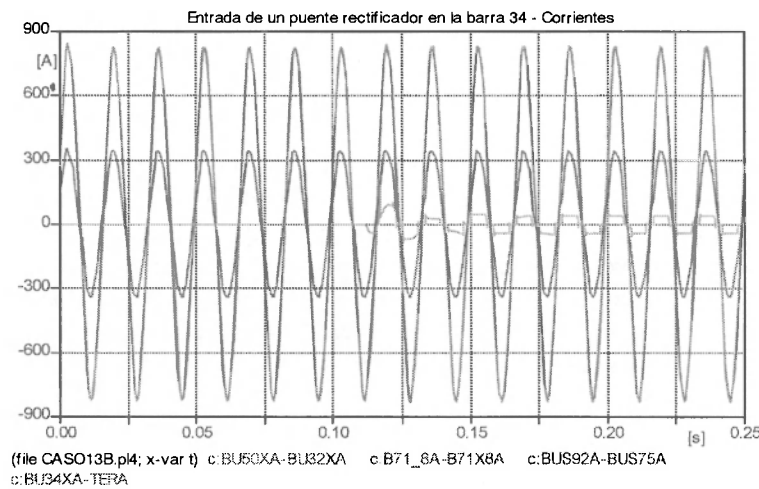


Figura 6.14: Caso 13B, corrientes de la fase a, vistas a la entrada de las barras 32, 34, 71 (último tramo) y 75.

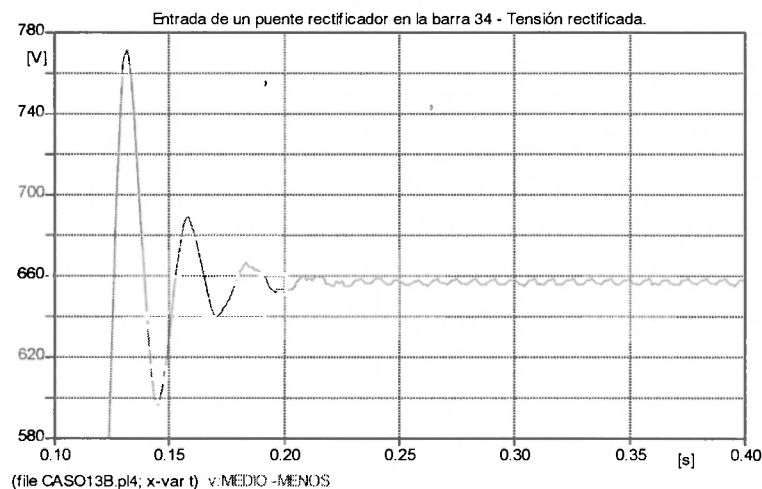


Figura 6.15: Caso 13B, tensión en el lado c.c. del puente rectificador que se energiza en la barra 34.

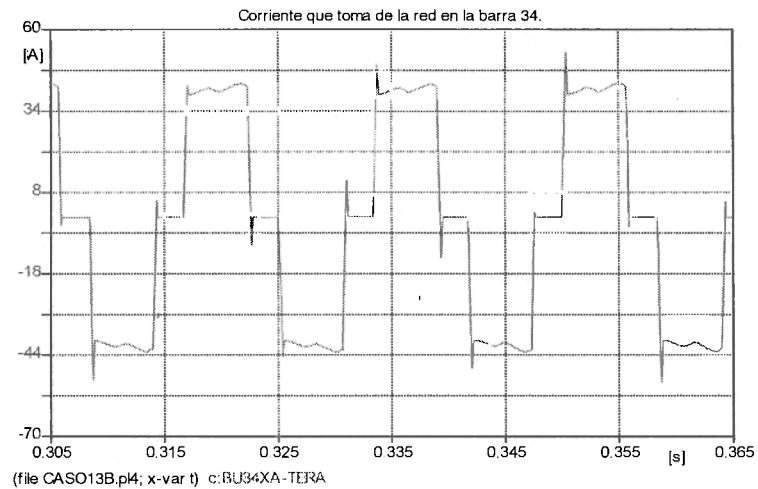


Figura 6.16: Caso 13B, corrientes de la fase a. Corriente que toma de la línea el puente rectificador en la barra 34.

Como muestran las figuras 6.14 a 6.16, la operación de los interruptores se repite seis veces por ciclo y esto se refleja en los impulsos de corriente detallados en la figura 6.16. Se muestra muy robusta la conexión en el nodo 34 del sistema. Cuando entra la carga, el primario del transformador percibe muy poca incidencia (prácticamente despreciable). Obsérvese el intervalo 0,10 – 0,15 s en la figura 6.15, comparando lo que se ve reflejado de este evento en la figura 6.14. Sería muy difícil para un observador detectar la operación de energización solamente con el registro temporal tomado en los nodos lejanos o incluso en el primario del transformador.

Técnica pqAT aplicada al caso 13B:

Modulo de determinación de las potencias real e imaginaria:

En las figuras 6.17 y 6.18 se visualiza el momento de conexión del puente rectificador que ocasiona una leve deformación en las potencias real e imaginarias de los nodos bajo observación.

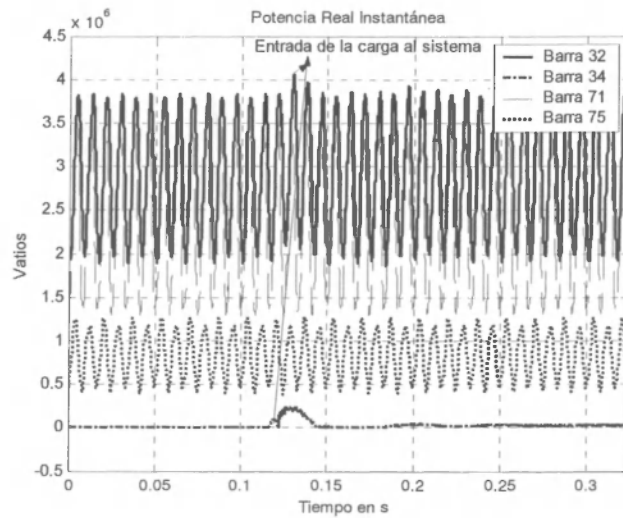


Figura 6.17: Caso 13B, potencia real instantánea, vistas al entrar en las barras 32, 34, 71 y 75.

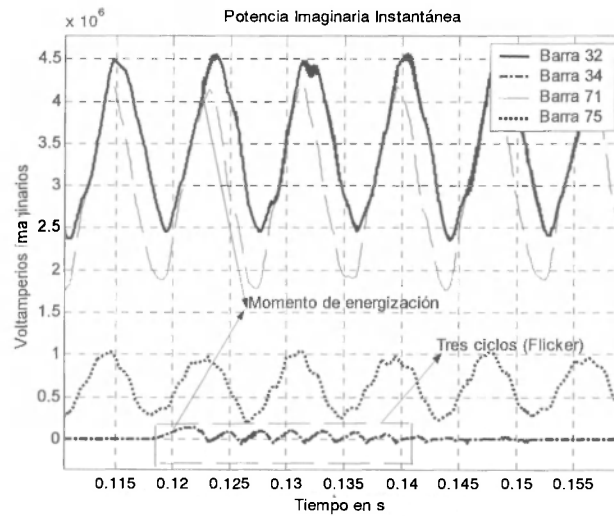


Figura 6.18: Caso 13B, potencia imaginaria instantánea, vistas al entrar en las barras 32, 34, 71 y 75.

Esta deformación presenta un evento de baja frecuencia como bien se puede apreciar en la figura 6.17.

Modulo de determinación de las potencias activa y reactiva:

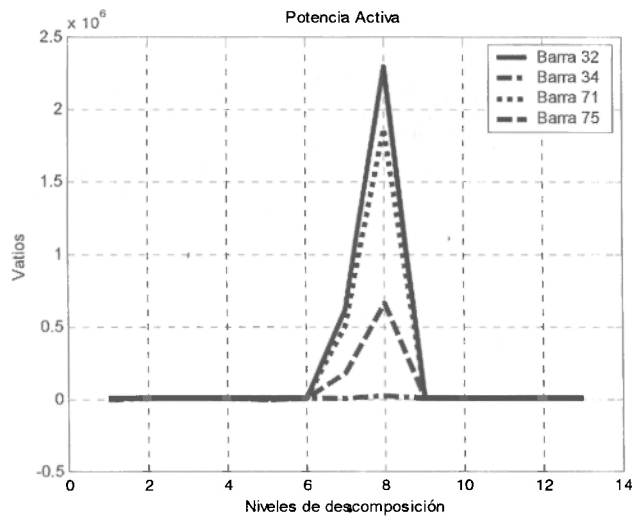


Figura 6.19: Caso 13B, potencia activa, vista en las barras 32, 34, 71 y 75.

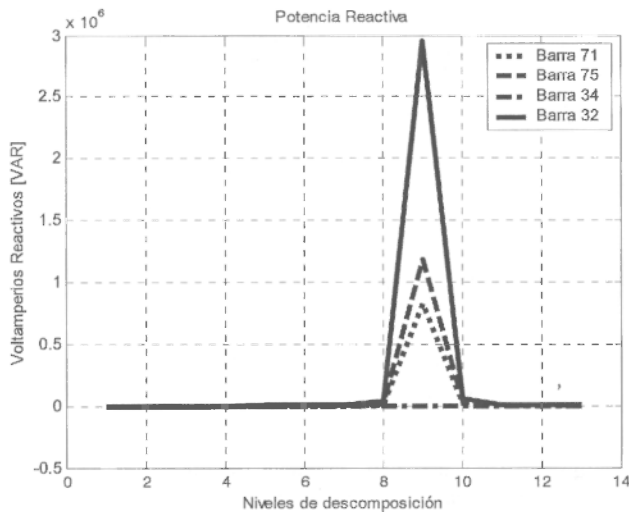


Figura 6.20: Caso 13B, potencia reactiva, vista en las barras 32, 34, 71 y 75.

La relación de la potencia del sistema que se energiza con respecto a la potencia del nodo 32 (figuras 6.19 y 6.20) está por encima de 30 veces. Por ello tiene muy poca incidencia el momento de conexión de la carga, con respecto a las propagaciones en la red. Al medir la desviación estándar con el bloque de pqAT se arriba a la misma conclusión.

Modulo de determinación de la potencia de deformación, curvas std-p y std-q:

Observando las figuras 6.21 y 6.22 no hay criterio de discriminación.

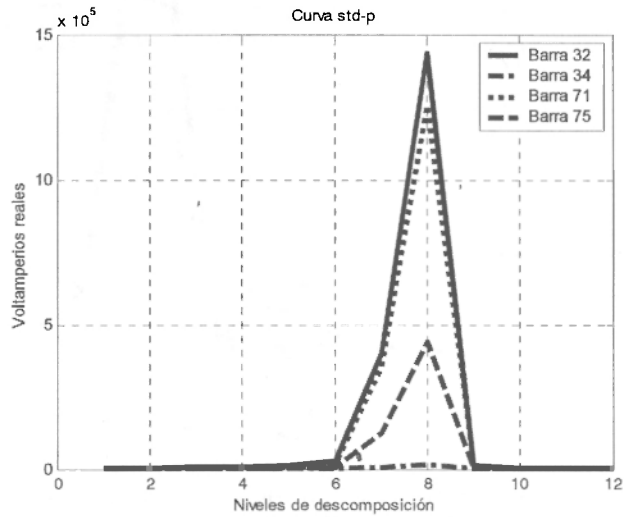


Figura 6.21: Caso 13B, desviación estándar de los coeficientes de la potencia real instantánea, curva std-p vista en las barras 32, 34, 71 y 75.

