

7.7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CORRESPONDIENTES AL CAPÍTULO 7

- [1] C.H. Flurscheim, Power circuit breakers theory and design, Peter Peregrinus Ltd, Second Edition, 1982.
- [2] J.M. Lafferty, Vacuum Arcs Theory and Applications, Corporate Research and Development Center, General Electric Company, Schenectady, Mew York, 1980.
- [3] A.C. Cavalcanti de Carvalho, C.M. Portela, J.S. Teixeira, R. Colombo, Disjuntores e Chaves Aplicação em Sistemas de Potência, Editora da Universidade Federal Fluminense, CIGRÉ Comité Nacional Brasileiro-FURNAS, 1995
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC): “International Standart 427: Synthetic testing of high-voltage alternating current circuit-breakers”, 1992
- [5] U. Habedank, “Aplication of new arc model for de evaluation of short-circuit breaking test”. IEEE Transactions on Power Delivery, Vol 8, N°4, October 1993, pp. 1921-1925.
- [6] U. Habedank, “On the mathematical description of arc behaviour in the vicinity of current zero”. ETZ Archiv, Vol 10, 1988, pp. 339-343.
- [7] W. Gimenez, O. Hevia, E. Vaillard, “Modelo de arco eléctrico con parámetros dependientes de la conductancia”. V^{tas} Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Eléctrica, Tomo I, pp. 531-538. 3 al 5 de Julio de 1997, Salamanca, España.
- [8] H.W. Dommel, T. Lui, CanAm EMTP User Group, EMTP Rule Book, Vol 1 y 2, 1995.
- [9] H.W. Dommel, CanAm EMTP User Group, EMTP Theory Book, BPA, 1987.
- [10] O. Hevia: “GTPPLOT a new version of TPLOT”, EEUG, 1998.

7.6.- CONCLUSIONES

En este séptimo capítulo se investigó el comportamiento de los pasos seguidos anteriormente para la simulación de interruptores de potencia a partir de oscilogramas de ensayos. Como resultado final se puede concluir en lo adecuado de los pasos empleados ya que los programas de cálculos explicados en capítulos anteriores siempre logran aproximar los valores de los parámetros independientemente del modelo o del comportamiento que se trate. En este aspecto es necesario destacar el Método Asturiano de cálculo junto con parámetros variables con la conductancia como la mejor combinación para ajustar la conductancia del arco durante la operación de apertura del interruptor ensayado.

En la primera parte del capítulo se mostró la evolución de las variables durante un ensayo en vacío y se comentaron algunas características propias de los ensayos de interruptores de vacío, como lo es la corriente de post-arco o la tensión antes del cero de tiempo.

Como es posible apreciar, no se brindan mayores detalles del tipo de interruptor de vacío ya que los datos empleados corresponden a un nuevo modelo aún en desarrollo experimental y por lo tanto, se debe preservar la fuente de información. No obstante, se brindan los valores de los parámetros eléctricos asociados al circuito de ensayo del interruptor y también se dan todos los valores de los parámetros calculados con los programas de cálculo de forma de ofrecerlos para futuros estudios. También se analizan los resultados de las simulaciones de los ensayos de cortocircuito.

Al respecto resulta conveniente discernir entre dos posibles causas de error en la simulación de los ensayos; básicamente existen dos posibles fuentes de error que tienen el mismo origen que es la elevada corriente de post-arco que existe luego del paso por cero. Al escoger el modelo de Mayr para representar el arco se debe seleccionar la región próxima al cero para el cálculo de sus parámetros. Al realizarlo, se está utilizando a una región del ensayo de apertura del arco que se interpreta como si se representara una reignición ya que se recortan los datos del ensayo al intervalo ± 1 [μ s] durante el cual la corriente nunca se anula ni atraviesa el cero. Por otra parte, si se incluye para el cálculo de los parámetros del modelo de Mayr al intervalo durante el cual existe la corriente de post-arco, ya pierde representación el modelo para representar esta región con lo cual la simulación tampoco resulta adecuada.

Lo que ocurre para el modelo de Cassie no resulta similar pero presenta, por otra parte, una particularidad especial y se debe a la forma general que adopta la tensión del arco durante los ensayos analizados. Para tiempos alejados del cero, se mantiene prácticamente constante y de valor muy bajo. Breves instantes antes del cero cambia drásticamente su comportamiento provocando un codo de 90° en su evolución que provoca errores en la aproximación de los valores de los parámetros si son interpretados como constantes y calculados empleando todo el tiempo registrado según puede verse en las tablas 7-3 y 7-4; no ocurriendo lo mismo para parámetros calculados como variables.

También se calculan por medio de simulaciones aquellos valores de los parámetros de los modelos que aseguran obtener una apertura durante la simulación del ensayo en cortocircuito y que permiten asegurar la utilidad de los modelos para representar una reignición o una apertura, más allá del resultado obtenido para interruptores de vacío.

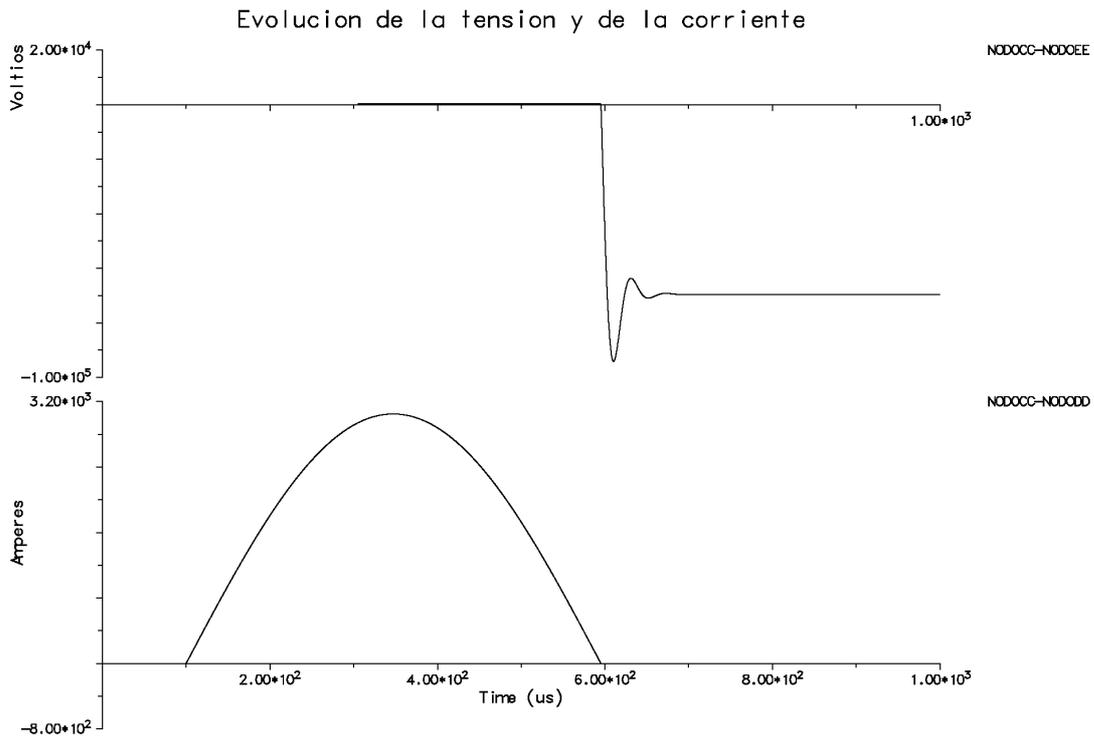


Figura N°7-16: Comportamiento del modelo de Cassie con parámetros variables, para simular una apertura.

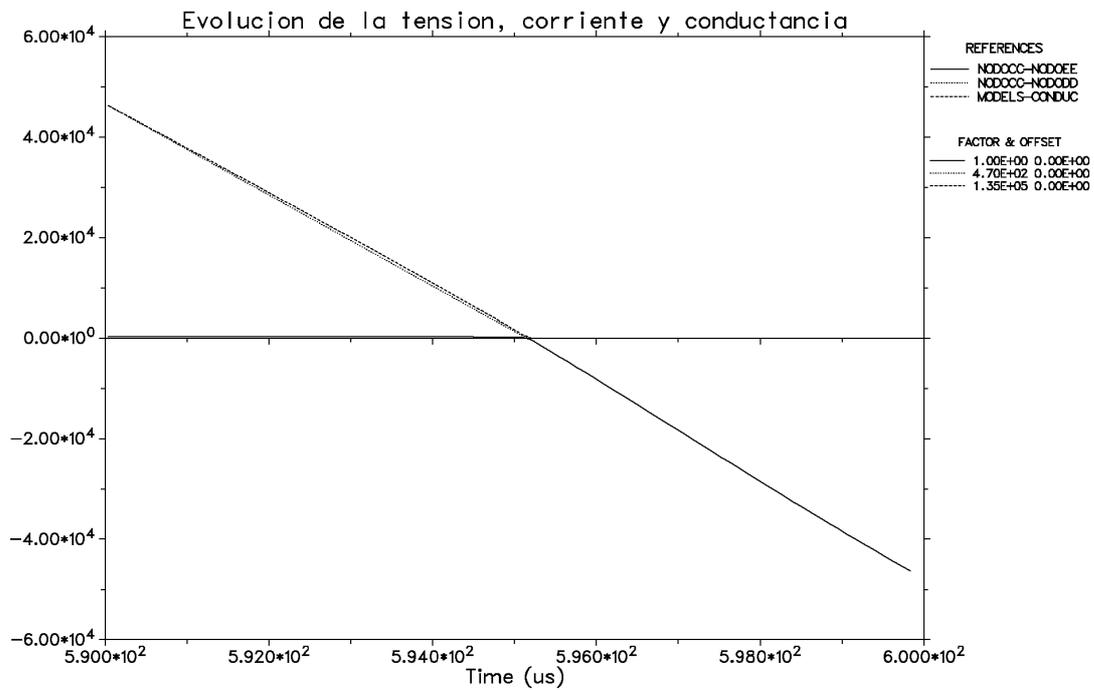


Figura N°7-17: Detalle de la apertura con parámetros variables.

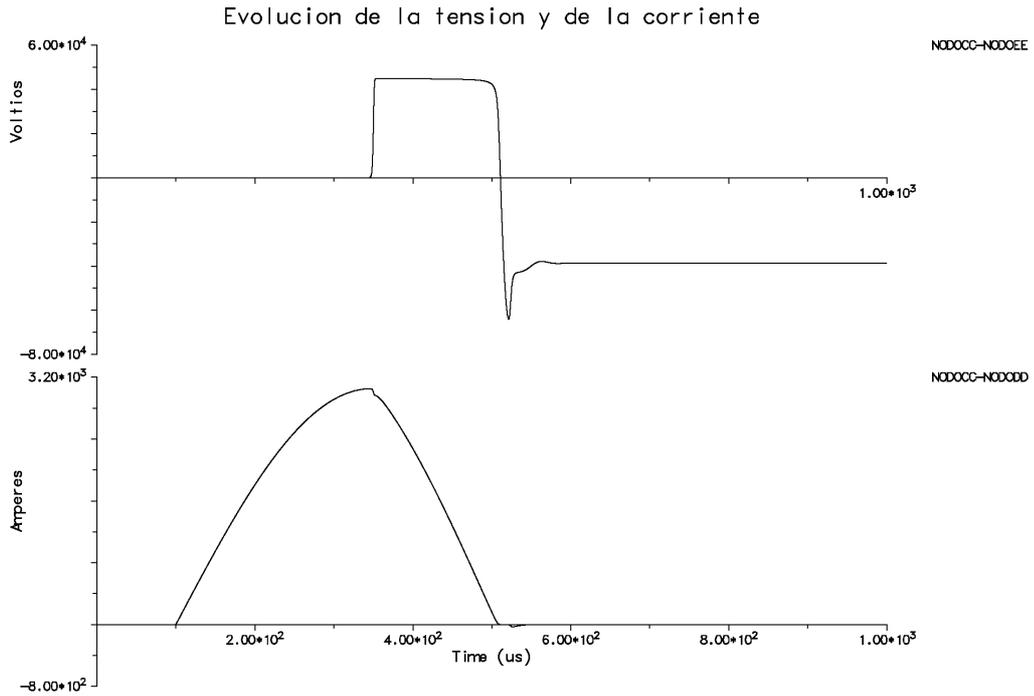


Figura N°7-14: Comportamiento del modelo de Cassie con parámetros constantes, para simular una apertura.

Las figuras 7-16 y 7-17 presentan el comportamiento del modelo de Cassie empleando parámetros variables con los siguientes valores: $A_p = 325$, $B_p = 0,493^{-8}$, $A_q = 2,72555^{-6}$ y $B_q = 0,79040$.

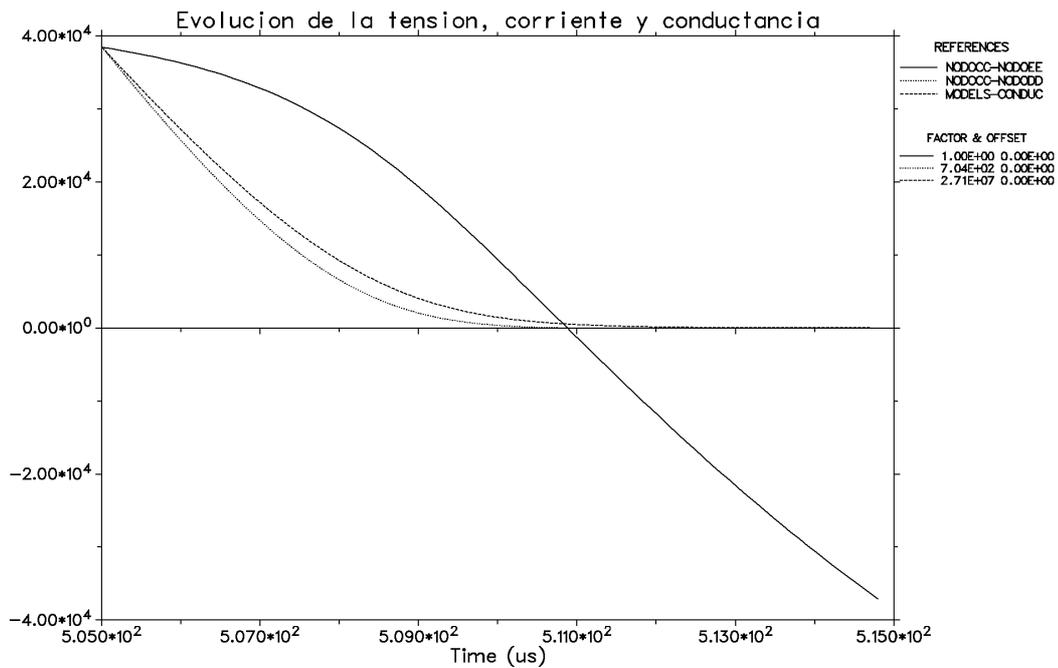


Figura N°7-15: Detalle de la apertura con parámetros constantes.

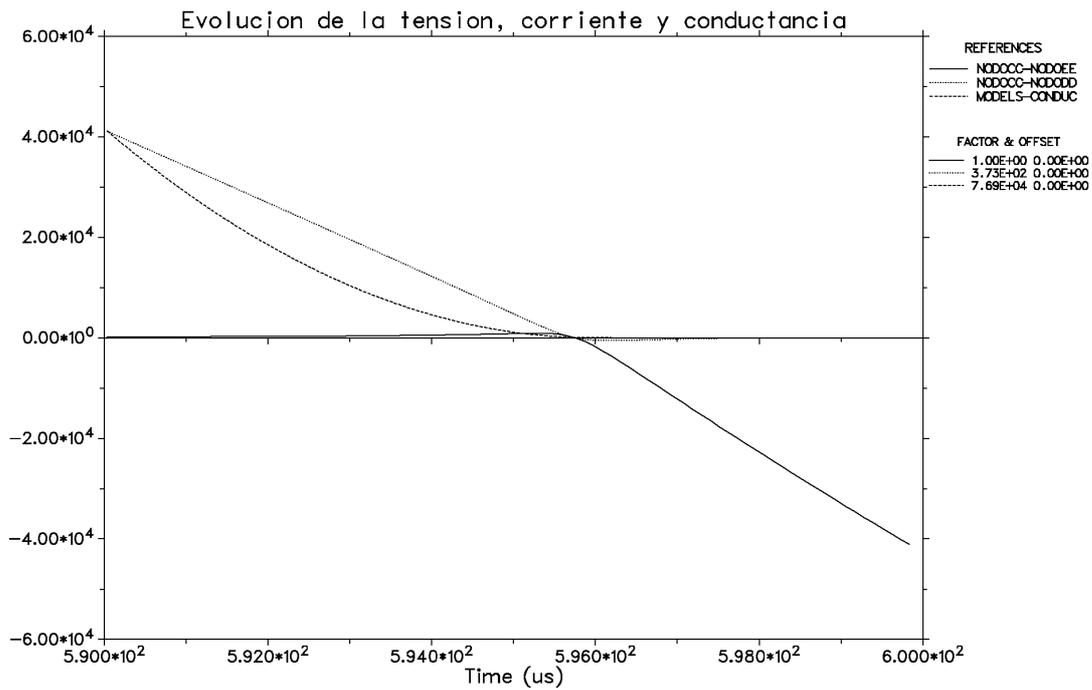


Figura N°7-13: Detalle de la apertura con parámetros variables.

7.5.2.- MODELO DE CASSIE

Al igual de lo ocurre para el modelo anterior, también para el de Cassie es posible actuar tanto en el parámetro tensión de Cassie como en el valor de la constante de tiempo para obtener la simulación de una apertura del arco. De la experiencia recogida es mucho más fácil actuar sobre la tensión, por lo tanto la constante de tiempo se mantiene igual a la calculada para el intervalo ± 1 [μ s].

En la figura siguiente se muestra la tensión y la corriente del modelo utilizando una tensión de Cassie igual a 45000 [V], siendo $Q = 0,874$ [μ s].