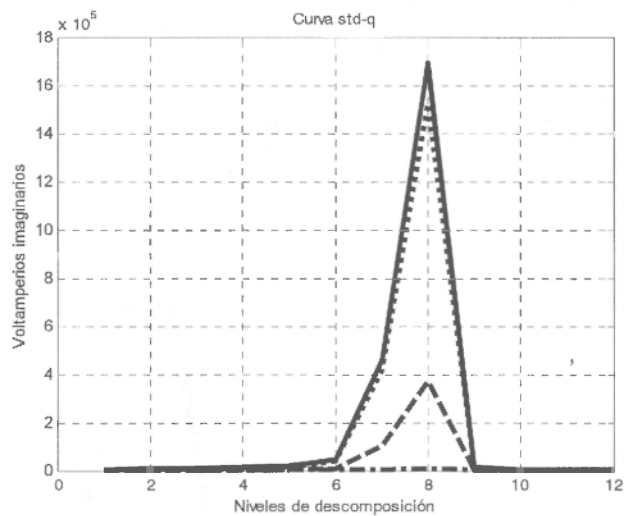


Figura 6.22: Caso 13B, desviación estándar de los coeficientes de la potencia imaginaria instantánea, curva std-q vista en las barras 32, 34, 71 y 75.

Las curvas de desviación de los coeficientes muestran esta tendencia. No permiten discriminar sobre el evento. Se mantiene lejos al sistema de un evento de inestabilidad de tensión, con la entrada de una carga tan pequeña.

Modulo de determinación de la curva de relación ruido/señal RDD:

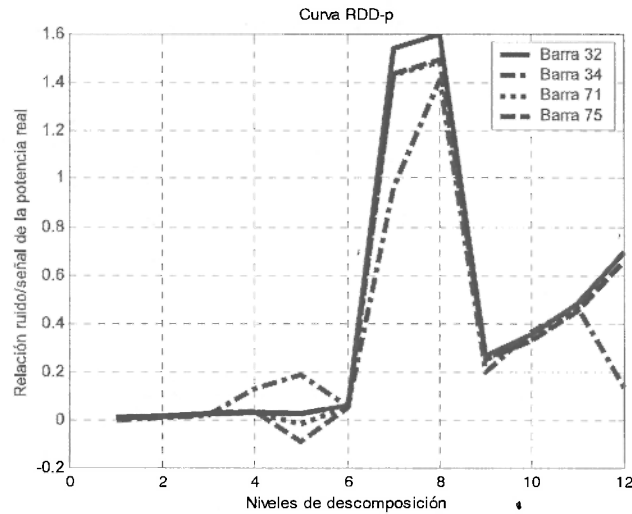


Figura 6.23: Caso 13B, relación ruido/señal, curva RDD- p vista por las barras 32, 71 y 75.

Una característica del desbalance se observa en la disminución del valor que tomota la curva de la figura 6.23 en los niveles 7 y 8. Esto se puede ver en las barras 71 y 75. (El ejemplo se incluye con el fin de mostrar la diferencia entre carga balanceada y tensión asimétrica, tal como se reportó en los casos de simulación 5, 6 y 7).

La perturbación negativa en el nivel cinco es un indicativo de armónicos emitidos por las barras 71 y 75. Por parte de la barra 34, estas componentes armónicas se reciben y por ello se ve positivo el signo.

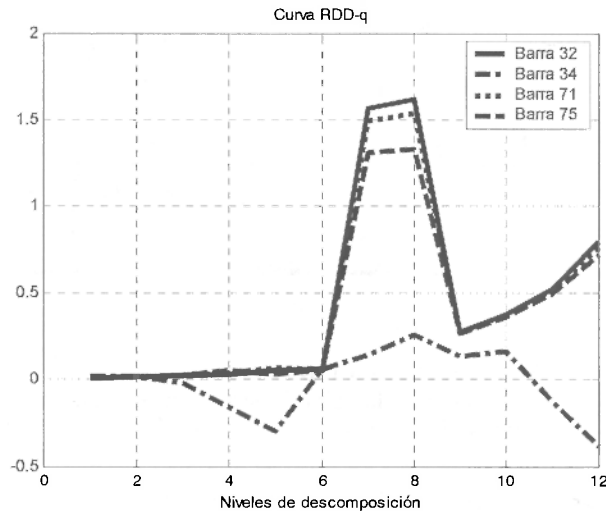


Figura 6.24: Caso 13B, relación ruido/señal, curva RDD- q vista por las barras 32, 34, 71 y 75.

Las desviaciones presentes en los extremos denotan el estado de energización para el caso del primer nivel y el estado de “desenergización virtual” o el “black out” que se produce al finalizar la simulación a los 2 segundos. Las barras en las curvas RDD-p presentan un comportamiento similar. Para el caso de la curva RDD-q en la figura 6.24, se puede apreciar la presencia de desviación en la barras 34 de los niveles 5 y 12, donde hay un cambio de sentido en el flujo. El puente rectificador en la barra 34 produce una perturbación de distorsión y reacomodamiento energético niveles 5 y 11 y 12.

Conclusiones:

En esta simulación se hizo un evento de energización de carga en la entrada del puente rectificador de la barra 34. Los resultados muestran robusto al sistema frente al evento entrante del nodo 34.

La entrada del sistema caracteriza un cambio apreciable en la desviación de los niveles 11 y 12 de las barras medidas.

Se ve que el puente rectificador afecta en frecuencias altas y bajas, en el momento de la entrada a la red. Como se ve en la figura 6.24, los niveles 5 y 12 son negativos y esto indica que es la fuente de la perturbación.

Las cargas balanceadas presentan una desviación pequeña en el nivel 8 como se ve en la figura 6.24.

6.2.3 Fallas simultáneas fase - tierra en la barra 92 y 45 - Caso 13C:

Se simuló fallas simultáneas monofásicas: una en la fase a de la barra 92 y otra en la fase b de la barra 45 (este caso se denominó caso 13C). La resistencia de falla para las dos fallas es de $0,5 \Omega$.

Objetivos de la simulación

- Caracterizar de forma gráfica fluctuaciones aperiódicas de la tensión en el escenario de 13 barras de IEEE.
- Caracterizar con la técnica pqAT, el comportamiento de las fallas asimétricas en una red de distribución.
- Verificar el estado transitorio del sistema y la propagación de la potencia de perturbación según pqAT en el evento de falla simultánea.

Cuando se presenta el fallo los registros de tensión en la fase a de las barras 32, 71 y 75 se ven en la figura 6.25.

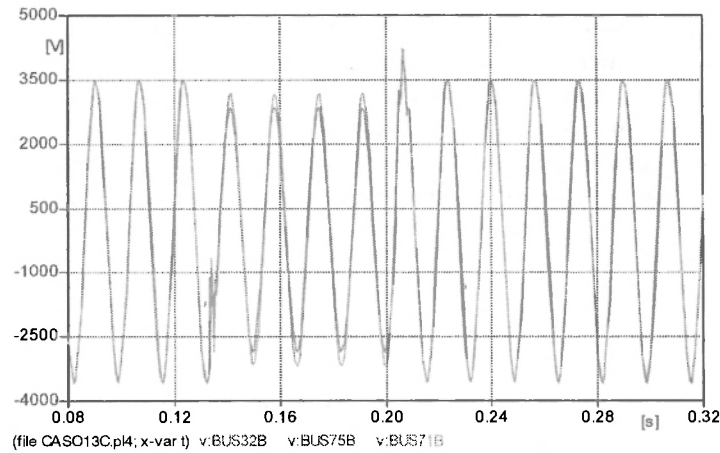


Figura 6.25: Caso 13C, tensiones de la fase a en las barras 32, 71 y 75.

Como se puede observar, el despeje de la falla ocurre durante el quinto ciclo del evento (a 108ms).

La fluctuación presenta dos amplitudes diferentes, la barra 75 y 71 presentan el mismo valor, la amplitud en la fase a de la barra 32 es más pequeña.

Técnica pqAT aplicada al caso 13C:

Modulo de determinación de las potencias real e imaginaria:

Como se observa en la figura 6.26 y 6.27 el momento de falla y despeje ocasiona una importante interacción en las potencia instantáneas, el cambio abrupto se sostiene durante la permanencia de la falla y luego de su despeje vuelve al estado normal.

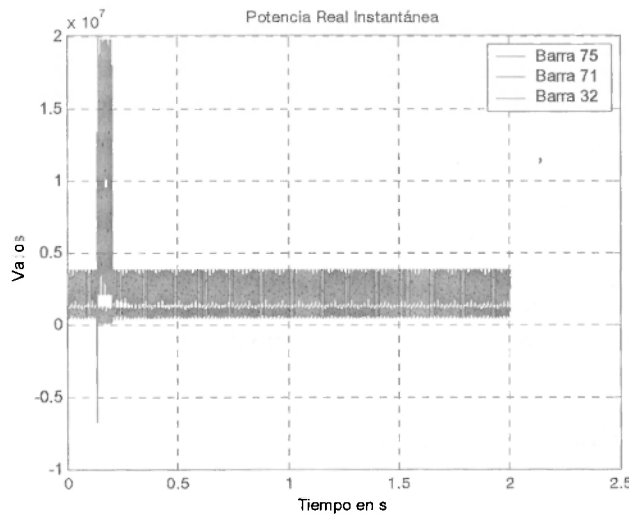


Figura 6.26: Caso 13C, potencia real instantánea en las barras 32, 71 y 75.

La potencia real conservó su signo durante el evento. Sin embargo, debido al estado de almacenamiento del banco capacitivo, el nodo 75 sufre un cambio abrupto del sentido del flujo.

La figura 6.27 es más clara en la ilustración de esta fluctuación. Ella presenta dos características primordiales: la primera es la potencia fluctuante que se presenta por el desbalance de la falla, donde su contenido energético se ve en dos escalas, la frecuencia fundamental y el doble de ella (7 y 8). La segunda, es la fluctuación aperiódica (que depende del tiempo de despeje de la falla) viéndose como un evento de muy baja frecuencia.

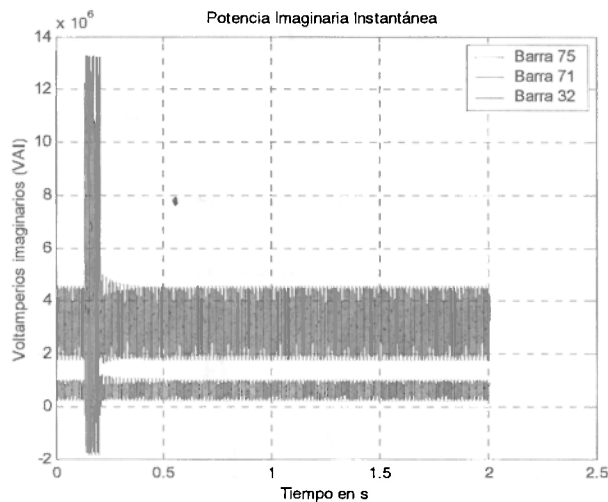


Figura 6.27: Caso 13C, potencia imaginaria instantánea en las barras 32, 71 y 75.

Modulo de determinación de las potencias Activa y Reactiva:

Las potencias activa y reactiva se ven en las figuras 6.28 y 6.29, el incremento que sufren las potencia en relación al caso 13A es del 10% (en estado estacionario).

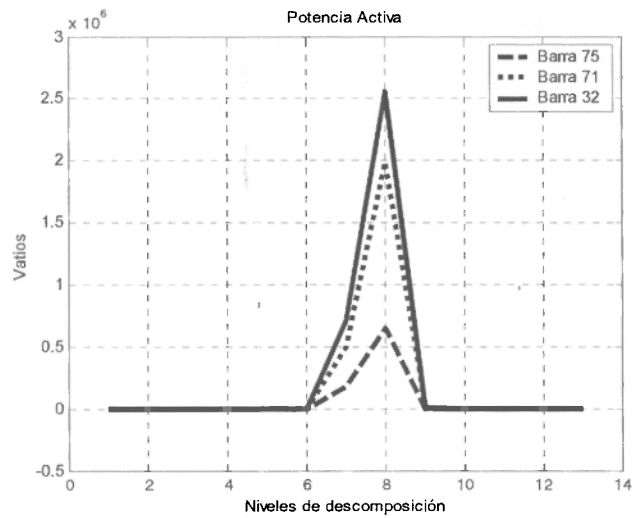


Figura 6.28: Caso 13C, potencia activa en las barras 32, 71 y 75.