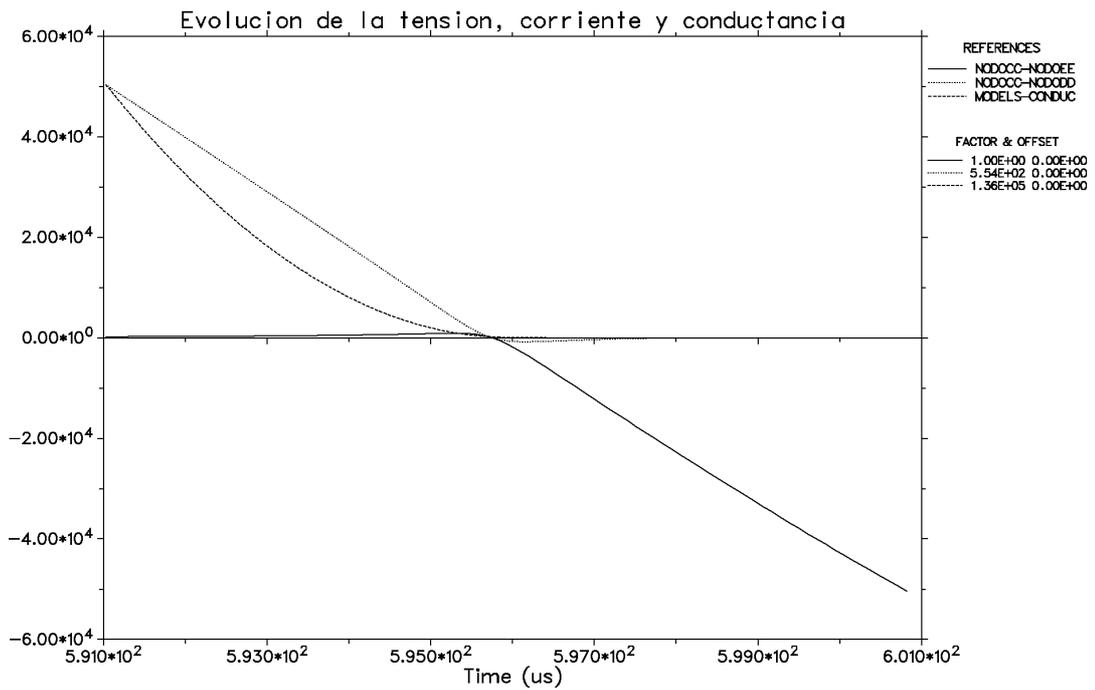


Figura N°7-11: Detalle de la apertura con parámetros constantes.

La evolución de la tensión y de la corriente usando parámetros variables se muestra en la figura 7-12 y en la 7-13 se presenta un detalle de la apertura del arco.

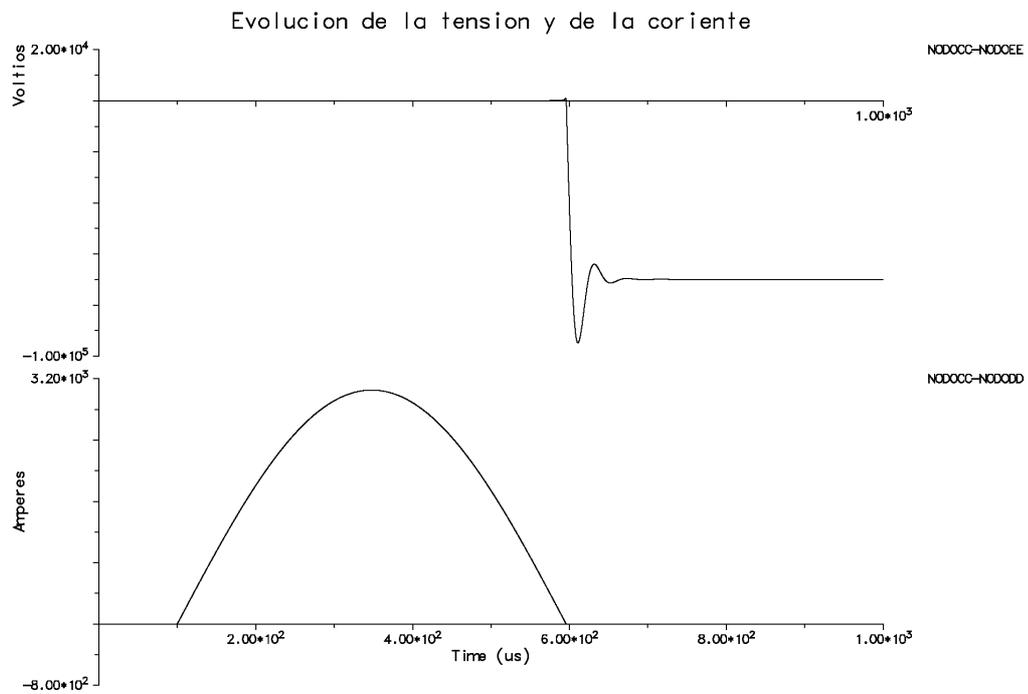


Figura N°7-12: Comportamiento del modelo de Mayr con parámetros variables, para simular una apertura.

tiempo utilizado para el cálculo de los valores de los parámetros; en este apartado se modificarán convenientemente estos valores de forma de obtener el corte del arco eléctrico.

Con lo anterior se busca corroborar el funcionamiento de los modelos anteriormente utilizados, en la simulación de la apertura del interruptor de vacío en el circuito de la figura 7-3. Para todos los casos que se presentan, sólo se ha actuado sobre uno de los parámetros manteniendo intactos los restantes e iguales a los calculados para el intervalo de ± 1 [μ s].

7.5.1.- MODELO DE MAYR

La figura 7-10 presenta el comportamiento de la tensión y de la corriente utilizando los siguientes valores de los parámetros considerados como constantes: $P_o = 25$ [kW] y $Q = 0,273$ [μ s].

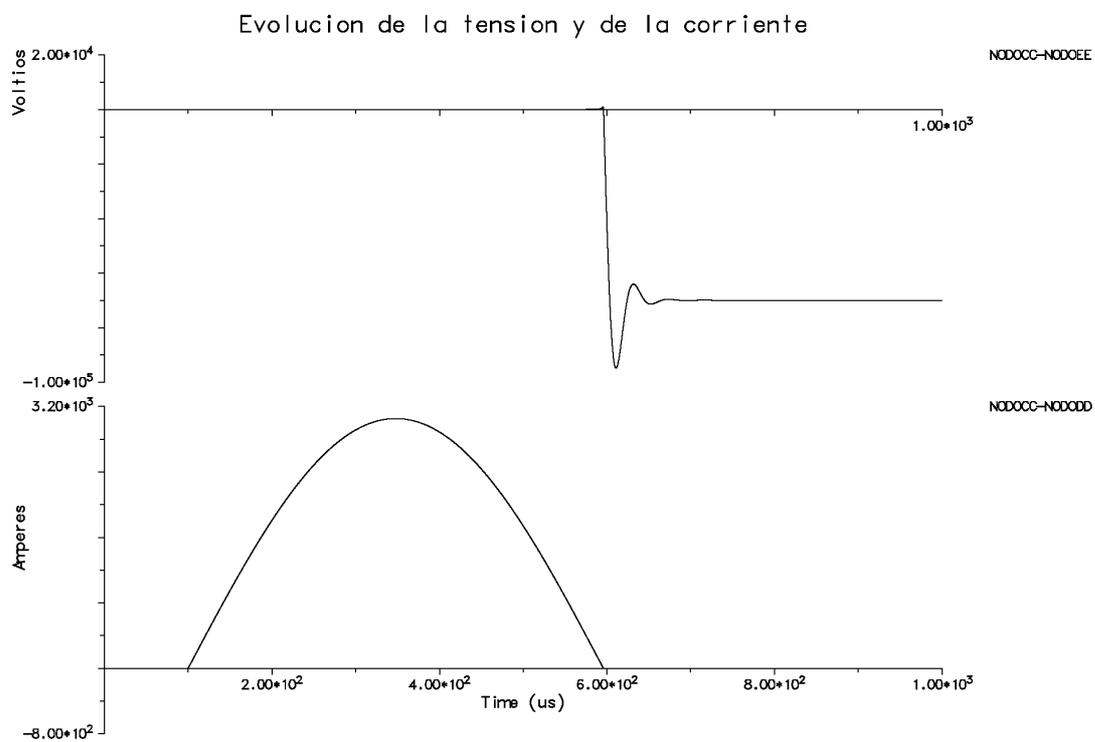


Figura N°7-10: Comportamiento del modelo de Mayr con parámetros constantes, para simular una apertura.

Analizando las figuras 7-10 y 7-11 es posible determinar que el modelo de Mayr empleado con parámetros constantes tiene un correcto funcionamiento para simular una apertura en las condiciones del ensayo del interruptor de vacío.

Para el caso de escoger un comportamiento de los parámetros como variables con la conductancia también es posible simular una apertura del arco eléctrico durante el ensayo, siempre y cuando se utilice un valor del parámetro A_p mayor a 25000. Los valores de los restantes parámetros son: $B_p = 0,0000001$, $A_q = 0,273153^{-6}$ y $B_q = 0,0000001$.

RESUMEN DE VALORES -10 / +7 [μS]					
Modelo	Estado	Parámetro	VAC40	VAC41	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	8,99	8,24	[kW]
		Tita	2,40	2,39	[μs]
	Variable	Potencia	9190,91 . g ^{0,205857}	8536,15 . g ^{0,164287}	[kW]
		Tita	1,77315 . g ^{0,645978}	1,67530 . g ^{0,640704}	[μs]
Cassie	Constante	Tensión	0,260	0,248	[kV]
		Tita	6,83	6,99	[μs]
	Variable	Tensión	336,085 . g ^{0,231 E-8}	337,050 . g ^{0,147 E-9}	[kV]
		Tita	2,38959 . g ^{0,905913}	2,25757 . g ^{0,910322}	[μs]

Tabla N°7-5: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de -10 / +7 [μs].

RESUMEN DE VALORES ±1 [μS]					
Modelo	Estado	Parámetro	VAC40	VAC41	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	0,704	0,742	[kW]
		Tita	0,303	0,384	[μs]
	Variable	Potencia	0,704321 . g ^{0,833 E-10}	739,292 . g ^{0,761 E-10}	[kW]
		Tita	0,303221 . g ^{0,364 E-10}	0,385712 . g ^{0,409 E-9}	[μs]
Cassie	Constante	Tensión	0,202	0,212	[kV]
		Tita	0,92	0,93	[μs]
	Variable	Tensión	270,011 . g ^{0,004886}	275,841 . g ^{0,006997}	[kV]
		Tita	2,38326 . g ^{0,805398}	2,36091 . g ^{0,813441}	[μs]

Tabla N°7-6: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de ±1 [μs].

7.5.- VARIACIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS

Debido a la obtención sistemática de reigniciones del arco eléctrico en todas las simulaciones realizadas, independientemente del modelo, comportamiento o intervalo de

La figura 7-9 presenta el comportamiento de la tensión y la corriente en el arco durante el ensayo. Al igual de lo ocurrido con los intervalos de tiempos anteriores, realizadas todas las simulaciones posibles, en todos los casos se han obtenido simulaciones con reigniciones del arco eléctrico, independientemente del modelo o del tipo de comportamiento de los parámetros que se utilice.

7.4.- DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Los datos que hasta aquí se presentaron corresponden a sólo un ensayo sobre un interruptor de vacío, por lo tanto a partir de aquí se presentan el resto de los ensayos pero siempre con el mismo intervalo de tiempo. Es decir, utilizando para el cálculo a todo el tiempo útil (desde -30 hasta +7 [µs] aproximadamente), luego sólo a un tiempo que incluya a toda la corriente de post-arco (generalmente a partir de -10 hasta +7 [µs]) y por ultimo se calculan los valores de los parámetros para el intervalo ±1[µs].

RESUMEN DE VALORES -30 / +7 [µS]					
Modelo	Estado	Parámetro	VAC40	VAC41	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	29,65	28,8	[kW]
		Tita	7,70	7,94	[µs]
	Variable	Potencia	16609,1 . g ^{0,401531}	5065,29 . g ^{0,593365}	[kW]
		Tita	2,14789 . g ^{0,772354}	4,228292 . g ^{0,544 E-5}	[µs]
Cassie	Constante	Tensión	443,548	185,514	[kV]
		Tita	22,83	22,19	[µs]
	Variable	Tensión	336,257 . g ^{0,150 E-7}	337,288 . g ^{0,468 E-9}	[kV]
		Tita	2,33393 . g ^{0,955884}	2,22101 . g ^{0,943638}	[µs]

Tabla N°7-4: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de -30 / +7 [µs].

Como puede verse en la tabla 7-4 y 7-3 la aproximación que se obtiene para la tensión del modelo de Cassie escogida como constante no es correcta y su valor erróneo es provocado por el brusco cambio de valores para la región próxima al cero de tiempo que no se verifica en otros tipos de interruptores.

RESUMEN DE VALORES -30 / +7 [μS]				
Modelo	Estado	Parámetro	Valor	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	37,4760	[kW]
		Tita	8,13649	[μs]
	Variable	Potencia	$19053,6 \cdot g^{0,513121}$	[kW]
		Tita	$2,42067 \cdot g^{0,816389}$	[μs]
Cassie	Constante	Tensión	216,092	[kV]
		Tita	22,2350	[μs]
	Variable	Tensión	$39545,9 \cdot g^{0,789744}$	[kV]
		Tita	$3,80490 \cdot g^{0,801852}$	[μs]

Tabla N°7-3: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de -30 / +7 [μs].

7.3.4.2.- Resultado de la simulación

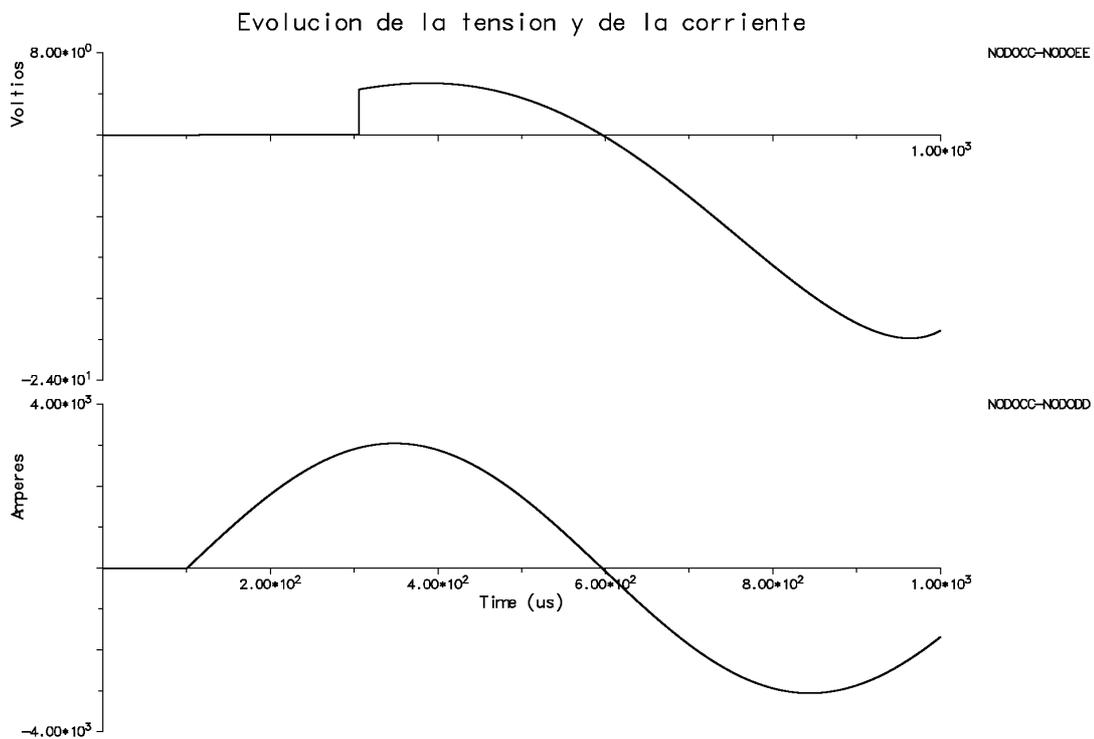


Figura N°7-9: Resultado de simular el ensayo, con parámetros calculados entre -30 y +7 [μs].

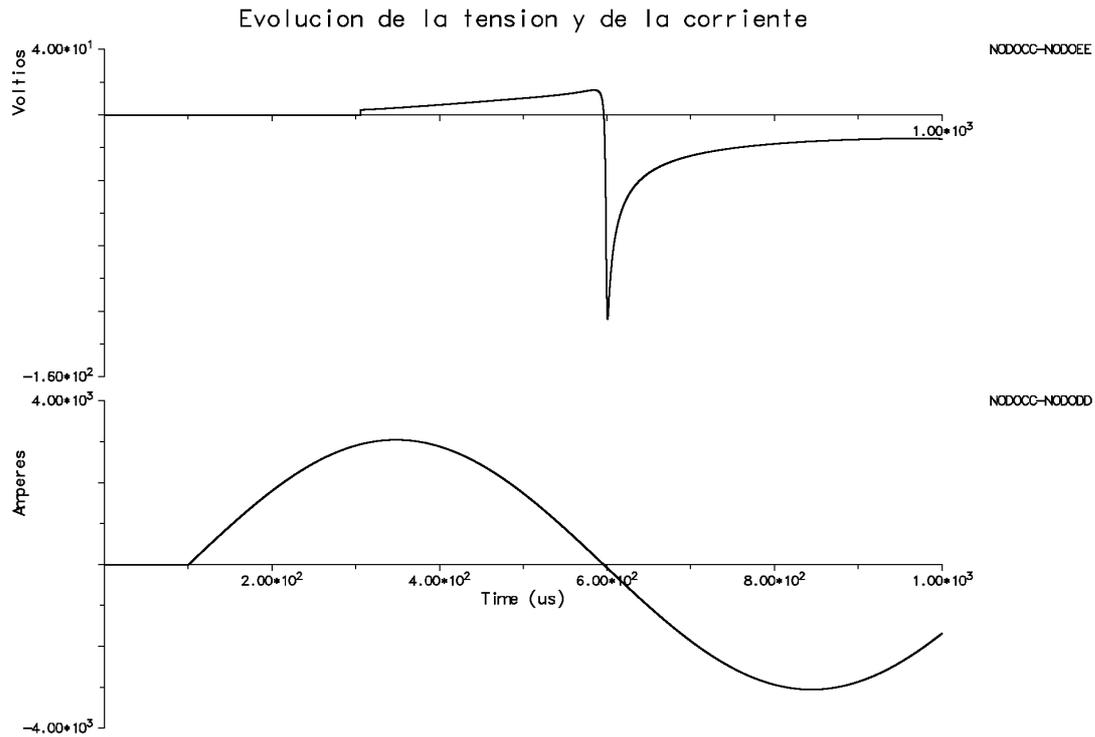


Figura N°7-8: Resultado de simular el ensayo, con parámetros calculados entre -10 y $+7$ [μ s].