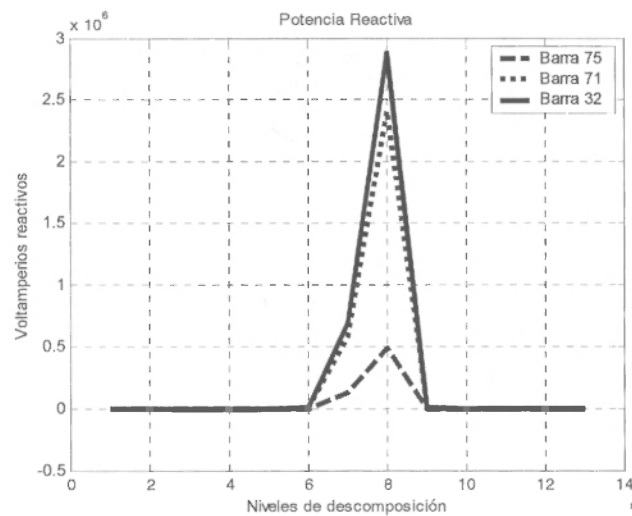


Figura 6.29: Caso 13C, potencia reactiva en las barras 32, 71 y 75.

Módulo de determinación de la potencia de deformación, curvas $std-p$ y $std-q$:

Observando las figuras 6.30 y 6.31 no surge un criterio de discriminación (si lo que se pretende es ver alguna diferencia entre los dos tipos de fallas).

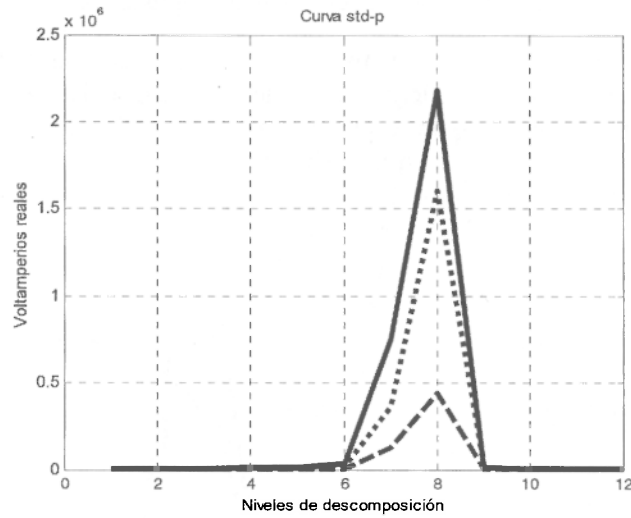


Figura 6.30: Caso 13C, desviación estándar de los coeficientes de la potencia real instantánea, curva std-p vista en las barras 32, 71 y 75.

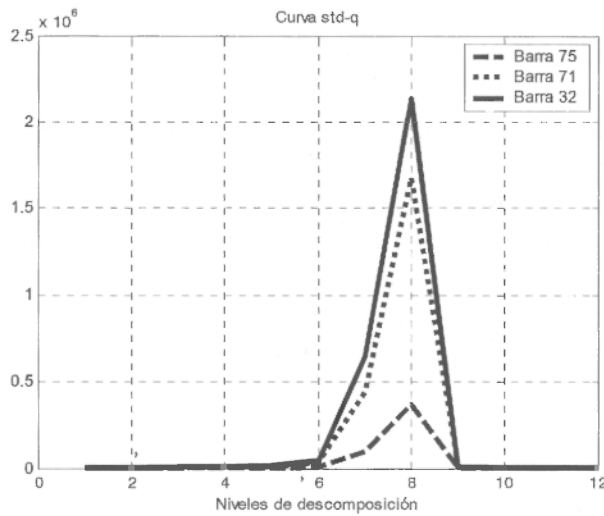


Figura 6.31: Caso 13C, desviación estándar de los coeficientes de la potencia imaginaria instantánea, curva std-q vista en las barras 32, 71 y 75.

El mayor desbalance lo experimenta la barra 32, en ella se ven las dos fallas. La barra 71 sufre parte del evento. La barra menos afectada es la barra 75.

No se puede discriminar con la información de las curvas std-p y std-q en relación a la falla, solamente se observa el desbalance.

Modulo de determinación de la curva de relación ruido/señal RDD:

Para la figura 6.32 el banco capacitivo (barra 75) en presencia de falla procura suplir parte del nivel de tensión que se pierde en el sistema, su capacidad no resulta suficiente y por ello pierde un poco en relación con la presencia de la falla (tiene el mismo valor de la barras 71 en el nivel 7). La barra en falla (barra 71) disminuye su valor en el nivel 8, en comparación con el valor del banco capacitivo.

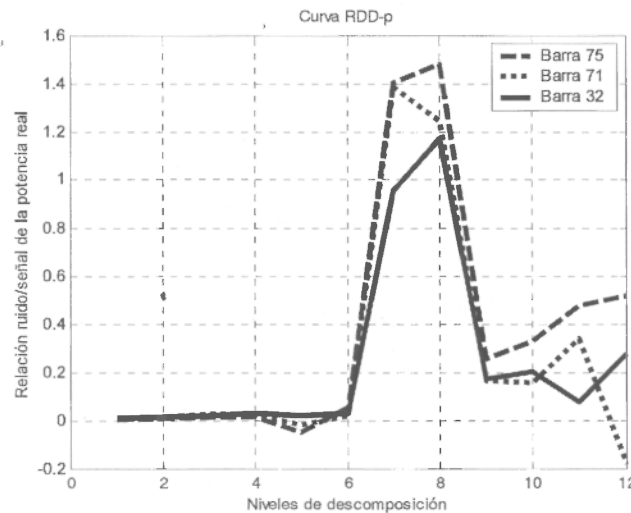


Figura 6.32: Caso 13C, relación ruido/señal, curva RDD-p vista por las barras 32, 71 y 75.

El factor discriminante se observa en los últimos niveles de reconstrucción de la figura 6.32, particularmente hay una caída del flujo de la barra 32 (comparando con el de la barra 71).

La pendiente entre el paso del nivel 7 al nivel 8 para la barra 32 es positiva, para la barra 71 negativa, el banco capacitivo ubicado en la barra 75 tiende a mantenerlo constante.

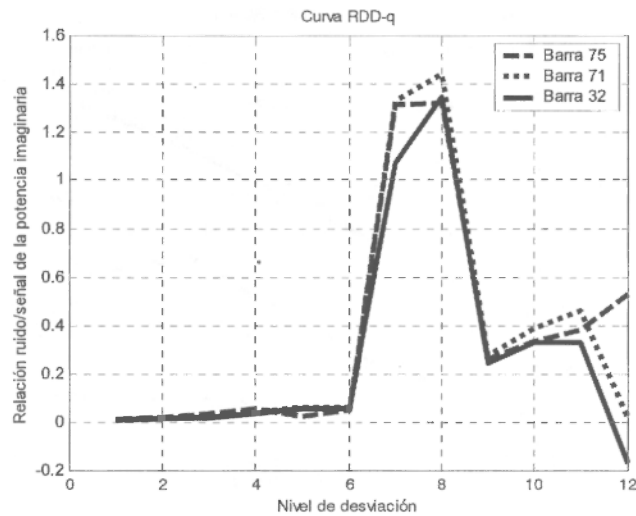


Figura 6.33: Caso 13C, Relación ruido/señal, curva RDD-q vista por las barras 32, 71 y 75.

Los valores de la figura 6.33 están más normalizados, siendo por consiguiente la curva RDD-p más discriminante para eventos de fallas simultáneas dada la presencia de dos sentidos diferentes en la pendiente de transición del nivel 7 al 8. Esta transición indica el desbalance del fenómeno y así también, el sentido contrario en los niveles 11 y 12 caracteriza el flujo a bajas frecuencias. Es decir, que la curva RDD-p está indicando la fluctuación de tensión producida por el evento para las dos barras afectadas.

A continuación se presentan los resultados de aplicar la técnica a las barras 32, 71 y 75 visualizando las frecuencias de los primeros niveles. Aunque la variación es leve, cuando ocurren las dos fallas simultáneas fase a tierra, hay un efecto de onda viajera de frente lento. Es importante destacar que la distancia entre la falla 1 (barra 45) y la barra 32 es similar a la distancia entre la falla 2 (barra 92) y la barra 32. Por este motivo, la figura. 6.34 muestra que estas fallas fueron detectadas en las barras 71 y 75 con mayor facilidad debido a la diferencia entre la frecuencia natural del sistema en cada barra de ocurrencia de la falla respecto de la barra en que se la observa.

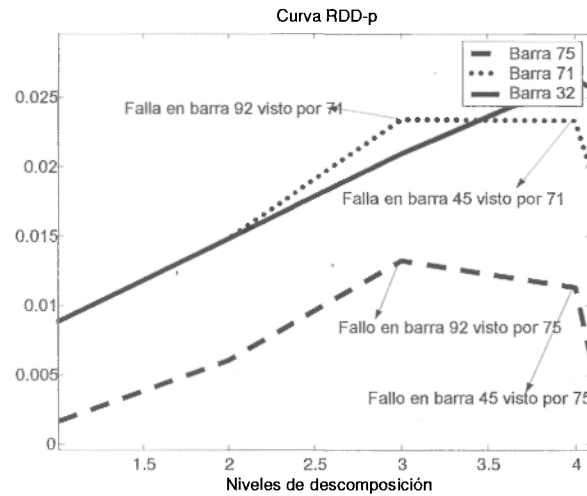


Figura 6.34: Caso 13C, Relación ruido/señal, curva RDD-p vista por las barras 32, 71 y 75, detalle en los niveles 1-4.

La frecuencia característica de cada falla está determinada por los parámetros geométricos de las líneas y cables, con lo cual aparecerán dos frecuencias de oscilación (los modos naturales de oscilación correspondientes a cada falla).

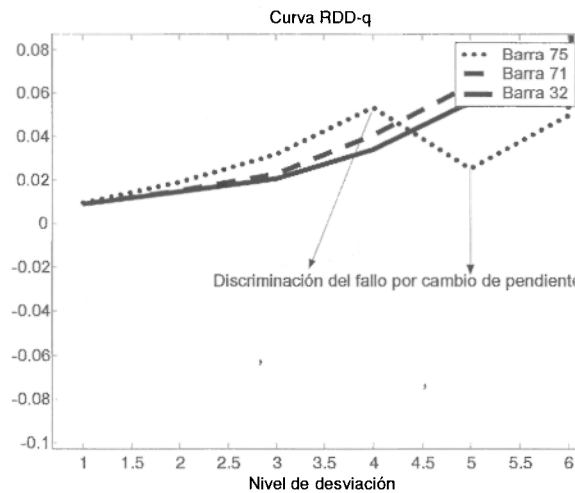


Figura 6.35: Caso 13C, Relación ruido/señal, curva RDD-q vista por las barras 32, 71 y 75, detalle en los niveles 1-6.

Obsérvese la figura 6.35 en ella se muestra la falla 1 que es detectada por el instrumento de la barra 75 en el nivel 4. La falla 2 se detecta en el nivel 5 para el instrumento de la barra 71 y en el nivel 5 para el instrumento de la barra 75. En casos normales el nivel era negativo y aquí se observa una compensación del armónico que se inyektaba debido al evento transitorio.

Además, la barra 32 no es un buen elemento para observar la simultaneidad de las fallas. Adicionalmente, el incremento de la potencia en la barra 32 se reportó en las figuras 6.28 y 6.29.

Conclusiones del caso simulado:

Se logró caracterizar de forma gráfica fluctuaciones aperiódicas de la tensión con las curvas RDD en el escenario de 13 barras de IEEE, éstas se presentan en los niveles 7 al 12, con cambios en las pendientes de transición. Cuando es positivo el paso del nivel siete al ocho en la curva RDD-p, esto se debe interpretar como una consecuencia del desbalance de la falla que origina una alimentación asimétrica (caso de la barra 75 en la figura 6.32). Sin embargo, al ser negativo el nivel (como en la barra 71 de la figura 6.32) esto indica que hay una falla desbalanceada.

La potencia fluctuante se presenta con el doble de la frecuencia del sistema [11].