7.3.4.- INTERVALO $-30 / +7$ [μ S]

Para estudiar lo que sucede en la región de alta corriente es necesario emplear el modelo de Cassie para el cual también hay que determinar los valores de sus parámetros en el mayor intervalo de tiempo posible; de manera de obtener un valor que sea representativo para el mayor tiempo posible. Así presentado el problema de la selección del tiempo a emplear, y de la observación de la figura 7-2, surge la posibilidad de utilizar el intervalo desde 30 [μ s] antes del primer cero, hasta 7 [μ s] posteriores al mismo, de forma que aquí también se incluye la corriente de post-arco.

7.3.4.1.- Determinación de los valores de los parámetros.

La tabla 7-3 resume los valores de los parámetros obtenidos según las opciones en estudio.

RESUMEN DE VALORES -10 / +7 [μS]				
Modelo	Estado	Parámetro	Valor	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	10,5574	[kW]
		Tita	2,27695	[μs]
	Variable	Potencia	$9211,71 \cdot g^{0,303717}$	[kW]
		Tita	$1,80346 \cdot g^{0,625465}$	[μs]
Cassie	Constante	Tensión	0,262276	[kV]
		Tita	6,77900	[μs]
	Variable	Tensión	$336,390 \cdot g^{0,539894 E -9}$	[kV]
		Tita	$2,81280 \cdot g^{0,913107}$	[μs]

Tabla N°7-2: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de -10/+7 [μs].

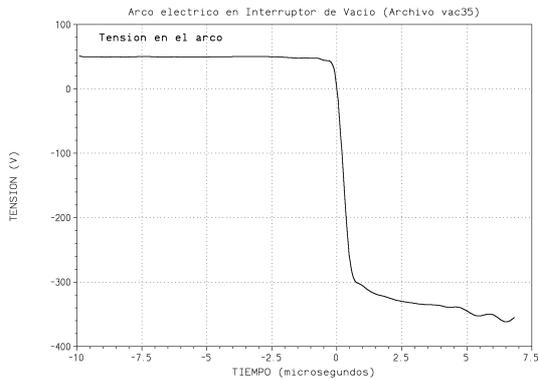
7.3.3.2.- Resultado de la simulación

En la figura 7-8 es posible observar la evolución de la tensión y la corriente para el arco en estudio, para el cual también se obtuvo una reignición del mismo al igual que lo ocurrido en el intervalo anterior. Realizadas todas las simulaciones posibles empleando estrictamente los valores obtenidos del cálculo y resumidos en la tabla 7-2, se obtuvieron para todos los casos reigniciones del arco eléctrico, con lo cual el problema de la simulación de un arco en un interruptor de vacío no sería dependiente del intervalo de tiempo empleado en el cálculo de sus parámetros.

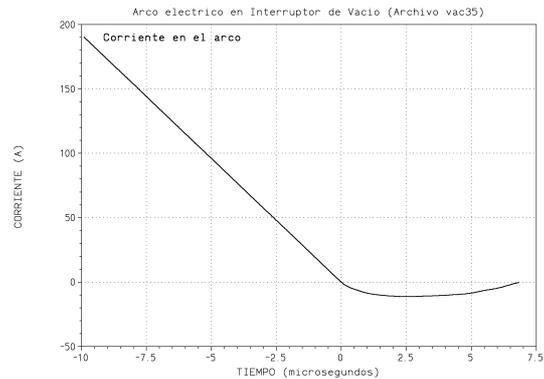
obtiene para el límite inferior de tiempo, de forma de evitar que el programa de cálculo o los modelos interpreten a estos datos como los provenientes de un ensayo con reignición.

7.3.3.1.- Determinación de los valores de los parámetros

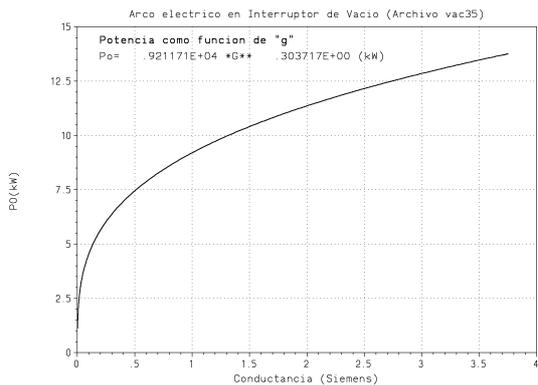
La figura 7-7 ejemplifica sobre el resultado de los cálculos para el intervalo en estudio con comportamiento de los parámetros como variables y la tabla 7-2 resume los valores calculados.



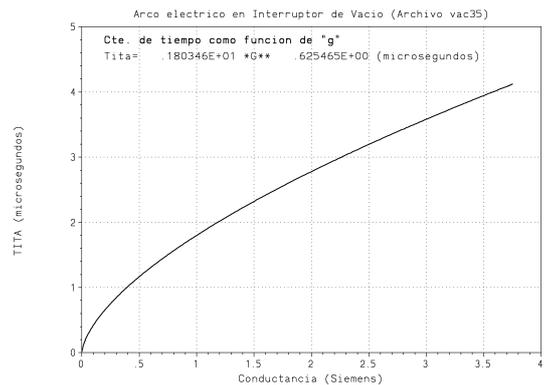
(a) Tensión



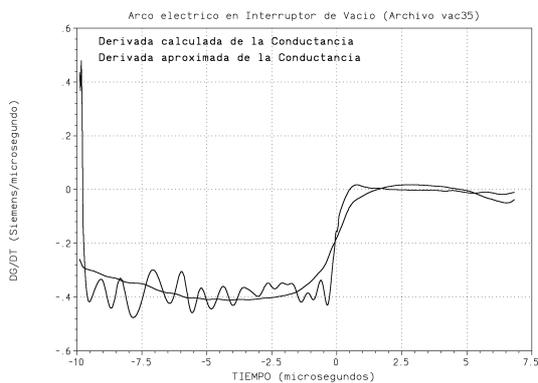
(b) Corriente



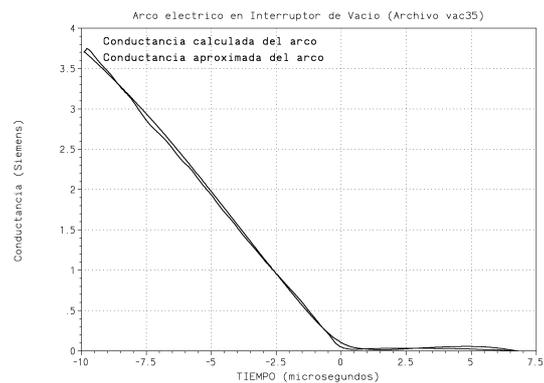
(c) Potencia aproximada



(d) Tita aproximada



(e) dg/dt calc. y aproximada



(f) Conductancia calc. y aproximada

Figura N°7-7: Determinación de los parámetros para el intervalo ± 10 [μ s].

En la figura anterior resulta necesario resaltar la excelente aproximación que se obtiene para la evolución de la conductancia del arco durante el ensayo, figura 7-7 (f).

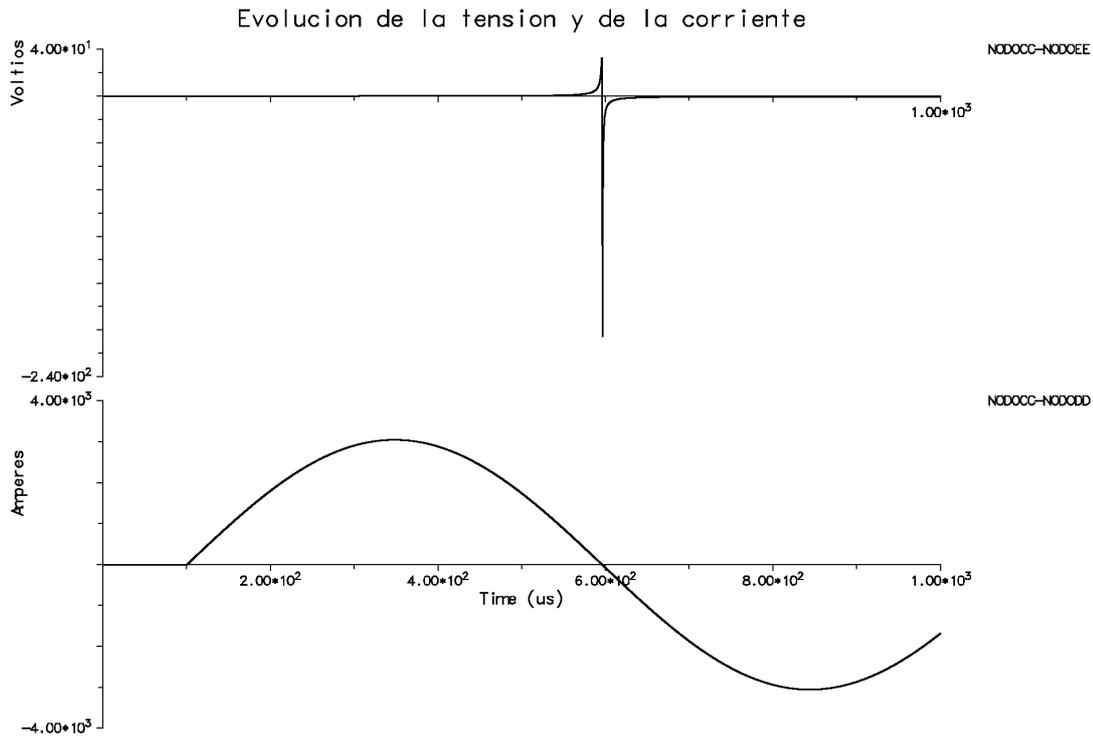


Figura N°7-5: Resultado de simular el ensayo, con parámetros calculados entre $\pm 1 \mu s$.

7.3.3.- INTERVALO $-10 / +7 \mu s$

Presentando nuevamente el comportamiento de la potencia en el arco luego de cortar los datos que provocaban la aparición de una resistencia negativa, en la figura 7-6, es posible hacer el siguiente análisis: Si en el intervalo $\pm 1 \mu s$ se han obtenido como resultado de todas las simulaciones a reigniciones, aquí se estudiará que ocurre si se amplía el intervalo de tiempo para el cálculo de los parámetros. Lo que se persigue en este apartado es incluir en el tiempo útil a la apertura final del arco eléctrico, que ocurre para tiempos próximos a $+7 \mu s$.

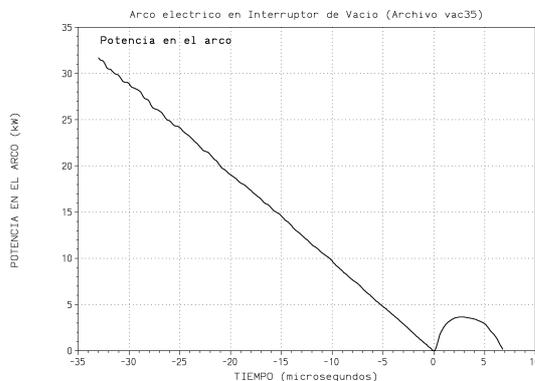


Figura N°7-6: Determinación del nuevo intervalo de tiempo.

Esta ampliación del tiempo a utilizar en los cálculos también debe satisfacer la condición de que la magnitud máxima de la corriente post-arco debe ser inferior a la que se

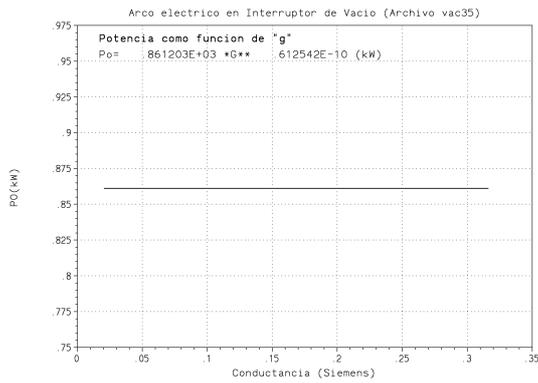
RESUMEN DE VALORES ± 1 [μs]				
Modelo	Estado	Parámetro	Valor	Unidad
Mayr	Constante	Potencia	0,861206	[kW]
		Tita	0,273159	[μs]
	Variable	Potencia	$861,203 \cdot g^{0,612542 E -10}$	[kW]
		Tita	$0,273153 \cdot g^{0,957837 E -8}$	[μs]
Cassie	Constante	Tensión	0,208809	[kV]
		Tita	0,873973	[μs]
	Variable	Tensión	$273,248 \cdot g^{0,493384 E -8}$	[kV]
		Tita	$2,72555 \cdot g^{0,790440}$	[μs]

Tabla N°7-1: Resumen de los valores de los parámetros para el intervalo de ± 1 [μs].

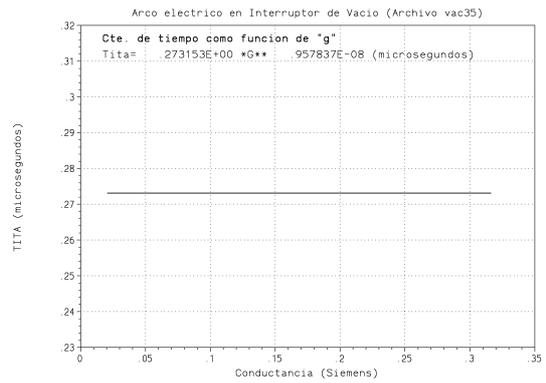
7.3.2.2.- Resultado de la simulación

Realizadas todas las simulaciones que son posibles en función de los valores de los parámetros expuestos en la tabla 7-1, se ha podido determinar que, en todas ellas sin excepción, se han obtenido reigniciones del arco eléctrico en todos los casos [8-10]. Una posible explicación a tal efecto, surge de la observación de la evolución de la corriente en la figura 7-4 (b) en donde se aprecia un comportamiento más parecido a una reignición que al de una apertura. Este comportamiento de la corriente se ve reflejado en valores que asumen los parámetros que son los correspondientes al de una reignición.

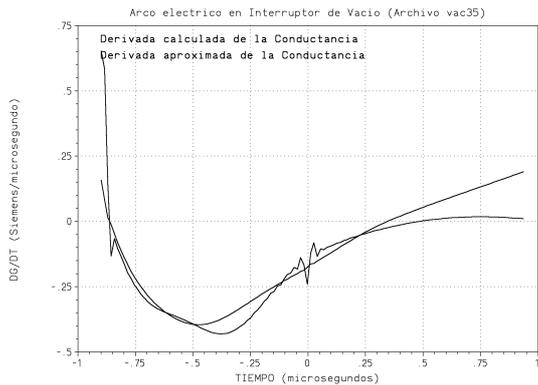
A modo de ejemplo, en la figura 7-5 se presenta sólo la simulación del ensayo empleando el modelo de Mayr con parámetros como variables, ya que en las restantes simulaciones posibles la evolución de la tensión y de la corriente en el arco son similares.



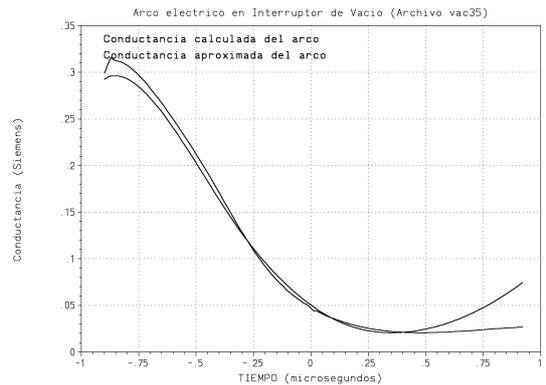
(c) Potencia aproximada



(d) Tita aproximada



(e) dg/dt calc. y aproximada



(f) Conductancia calc. y aproximada

Figura N°7-4: Determinación de los parámetros para el intervalo ± 1 [μs].

En la figura anterior, una simple vista de la evolución de los parámetros P_o y Q daría que pensar que se han tratado como constantes en el tiempo, pero no fue así. Su comportamiento prácticamente lineal se debe a que la forma general de las curvas de la tensión y de la corriente, figuras 7-4 (a) y (b), son absolutamente suaves y libres de ondulaciones. Por otra parte, cuanto más imperfecciones posean mayores son las variaciones de los parámetros del modelo.

Si bien la figura 7-4 sólo ejemplifica sobre el comportamiento de las principales variables alrededor del cero de tiempo, también se han calculado los valores de los parámetros pero esta vez como constantes y también para el modelo de Cassie, que se resumen en la tabla siguiente.

presentado en la figura 5-11, los valores de los componentes son diferentes y se pueden apreciar en la figura siguiente.

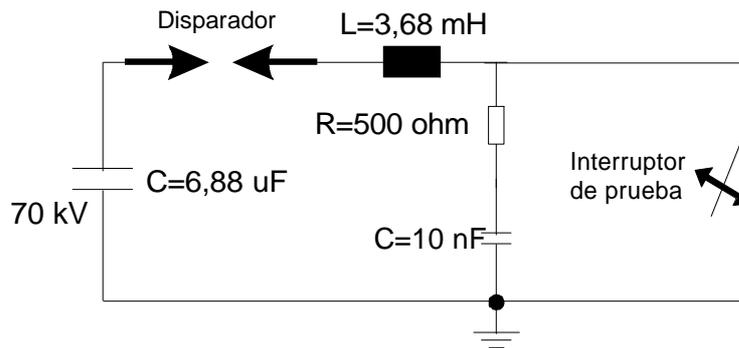


Figura N°7-3: Detalle del circuito eléctrico usado en los ensayos.

En la figura anterior, donde la principal diferencia con el interruptor de SF6 es la tensión a la cual se realiza el ensayo, falta agregar una capacidad de valor igual 200 [pF], que se encuentra paralela al interruptor en ensayo. Esta capacidad se debe a la presencia del divisor de tensión, que capta la señal de tensión, y que sí se tiene en cuenta para las simulaciones.