Las curvas RDD-p y RDD-q de las figuras 6.32 y 6.33, muestran una desviación en los niveles de orden superior. El comportamiento de las fallas asimétricas presenta frecuencias inherentes a la frecuencia natural de cada tramo [13].

Se verifica que el estado transitorio del sistema se detecta mediante la observación de las curvas en los niveles superiores.

6.3 Conclusiones:

El análisis del sistema de 13 barras de IEEE, ha servido satisfactoriamente como prueba para la teoría de potencia instantánea en el marco de la transformada ondita y muestra que es una teoría suficientemente general, que posibilita el análisis en condiciones de distorsión, desbalance y transitorios. Este análisis se focaliza en las curvas de relación ruido/señal: RDD-p y RDD-q. La figura 6.36 y 6.37 hace una superposición de los casos para las barras 71 y 32.

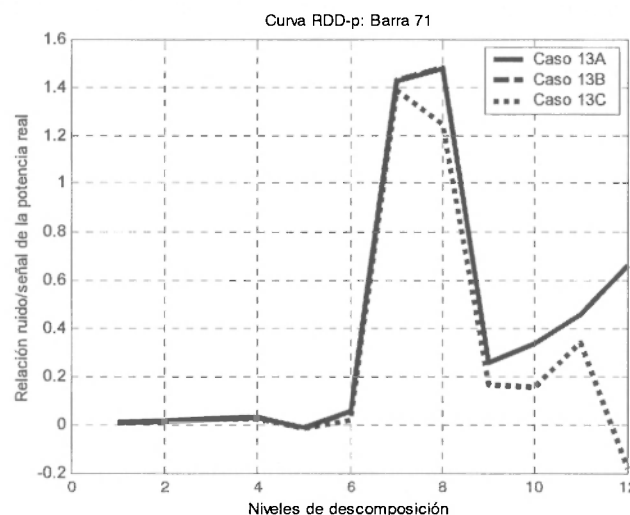


Figura 6.36: Superposición de los casos simulados, relación ruido/señal, curva RDD-p en la barra 71.

Con el análisis de multirresolución se extrae información clave del sistema y se pueden establecer curvas de calidad para la señal analizada. La curva de la relación ruido/señal de la potencia real instantánea resulta un indicador gráfico de gran utilidad para detección y localización.

Los resultados de la figura 6.37 muestran que la técnica de análisis de la potencia instantánea utilizando la transformada ondita es capaz de determinar el sentido del flujo de la perturbación en un sistema de distribución radial.

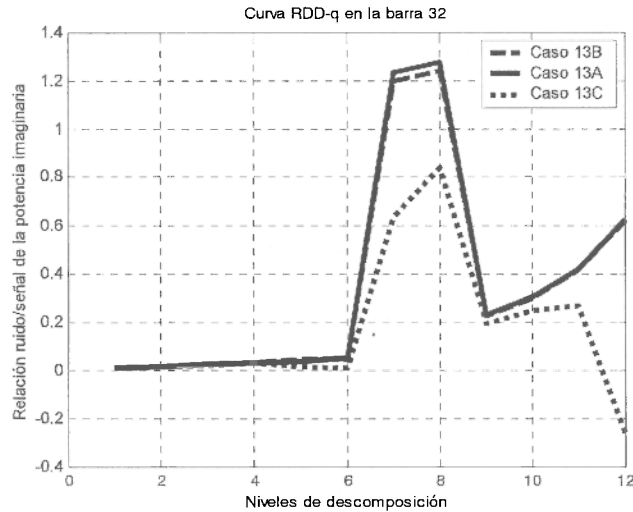


Figura 6.37: Superposición de los casos simulados, relación ruido/señal, curva RDD-q vista por la barra 32.

En virtud de esta capacidad, la técnica puede ser útil en la detección de fallas simultáneas, pues ellas tienen una frecuencia natural que depende de la ubicación de la falla en la red. La descomposición en niveles o bandas de frecuencia muestra la frecuencia de falla centrada en ellas de acuerdo a su naturaleza y ubicación.

Así se concluye que las fallas son las principales responsables de las fluctuaciones aperiódicas de tensión y en este capítulo se caracterizó este fenómeno, asociándolo con los últimos niveles de la curva RDD-p y RDD-q, tal como se pudo constatar en las figuras 6.36 y 6.37.

CAPÍTULO 7:

RESULTADOS EXPERIMENTALES, ESTRUCTURAS DE LA ELECTRÓNICA DE POTENCIA Y CABLES

RESUMEN

Los resultados que a continuación se presentan se han obtenido al utilizar la técnica propuesta en una serie de montajes experimentales. Los desarrollos de las experiencias se dividen en tres partes: Primero se presenta la evaluación de la calidad de la potencia sobre un puente trifásico en diferentes estados de carga. Segundo, se presenta la evaluación sobre un sistema conformado por un variador de velocidad, un cable de 180m de longitud y un motor y luego se presenta el montaje con un cable de estructura diferente y una longitud de 220m. Utilizando los resultados se ha verificado que los sistemas operando en alta, media y baja frecuencia pueden ser evaluados conjuntamente con esta técnica.

CAPÍTULO 7:

Resultados Experimentales, estructuras de la electrónica de potencia y cables

7.1 INTRODUCCIÓN

Los resultados experimentales que a continuación se presentan se han realizado en dos etapas. La primera entre los meses de Agosto del 2001 y Junio del 2002. Donde se realizaron las primeras evaluaciones de la técnica pqAT en el Laboratorio de Control de Accionamientos Tracción y Potencia (LABCATYP), dependiente del Departamento de Electrónica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires en la República Argentina.

La segunda en los meses de Mayo y Junio del 2006 en el laboratorio de Calidad de la Energía, dependiente del Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

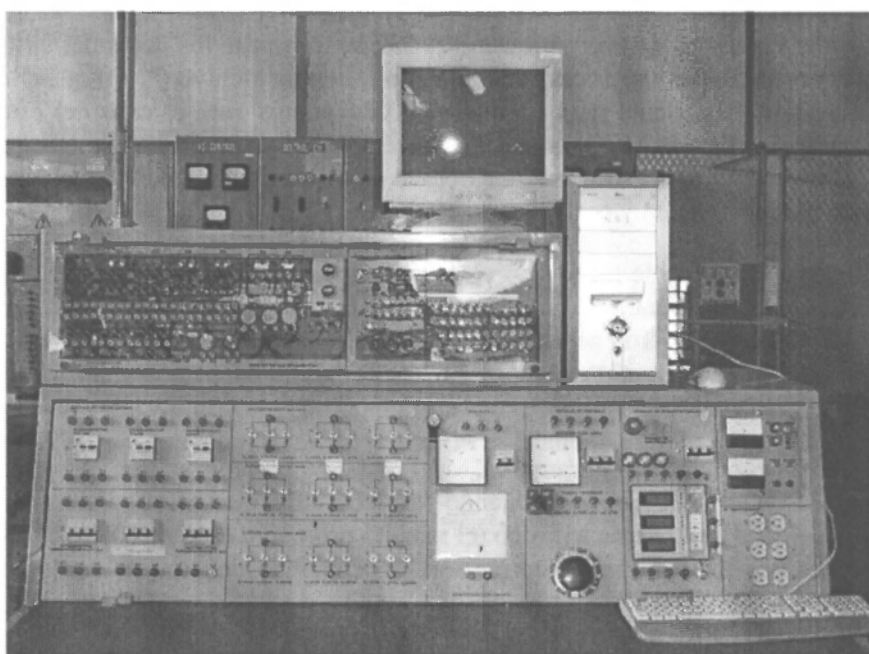


Figura 7.1: Mesa de Trabajo en el laboratorio de Calidad de la Energía- UNC.

En esas oportunidades se han evaluado diversos ejemplos de circuitos operando con dos frecuencias de red (50Hz para el caso argentino y de 60Hz para el caso colombiano) con el fin de poder comprobar el comportamiento de la técnica pqAT empleada para valorar la calidad de la energía.

7.2 MONTAJES REALIZADOS EN L'ABCAT.YP:

En esta sección se muestra la evaluación de la técnica pqAT en estado estacionario para cargas electrónicas típicas. Los ensayos se han realizado sobre los tipos de topología mostrados en las tablas 7.1 y 7.6 para los casos monofásico y trifásico respectivamente.

Además, se mide la potencia suministrada por un variador de velocidad conectado al motor mediante un cable de gran longitud (180m).

El objetivo de las mediciones realizadas es mostrar la caracterización de las armónicas, el desbalance y el “flicker” producido por los sistemas bajo evaluación.

Asimismo, se muestra que el sentido del flujo de la potencia real instantánea identifica el lugar donde ocurrió la falla (adelante o atrás del instrumento).

7.2.1 Metodología Empleada:

Los ensayos se registraron en un osciloscopio Fluke 43(analizador de calidad de la potencia monofásico) y con un osciloscopio Hameg 507 de dos canales. Con los dos instrumentos y a través de una conexión RS 232 se transmite los datos del ensayo a un ordenador personal que los procesa dando como salida un archivo (*.txt) que contiene la tabla de tensión y corriente (con un total de 1024 puntos para el caso del Fluke 43 y 4096 para el caso del HAMEG), almacenándose 1Mbyte de memoria como máximo. La figura 7-2 ilustra sobre la estructura del archivo de salida conteniendo tres columnas con la tabla de tiempo, tensión y corriente, en ese orden.

El archivo así obtenido luego se procesa utilizando la plataforma MATLAB [4] para hacer un preprocesamiento de la señal. Como el sistema analizado está en estado estacionario, el cero se tomó con la señal V_R (tensión de la fase R) y se miden las otras variables en el canal B, obteniéndose así, cinco archivos para ser utilizados como valores de entrada para pqAT.

Una vez ejecutado el programa en MATLAB, se obtiene un nuevo archivo cuya extensión es de 450 kbytes, conteniendo las tablas de tiempo, tensiones de fase y corrientes del fase del sistema trifásico (el tamaño promedio es de [2500 x 7]). Además, se multiplica por los factores de corrección, dependiendo del tipo de sensor utilizado para captar la señal.

Finalmente, estos resultados son interpretados por el sistema pqAT que entrega 12 figuras y cuatro tablas con los valores del método de cálculo de la potencia eléctrica en el marco de la transformada ondita.

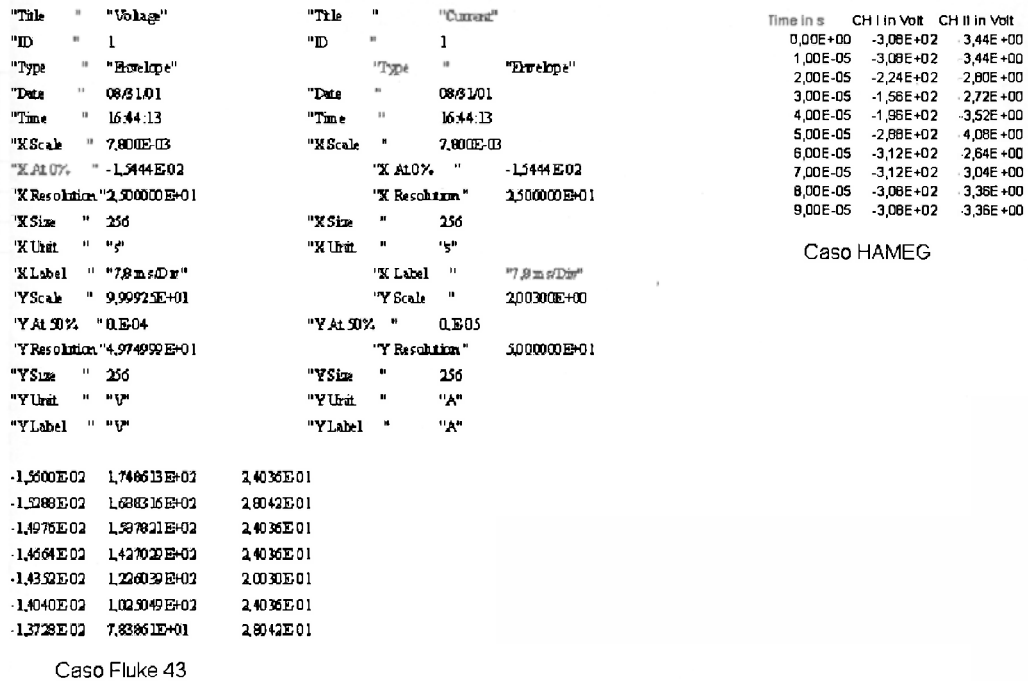


Figura 7.2: Archivos que arrojan los osciloscopio empleados.

7.2.2 Análisis del sistema monofásico

El montaje del sistema monofásico se muestra en la figura. 7.3 en ella se ve la fuente de alimentación, un autotransformador con tensión de salida variable, dos inductores en serie, un puente rectificador, un capacitor para mejorar el rizado en el lado de continua y una carga resistiva. El punto de instrumentación es señalado con la letra M. Con estos componentes se hicieron varios montajes descritos en la tabla 7.1.

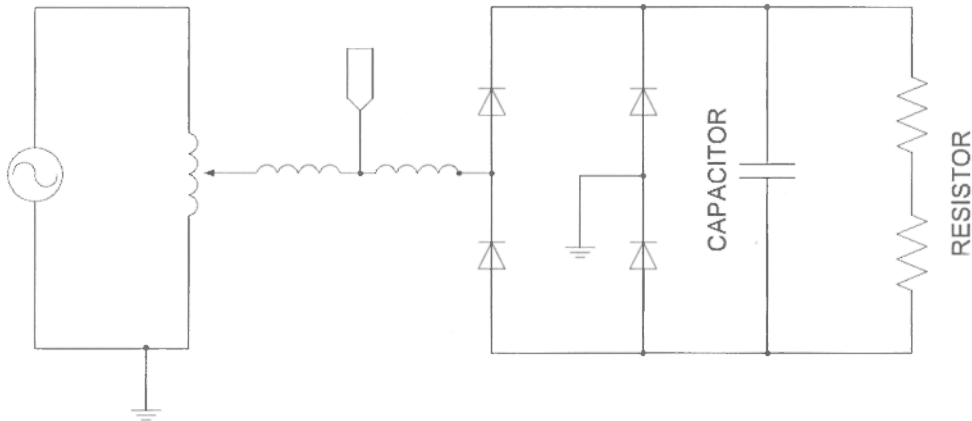


Figura 7.3: Montaje monofásico

Tabla 7.1: Topologías circuitales del sistema

Tipo de topología (Caso)	Presencia del Inductor	Presencia del Capacitor	Fuente con Tensión a la salida variable	Carga resistiva
1	No.	No.	No.	Si.
2	No.	c.c.	No.	Si.
3	c.a	c.c.	Si.	Si.

El objetivo primordial de esta primera prueba fue comparar la potencia medida por el instrumento de referencia [1-3] con la potencia calculada aplicando el algoritmo de multirresolución y el error es calculado como : $(\text{Potencia según pqAT} - \text{Potencia Medida}) / \text{Potencia Medida}$. Los resultados obtenidos para la potencia activa fundamental y activa poliarmónica se muestran en la tabla 7.2.

Los cálculos realizados por el Fluke 43, se entregan en archivos de dos tipos: como archivo Fluke View o como archivo *.bmp. La figura 7.4 muestra la administración grafica del archivo Fluke View (*.fvf) y la figura 7.5 el archivo (*.bmp). Estos dos gráficos son los resultados del instrumento para el primer caso de la tabla 7.1. Empleando la técnica pqAT se calcula la potencia activa y los resultados se presentan en la tercera columna de la tabla 7.2.

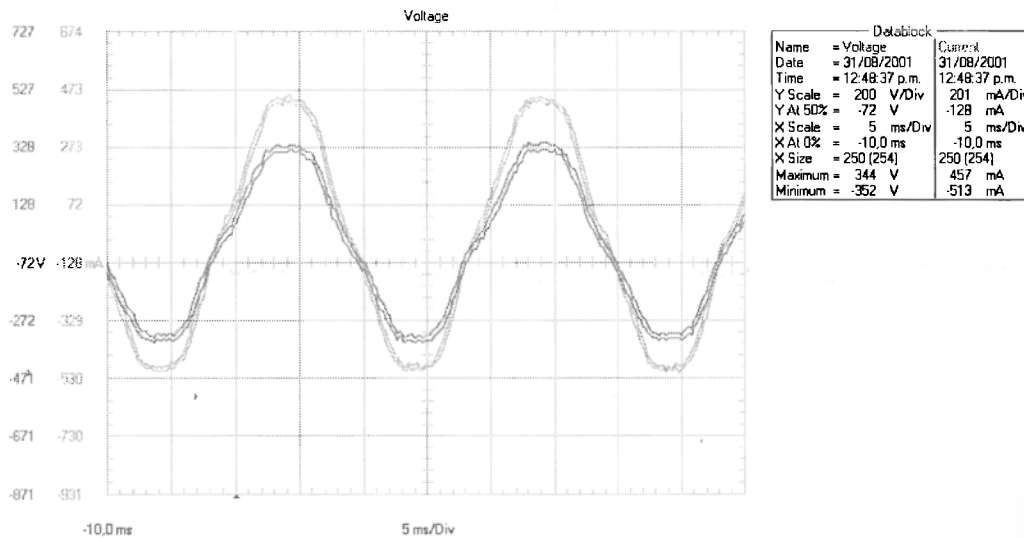


Figura 7.4: Archivo administrado con el software Fluke View.

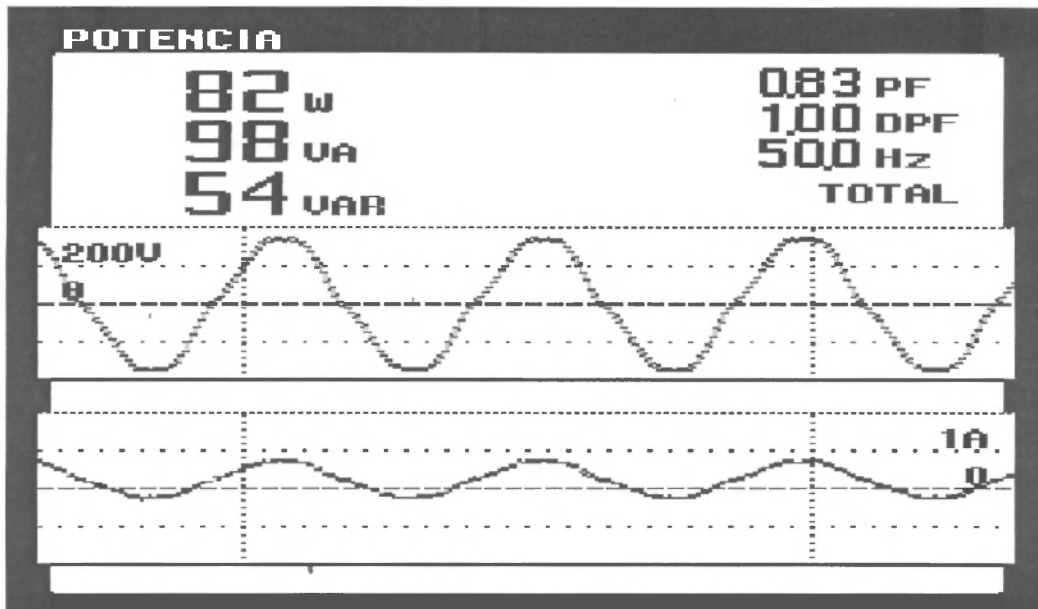


Figura 7.5: Resultados del caso 1 de la tabla 7.1, para el cálculo de la potencia.

Los resultados de medir con la técnica pqAT la potencia activa se presentan en la tabla 7.2.

Tabla 7.2: Resultados al medir la potencia activa

Caso	Potencia Medida	Potencia según pqAT	Primer nivel	Segundo nivel	Error
1	82W	81,54W	65W	11W	-0,56%
2	135W	134,76W	77,6W	22W	-0,18%
3	45W	44,8W	25W	15W	-0,44%

Estos resultados muestran el porcentaje de error de la técnica pqAT respecto de los valores que calculó el instrumento Fluke 43. La calibración, esto es la frecuencia elegida de muestreo y el nivel de multirresolución alcanzable con el número de puntos capturados, se discute a continuación.

7.2.3 Procedimiento de medición

Los resultados presentados a continuación se han medido utilizando los siguientes instrumentos: osciloscopio Hameg 507 [3], analizador de potencia eléctrica Fluke 43 [2] y un vatímetro Yokogawa WT130 [1]. Este vatímetro fue utilizado como patrón de referencia, mientras que los otros dos instrumentos se utilizaron como sistemas de adquisición de datos para las tensiones y las corrientes de línea de los sistemas bajo ensayo. La frecuencia de adquisición fue la misma para los tres equipos.

A continuación, se presenta una tabla que resume los niveles de multirresolución para los datos adquiridos con el osciloscopio Hameg y con el Fluke 43. La diferencia en los niveles de descomposición obedece a la cantidad de puntos disponibles para cada instrumento, 1024 puntos para el Fluke y 4096 para el Hameg.

7.2.3.1 Calibración:

La tabla 7.3 resume los niveles de descomposición utilizados en los experimentos

Tabla 7.3: Multirresolución utilizada en los ensayos.

Nivel	# de Coeficientes	Banda de Frecuencia	Banda de armónicos impares (60Hz)
1	4096	9600~4800(Hz)	Altas frecuencias.
2	2048	2400~4800	33~63 (los impares)
3	1024	1200~2400	17~31
4	512	600~1200	9,11,13,15
5	254	300~600	5,7
6	128	150~300	3
7	64	75~150	2
8	32	37.5~75	1
9	16	18.75~37.5	Bajas frecuencias.
10	8	9.375~18.75	----
11	4	4.8~9.375	----
12	2	2.4~4.8	
13	1	2.4~c.c.	

Todas las señales fueron procesadas utilizando el análisis de multirresolución de acuerdo con las tablas anteriormente presentadas.

7.2.4 Puente Rectificador Trifásico, ensayo 1.

El montaje trifásico se muestra en la figura 7.6. Para este montaje se desarrollaron cuatro topologías que se resumen en la tabla 7.5.

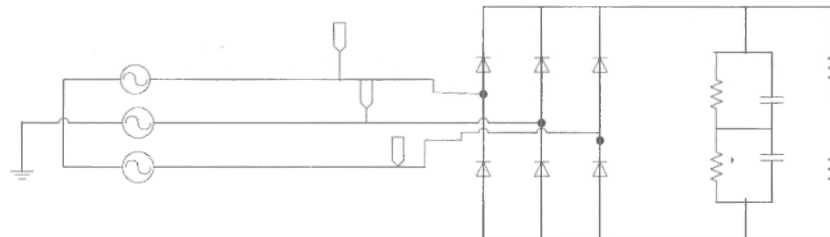


Figura 7.6: Puente de diodos trifásico con un capacitor a la salida y carga resistiva (Normal).

La primera: Puente de diodos balanceado con capacitor en el lado de continua y carga resistiva. La segunda: Puente de diodos desbalanceado con capacitor en el lado de continua y carga resistiva, el desbalance se logró retirando un diodo en la fase T del puente rectificador. La tercera y cuarta: Puente de diodos balanceado con capacitor en el lado de continua y carga resistiva. Se introducen dos asimetrías en la alimentación: La primera corresponde a la disminución de la tensión en la fase T respecto de las otras dos mediante un autotransformador de tensión de salida variable (véase la figura. 7.7)

lográndose una reducción de 3,57 %. La segunda asimetría se logró disminuyendo la tensión de la fase S en un 19,65% y se aumentó la fase T en un 12,5%.

Tabla 7.4: topologías del puente trifásico de la figura 7.6

Caso	Puente Trifásico Con Carga	Desbalanceado	Asimétrico	Normal
Ptri 1	RC			x
Ptri 2	RC	Se retira un diodo en la fase T		
Ptri 3	RC		Fase T -3,57%	
Ptri 4	RC		Fase S -19,65% Fase T +12,5%	

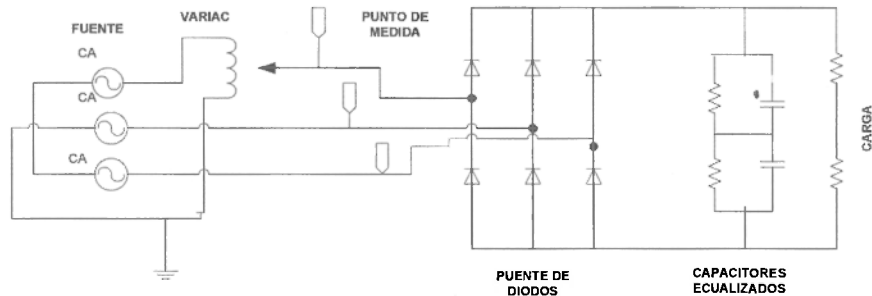


Figura 7.7: Puente de diodos trifásico con alimentación asimétrica (puente asimétrico).

Los resultados obtenidos al medir las señales de tensión y corriente para el caso del puente rectificador trifásico según la tabla 7.5 se dan en la figura 7.8

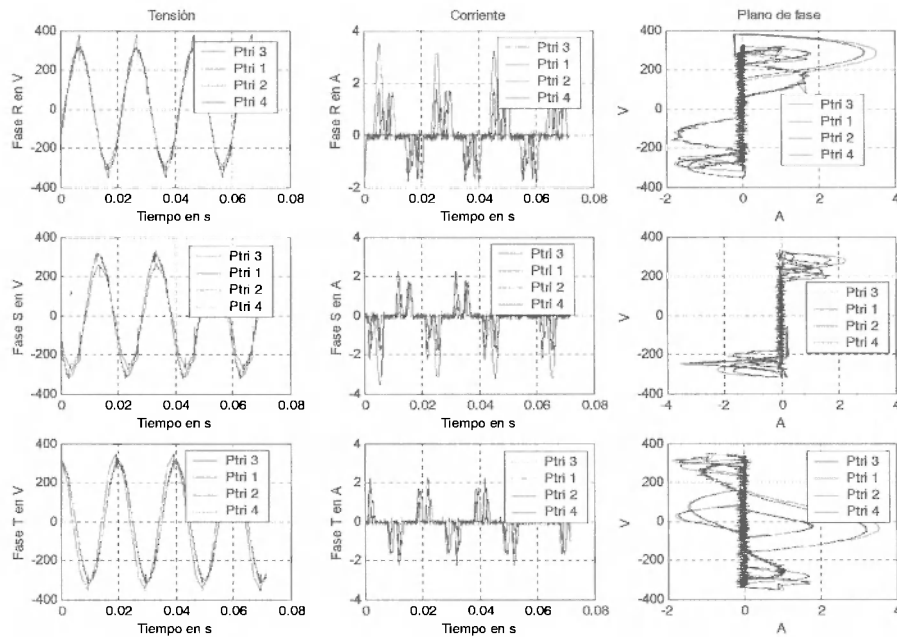


Figura 7.8: Montajes del laboratorio (LABCATYP), puente de diodos trifásico Estructuras según la tabla 7.5. Valores de tensión y corriente en las cuatro topologías.

Los objetivos que se persiguen en este ensayo son:

- a) Ver la diferencia entre la asimetría proveniente de la fuente con relación al desbalance proveniente del puente rectificador.
- b) Caracterizar el sentido del flujo de la deformación cuando está presente un desbalance o una asimetría.

Los resultados obtenidos al aplicar la técnica pqAT se observan en las figuras. 7.9 a 7.16.

El la figura 7.9 se observa el efecto fluctuante de potencia real para los tres casos de funcionamiento anormal, casos Ptri 2 a Ptri 4. El caso Ptri 1 conserva los picos de carga del capacitor del lado c.c. del puente rectificador el mismo valor.

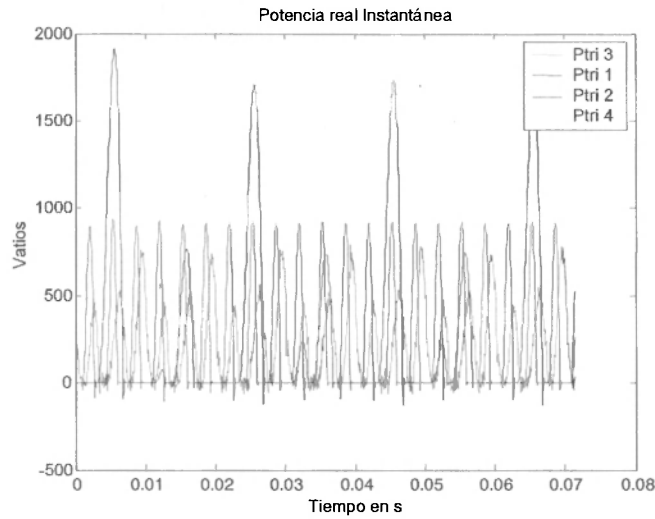


Figura 7.9: Montajes del laboratorio (LABCATYP), puente de diodos trifásico alimentación asimétrica. Potencias real para las cuatro topologías determinadas utilizando la técnica pqAT.

La fluctuación sobresale en el caso de la potencia imaginaria instantánea que se midió. Como se dijo, ella se debe a la forma en que se carga el capacitor del lado de corriente continua.

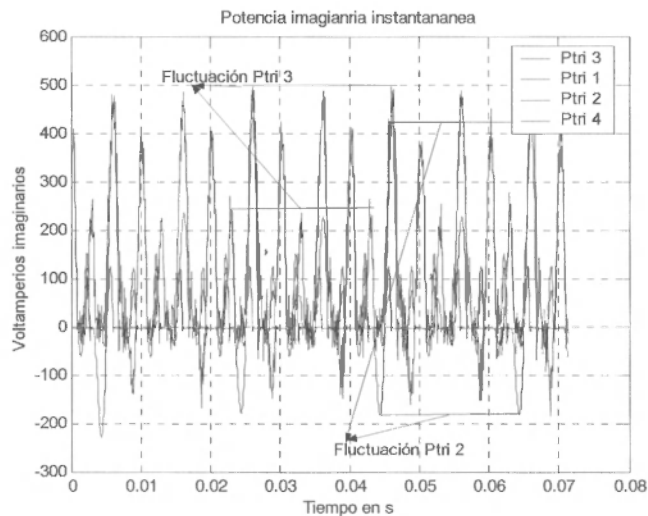


Figura 7.10: Montajes del laboratorio (LABCATYP), puente de diodos trifásico alimentación asimétrica. Potencias imaginarias para las cuatro topologías determinadas utilizando la técnica pqAT.

Se procuró conservar similar potencia activa transferida en los cuatro casos, para lo que se hizo el ensayo con la misma carga resistiva en todos los casos. La figura 7.11 muestra esta situación

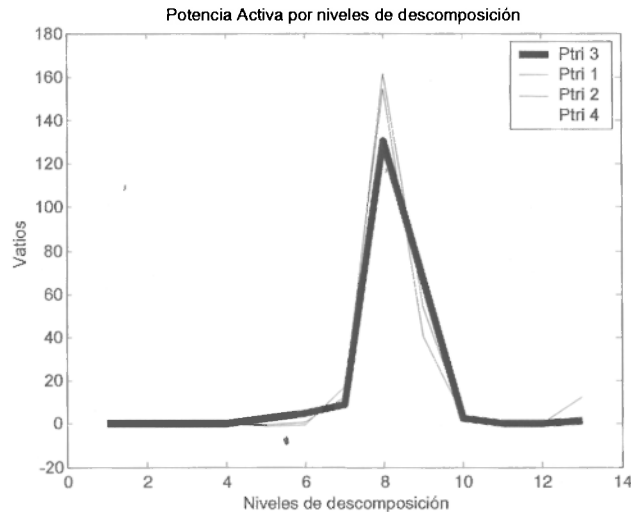


Figura 7.11: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico según tabla 7.5. Cálculo de la potencia Activa por nivel de descomposición.

La potencia reactiva se ve en cada caso realmente afectada pues la componente de interacción entre la red y la forma en como se carga el banco capacitivo produce un consumo de potencia reactiva muy diferente en cada caso, lo que puede observarse en la figura 7.12.

Según se explicó en el capítulo 5, con el puente rectificador ocurren varios fenómenos que pueden ser asociados a una banda de frecuencias particular. Por un lado, está la frecuencia de la red de alterna que será convertida en continua y por otra parte, se encuentra la frecuencia de conmutación de los interruptores de potencia y además, está la frecuencia de interacción electromagnética del filtro del lado de continua con la inductancia equivalente de la red. Estas componentes de potencia son de tipo reactivo en su mayoría.

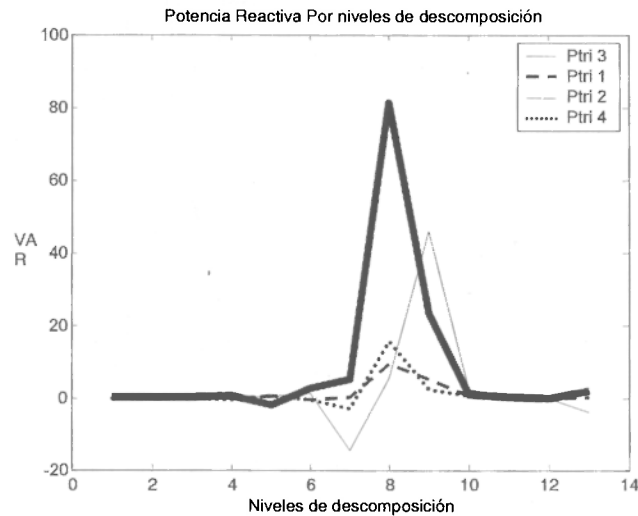


Figura 7.12: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico. Cálculo de la potencia imaginaria por nivel de descomposición.

Existen varias técnicas para el análisis de puentes rectificadores [6], G. Séguier expone el método de las funciones de conversión, que traducen las relaciones que los tiristores establecen entre las corrientes de entrada al sistema (o las corrientes que toma de la red) en relación con la corriente del lado de continua (c.c.), o sea: i_A, i_B, i_C se interpretan como $i_A = x_A i_d, i_B = x_B i_d, i_C = x_C i_d$. Con la interpretación que se dé a x_A, x_B, x_C es posible obtener (en función de la inductancia equivalente de la red y las tensiones de alimentación) una explicación al funcionamiento de la corriente del lado continua ya sea en conducción continua o en conducción discontinua y su respectivo comportamiento en el lado de alterna.

Los casos experimentales adoptados corresponden todos al modo de conducción discontinuo. Esto genera unas fluctuaciones de corriente, características de la carga y descarga del capacitor de filtro. Las frecuencias típicas de la deformación de la corriente, la conmutación de los interruptores y frecuencia de la red se caracterizan con las curvas RDD-p y RDD-q, que se presentan en las figuras 7.15 y 7.16 respectivamente. El desbalance produce un cambio en la amplitud de la curva std-p y std-q que se muestra en el nivel 8 de las figuras 7.13 y 7.14, que representa la energía de la frecuencia fundamental.

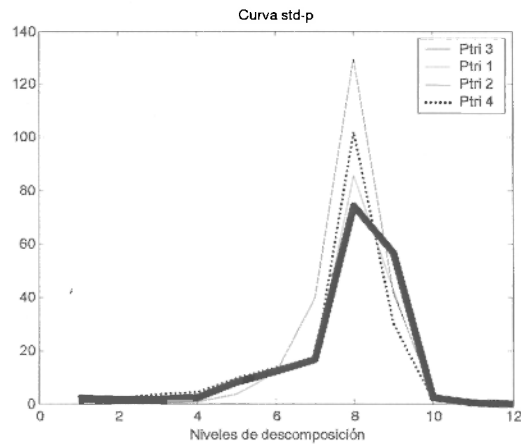


Figura 7.13: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico. Desviación de los coeficientes de reconstrucción para la energía real (Curva std_p).

El cambio de amplitud en el nivel 8 de la figura 7.13 muestra que efectivamente el caso de desbalance es el más severo, pues en los otros casos de alimentación asimétrica Ptri 3 y Ptri 4, el nivel 8 resulta inferior al 50% del correspondiente al caso Ptri 2, pero el sentido del flujo no se puede discriminar.

Las frecuencias presentes son discriminadas a través de la curva std-q que se muestra en la figura 7.14.

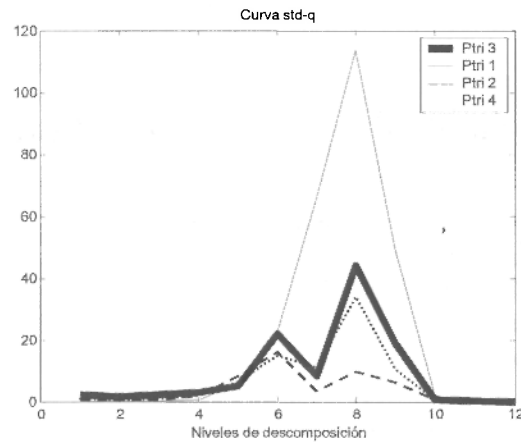


Figura 7.14: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico. Desviación de los coeficientes de reconstrucción para la energía imaginaria (Curva std_q).

En los niveles 5 y 6 de la figura 7.14, se resaltan las componentes del quinto, séptimo y onceavo armónicos presentes en la corriente. El mayor discriminante, como

se ha venido mostrando, es la curva RDD que para el caso de la potencia real instantánea se muestra en la figura 7.15. El desbalance y la asimetría de los casos analizados quedan evidenciados en el nivel 8 como se había observado en la curvas std. Además, se muestra el sentido del desbalance y de la asimetría. El caso de doble asimetría Ptri 3 exhibe signo opuesto en los niveles 5 y 6 con respecto al caso Ptri 2 (desbalance).

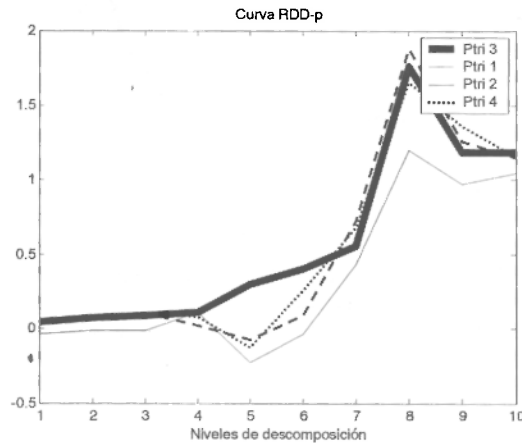


Figura 7.15: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico. Relación ruido/señal de la potencia real (Curva RDD_p).

Los casos se ven completamente diferenciados en el nivel 8 de la curva RDD-q que se muestra en la figura 7.16. Como la naturaleza del sistema que se ha desarrollado en el laboratorio es del tipo de desbalance de la carga y asimetría en la fuente de alimentación, se puede afirmar que estos fenómenos no introducen componentes armónicas. Así el lugar donde se hace la detección del fenómeno está en el nivel de descomposición que detecta a la frecuencia fundamental. Esto se ve en el nivel 8 de la figura 7.16.

El caso Ptri 3 entre los niveles 1 y 5 de la figura 7.16 muestra signo contrario a los otros casos. Esto se debe a la frecuencia de oscilación creada por causa de la doble asimetría, este fenómeno está marcado en la figura 7.10, que detalla la fluctuación de la potencia imaginaria instantánea.

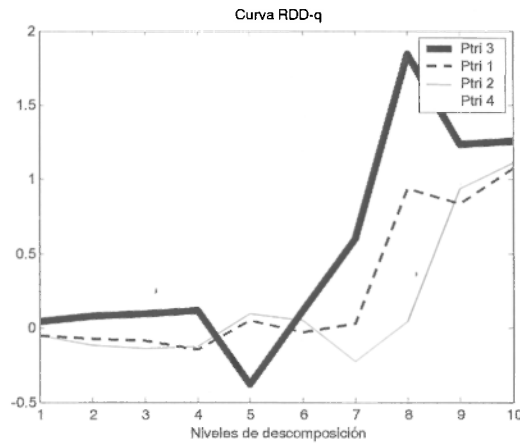


Figura 7.16: Montajes de laboratorio puente de diodos trifásico alimentación asimétrica. Relación ruido/señal de la potencia imaginaria (Curva RDD_q).

Lo más destacable en los resultados del ensayo, es el signo contrario entre los casos *desbalanceado* y *asimétrico*, que muestran el tipo de falla. En cuanto al fenómeno de desbalance, el primero ocurre del lado de la carga y el segundo del lado de la fuente. La distribución de las componentes poliarmónicas de la potencia real e imaginaria es equivalente en los tres casos.

Conclusiones del ensayo:

- La variable más sensible en el caso de la asimetría y el desbalance es la potencia imaginaria instantánea.
- El análisis que hace la técnica pqAT de la potencia imaginaria instantánea muestra que las curvas de la medida de potencia reactiva, $std-q$ y $RDD-q$ discriminan con mejor exactitud que sus homólogas de la potencia real instantánea.
- El flujo de la potencia de perturbación se caracterizó con la curva $RDD-q$, en la figura 7.16 y mostró una marcada diferencia en los cuatro ensayos, en el nivel 8 (fundamental) y en los niveles 1 al 5 con respecto al evento ocasionado por la fuente Ptri 3 y al ocasionado por la carga Ptri 2.
- Finalmente, la tabla 7.5 muestra el comportamiento del índice global y particular de calidad para los casos experimentados con el puente rectificador trifásico. Esta tabla está desarrollada según la definiciones 3.12 y 3.13.

Tabla 7.5: DQI para la potencia real.

Caso #	$Std(d_{resistivo} a)$	DQI	PDQI en el nivel 4
Ptri 2	0,098	0,6852	0,2896
Ptri 3	0,098	0,7864	0,1771
Ptri 4	0,098	0,7652	0,1859

7.2.5 Medida de la potencia en la estructura variador de velocidad-Cable-Motor, ensayo 2:

Se midió tensión, corriente, potencia activa y reactiva en los terminales de un motor de inducción de 0,74kW, de 2 polos con jaula de ardilla, alimentado con 220V a través de un inversor trifásico [9], conectado al motor por un cable de potencia de tres conductores, con conductores de 4mm de diámetro y con una longitud de 180m.

Las características geométricas del cable se muestran en la figura 7.17 (la disposición es completamente asimétrica).

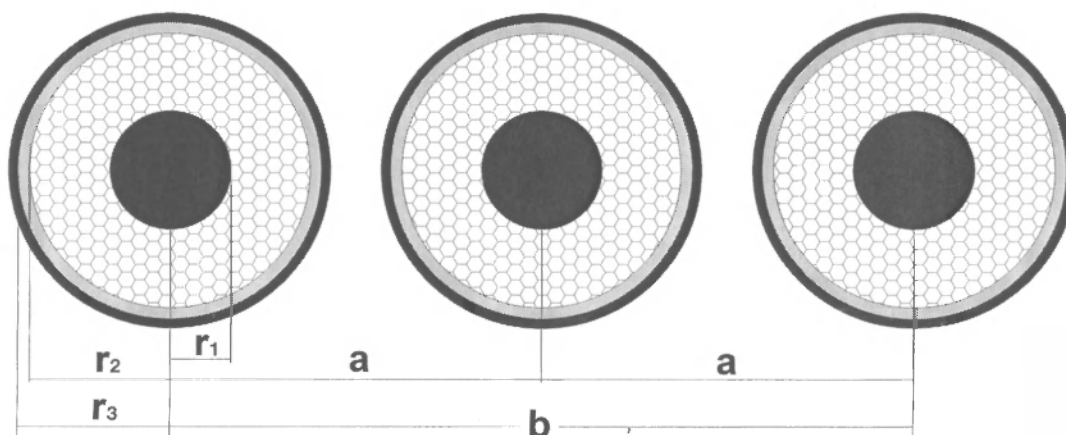


Figura 7.17: Ensayo 2, composición geométrica del cable sometido al ensayo

Las características físicas se muestran en la tabla 7.6. Estas características se introdujeron dentro del programa ATP_LCC, éste es un subprograma del sistema ATPDraw que junto con el ATP produce los resultados de las características del modelo JMarti, que se muestra en las figuras 7.18, 7.19, 7.20 y 7.21.

Tabla 7.6: Características del cable ensayado en el LABCATYP (F.I.U.B.A.).

Dimensiones del conductor	2mm
Espesor de la cubierta del aislamiento, figura 7.17: (r2-r1)	1,5 mm.
Permeabilidad ,relativa del aislante principal figura 5.1: (r2-r1)	3,5
Permeabilidad relativa de la cubierta figura 7.17: (r3-r2)	8,0
Resistividad del conductor (Cu)	$1.7 \cdot 10^{-7} \Omega/ m.$
Longitud del Cable	180 m.
a	0,01m
b	0,02m

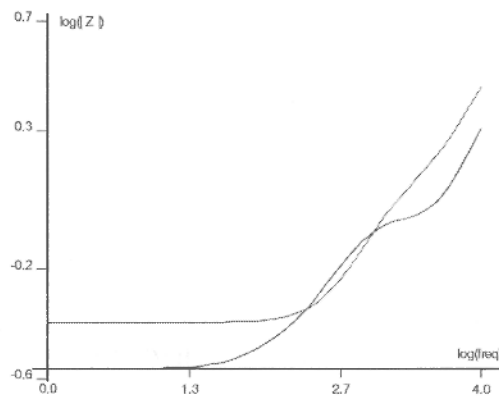


Figura 7.18: Ensayo 2, simulación según el modelo Jmartí, respuesta en frecuencia de la impedancia de secuencia cero en la fase R, para la disposición geométrica de la figura 7.17 (en Azul en modelo jmartí en rojo modelo [])

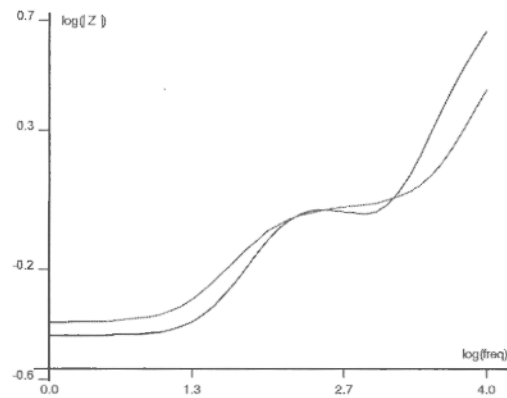


Figura 7.19: Ensayo 2, simulación según el modelo JMarti, respuesta en frecuencia de la impedancia de secuencia positiva, fase R para la disposición geométrica de la figura 7.17 (en Azul en modelo JMarti en rojo modelo \square).

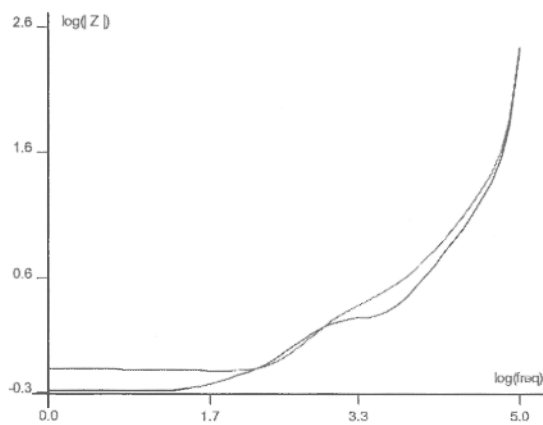


Figura 7.20: Ensayo 2, simulación según el modelo JMarti, respuesta en frecuencia de la impedancia de secuencia positiva, fase S para la disposición geométrica de la figura 7.17 (en Azul en modelo JMarti en rojo modelo \square).

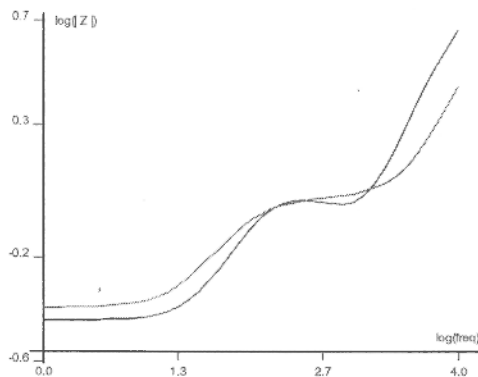


Figura 7.21: Ensayo 2, simulación según el modelo JMarti, respuesta en frecuencia de la impedancia de secuencia positiva, fase T para la disposición geométrica de la figura 7.17 (en Azul en modelo JMarti en rojo modelo []).

La simulación previa al ensayo se hizo según la metodología mostrada en el capítulo 5. Los resultados que arrojó la simulación se muestran en la figura 7.22.

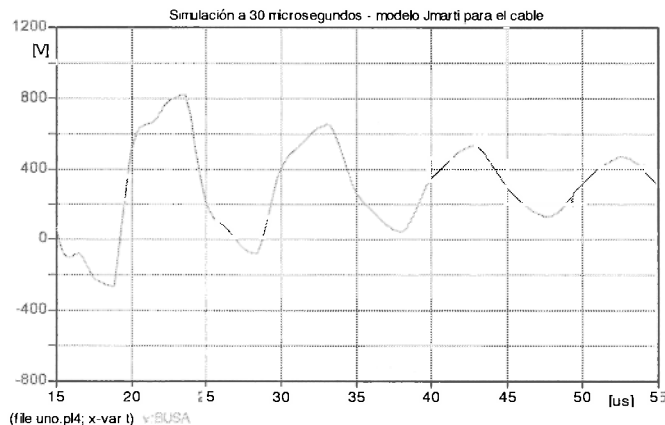


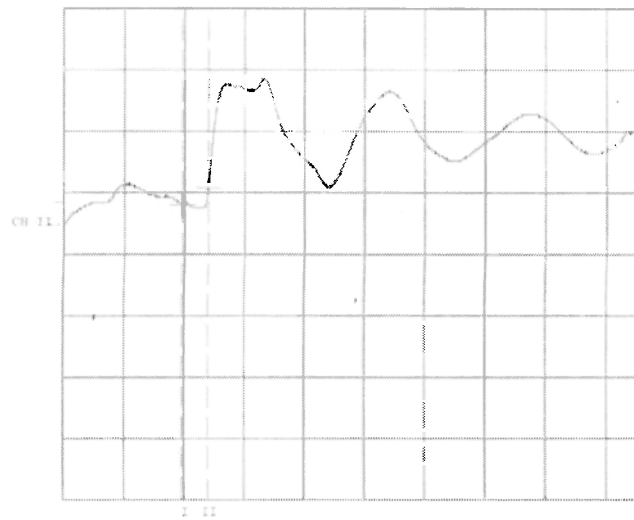
Figura 7.22: Modelo en ATP del ensayo 2.

Para medir la variables del ensayo se ha utilizando un osciloscopio Hameg. Los resultados se muestran en la figura 7.23.

Característica del instrumento guardadas del ensayo por el instrumento HAMEG 507[3]:

Measure time: 07:29:36 Measure date:
29/06/2002

CH2: 400,000V/DIV DC TB A: 2 μ s TR: CH2+AC PT: 25



CH I : Cursor I: Off Cursor II: Off Diff. I-II: Off
Off
CH II: Cursor I: -80,000V Cursor II: 48,000V Diff. I-II: -56,0000V
dt: 850,000 ns 1/dt: 1,176 MHz

Figura 7.23: Frente de onda viajera en el ensayo 2, estructura del ASD- Cable- Máquina.

La figura 7.24 compara los resultados de los oscilogramas medido y simulado. Éste es el tren de onda viajera típico en la estructura del ASD- Cable- Máquina [6].

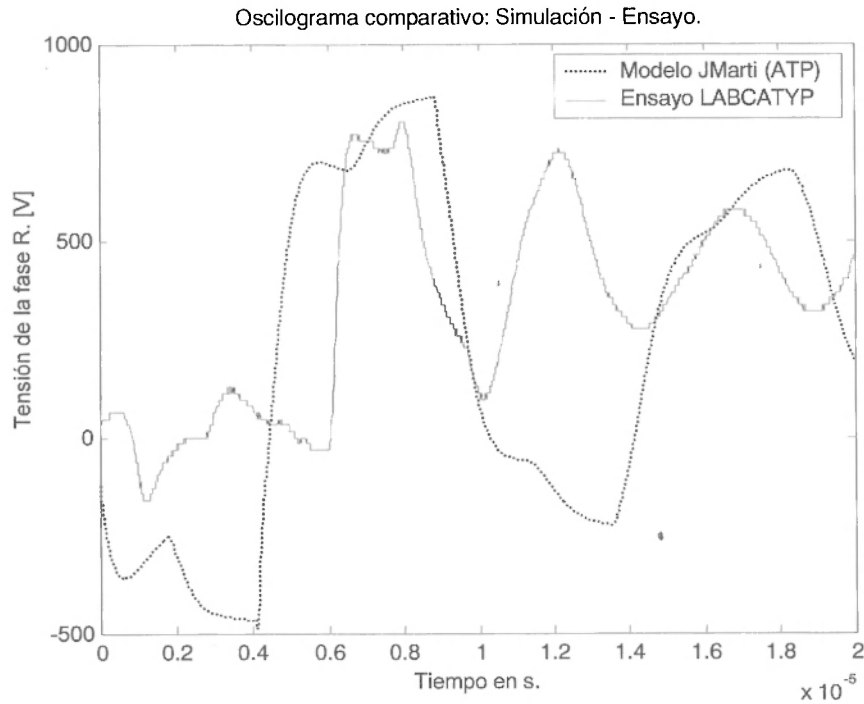


Figura 7.24: Superposición de oscilogramas entre el modelo en ATP y el ensayo 2.

Un detalle de la simulación y el ensayo en otra escala de tiempo se observa en las figuras 7.25 y 7.26

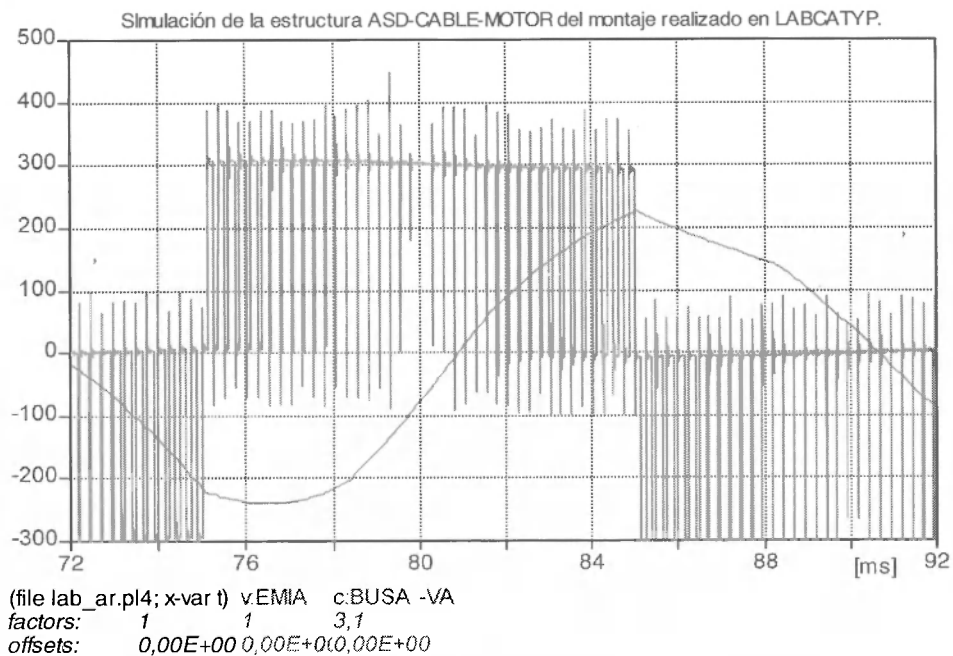


Figura 7.25: modelo en ATP de un ciclo para el ensayo 2, ASD-CABLE-MOTOR

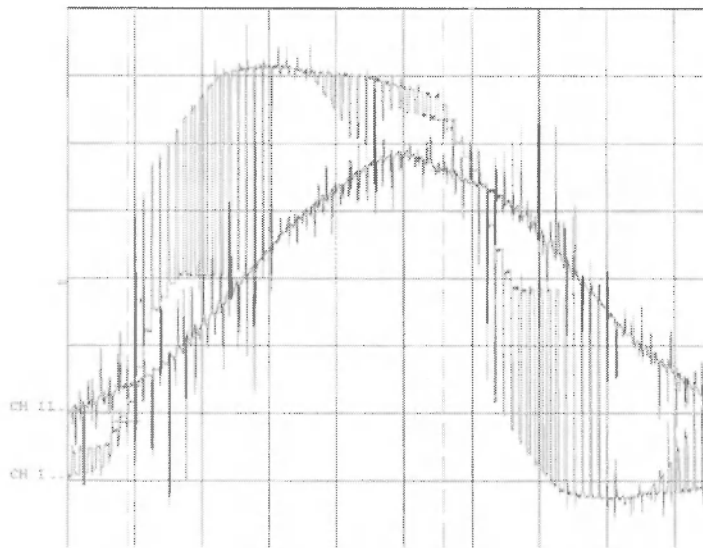


Figura 7.26: Medición hecha con el osciloscopio HAMEG, hora: 06:59:56, Fecha: 29/06/2002 CH1: 100,000V/DIV AC CH2: 2,000V/DIV DC TB A: 2 ms TR: CH1+AC PT: 25 CH I: Cursor I: -208,000V Cursor II: 240,000V Diff. I-II: -448,000V CH II: Cursor I: -3,040V Cursor II: 3,360V Diff. I-II: -6,4000V dt: 9,370 ms 1/dt: 106,724 Hz

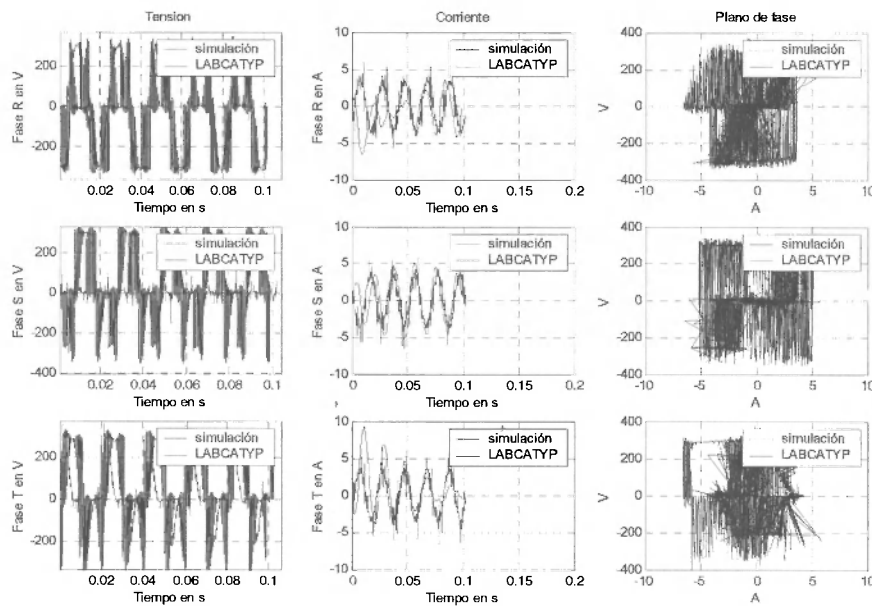


Figura 2.27: Disposición física de las tensiones y corrientes medidas para el ensayo 2.

La figura. 7.27 muestra la tensión, la corriente y la curva característica v-i de las tres fases del sistema para el ensayo 2. Estas señales serán luego procesadas en el dominio de la transformada ondita.