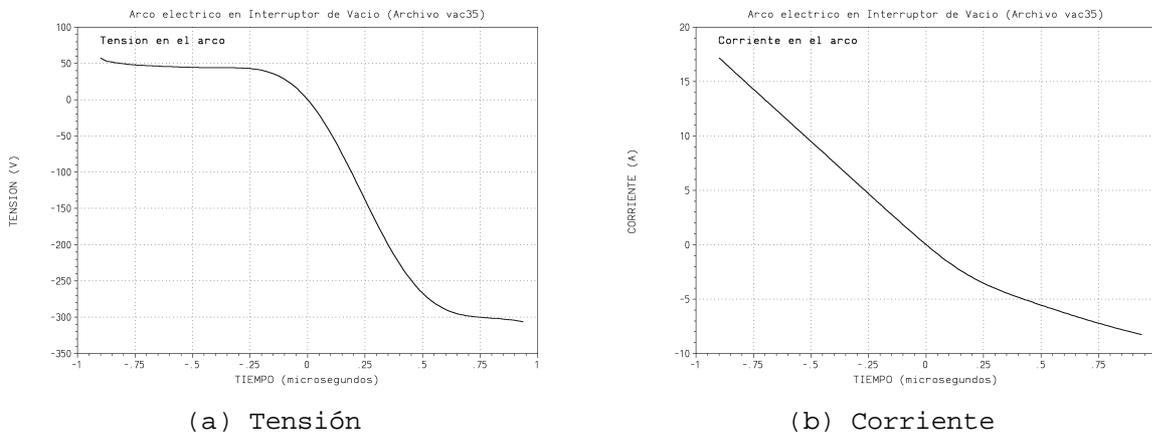
7.3.2.- INTERVALO ± 1 [μ s]

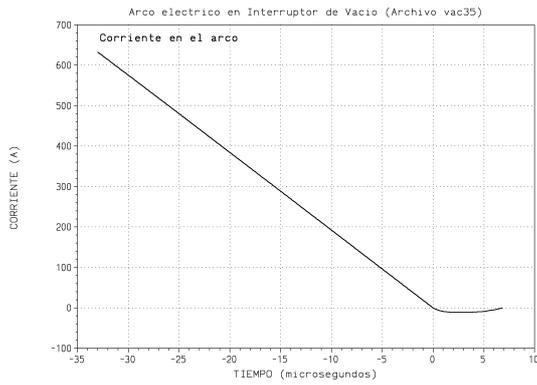
Al igual que lo realizado en capítulos anteriores, a partir de los datos de los ensayos hay que determinar los valores de los parámetros de los modelos a utilizar durante las simulaciones [5-7]. En este punto se comienza con el empleo del modelo de Mayr por lo cual hay que determinar la potencia y la constante de tiempo del arco.

Aprovechando la experiencia obtenida de los cálculos para otros tipos de interruptores, se comienza con el cálculo de los parámetros entre ± 1 [μ s], alrededor del cero de tiempo, para los parámetros del modelo de Mayr. Mientras que para el modelo de Cassie se utiliza el mayor tiempo posible según se verá luego.

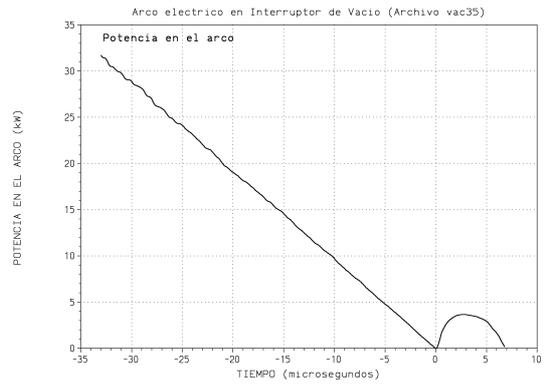
7.3.2.1.- Determinación de los valores de los parámetros

Descartando aquellos puntos que no se encuentren en la región correcta, se procedió a ejecutar el programa según el Método Asturiano de cálculo con tratamiento de los parámetros como variables, con lo cual se obtuvo la figura 7-4.

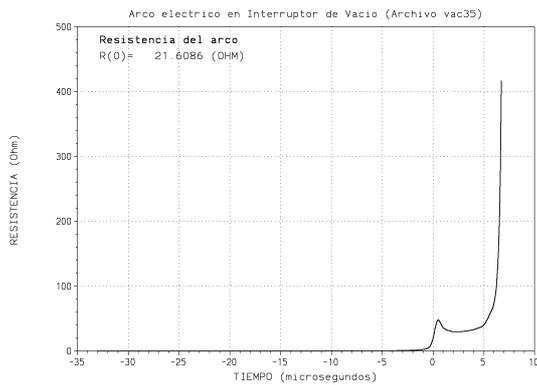




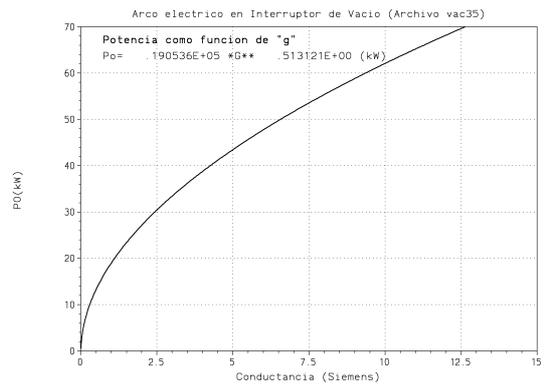
(a) Corriente



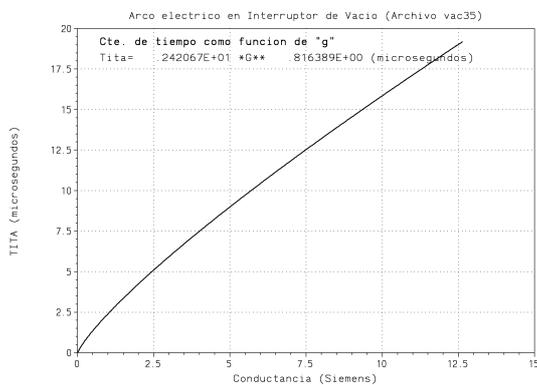
(b) Potencia



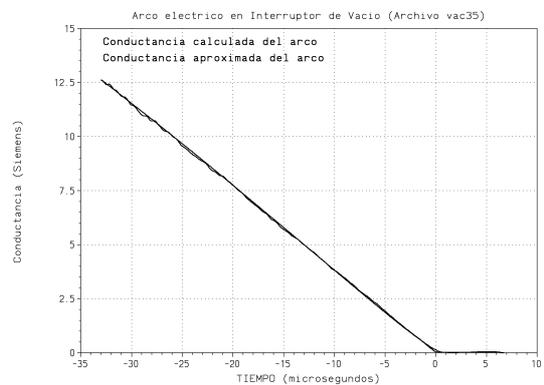
(c) Resistencia



(d) Potencia aproximada



(e) Tita aproximada



(f) Conductancia calc. y aproximada

Figura N°7-2: Evolución de las variables eléctricas seleccionando el tiempo útil.

A partir de la obtención de la figura anterior donde ya se han limpiado aquellos puntos que provocaban distorsiones en los cálculos, se pueden realizar las simulaciones de los ensayos realizados siempre y cuando se tenga el circuito eléctrico utilizado durante el ensayo, los modelos matemáticos a emplear y los valores de los parámetros que estos últimos incluyan.

7.3.- SIMULACIONES DE LOS ENSAYOS

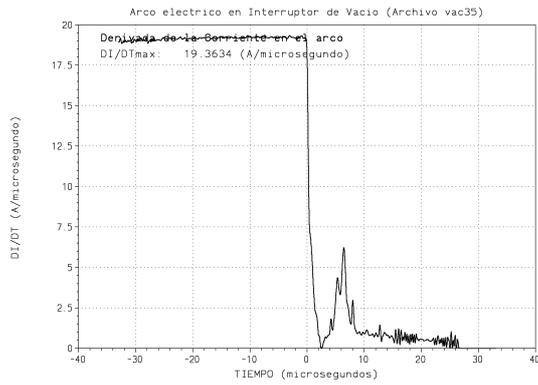
7.3.1.- EL CIRCUITO UTILIZADO

Al igual que el interruptor de hexafluoruro de azufre, para ensayar uno de vacío como el que aquí se emplea, es necesario emplear un circuito de inyección de corriente tal cual fue comentado en el Capítulo 4. Si bien, el circuito de alta tensión que se utiliza es similar al

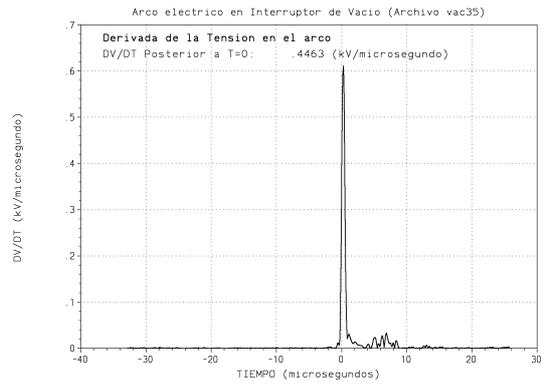
La figura 7-1 ejemplifica sobre la evolución de las principales variables eléctricas durante la realización del ensayo de cortocircuito en un interruptor de vacío. También se muestran otras variables y aproximaciones que se obtienen de la ejecución del programa de cálculo según el Método Asturiano. En la misma es necesario realizar una serie de observaciones que son particulares de los interruptores de vacío:

- ▷ La tensión del arco, figura 7-1 (a), durante la operación de apertura es sumamente baja, entre 20 y 50 [V] aproximadamente; si se la compara con la tensión existente en otros medios extintores,. Esto causa grandes dificultades a la hora de registrarla con medios habituales de medición, ya que su magnitud es de orden similar al ruido que se obtiene en los sistemas modernos de captación de datos. A causa de lo anterior, son muy pocos los laboratorios capaces de registrar correctamente un arco en un interruptor de vacío, más aún si se tiene en cuenta la amplitud de variación de la tensión a lo largo del ensayo.
- ▷ La figura 7-1 (b), muestra la corriente durante el arco y se puede observar un cambio de sentido luego de su paso por cero, provocando un tratamiento especial de los datos para el cálculo de los parámetros del arco que luego se explicará. Por otra parte, y si se la compara con la corriente post-arco de otros tipos de interruptores, la magnitud de la corriente luego del paso por cero es muy superior a las habituales y alcanza los 20 [A] aproximadamente. Esta particularidad del interruptor de vacío trae otras complicaciones a la hora de simularlo con las herramientas habituales, como posteriormente se mostrará.
- ▷ En lo que respecta a la potencia, figura 7-1 (c), el cambio de sentido de la corriente origina la aparición de una potencia negativa físicamente imposible en el arco ya que, según la convención de signos adoptada en el tratamiento realizado, equivaldría a un aporte de potencia en forma de calor desde el medio refrigerante al arco eléctrico.
- ▷ La conductancia del arco y su derivada, figuras 7-1 (d) y (f) respectivamente, responden a las formas habituales de variación para el caso de una apertura.
- ▷ La inversión del sentido de la corriente origina en la curva de la resistencia del arco, figura 7-1 (e), la aparición de una resistencia negativa que no se corresponde con la realidad. Este instante de tiempo, donde se produce un pico de resistencia negativa, determina el rango de tiempo donde los datos obtenidos del ensayo son útiles para el cálculo de los parámetros.
- ▷ Por su parte las derivadas de la corriente y de la tensión, figuras 7-1 (g) y (h), poseen formas de curvas ya conocidas en otros interruptores.
- ▷ En cambio, la aparición de una parte negativa en el eje de abscisas para las aproximaciones obtenidas para la potencia y la constante de tiempo, figuras 7-1 (i) y (j), indican la necesidad de adaptar convenientemente los datos originales ya que una inversión en la polaridad de la corriente es la causa de estas irregularidades.
- ▷ Para finalizar las figuras 7-1 (m) y (n), muestran las aproximaciones que se logran luego de ejecutar los programas de cálculo de parámetros. Para este caso en particular se utilizó el Método Asturiano con parámetros constantes para el modelo de Mayr.

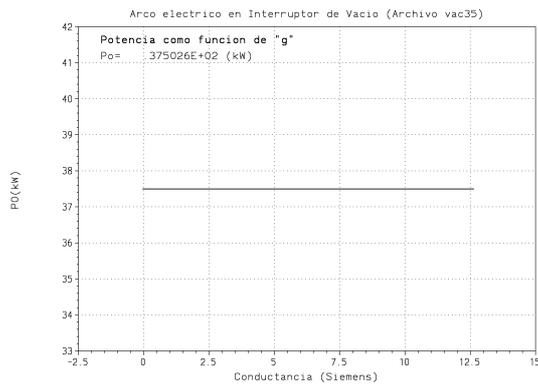
Seleccionando convenientemente el rango de tiempo de los datos, de forma de evitar resistencias y potencias negativas, se obtiene la figura 7-2 en la cual se puede apreciar la excelente aproximación que se logra para la conductancia del arco, en la figura 7-2 (f).



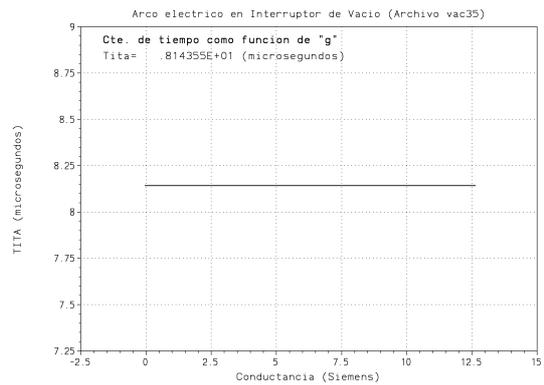
(g) Derivada de la corriente



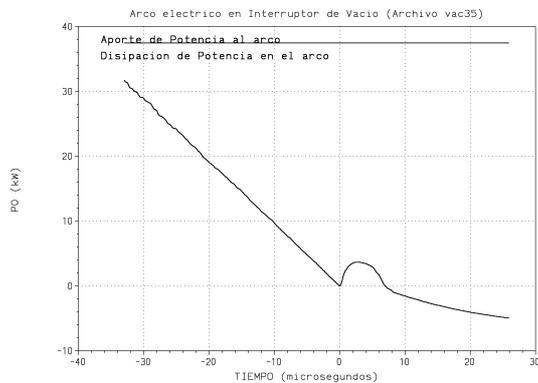
(h) Derivada de la tensión



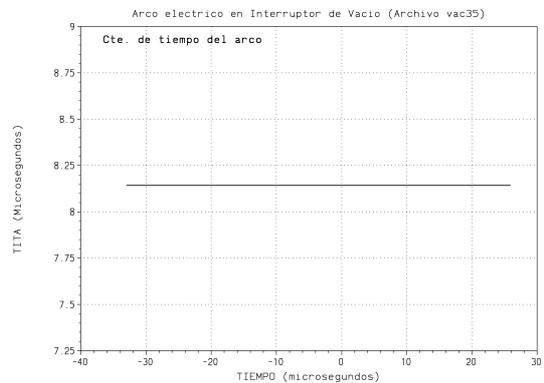
(i) Potencia aproximada



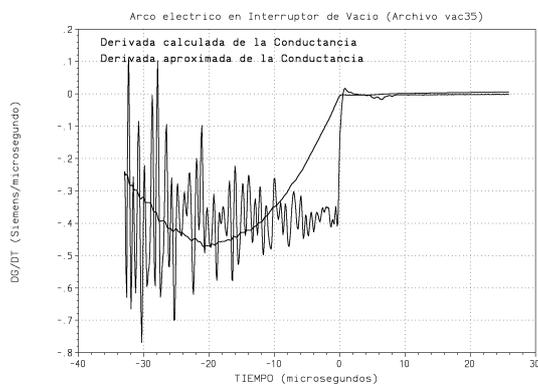
(j) Tita aproximada



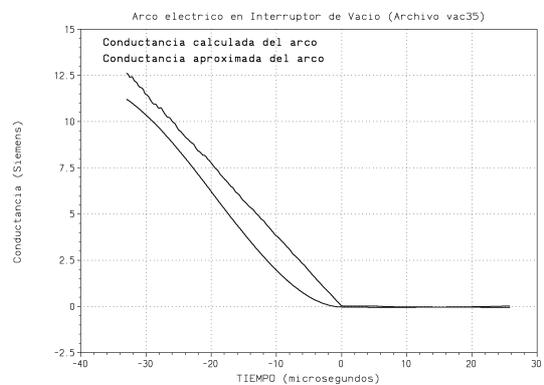
(k) Potencias en el arco



(l) Tita en el arco



(m) Derivada de la conductancia calculada y aproximada

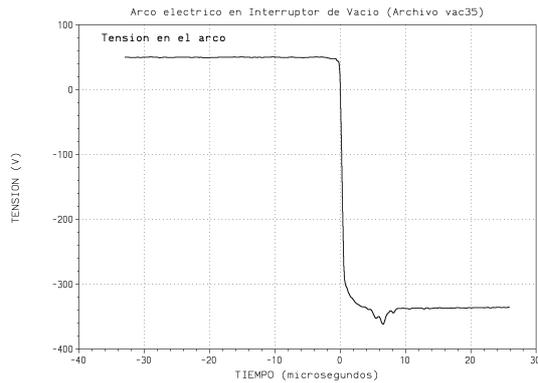


(n) Conductancia calculada y aproximada

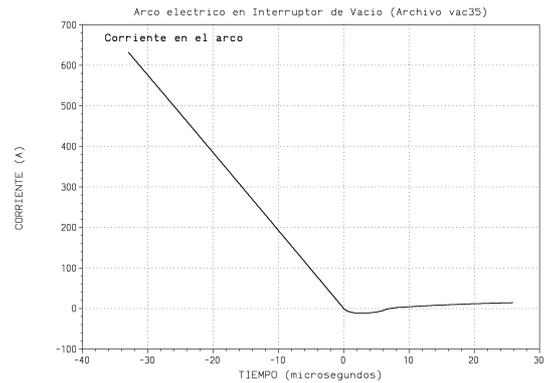
Figura N°7-1: Evolución de las variables eléctricas empleando todo el tiempo.

7.2.- EL ENSAYO DEL INTERRUPTOR DE VACÍO

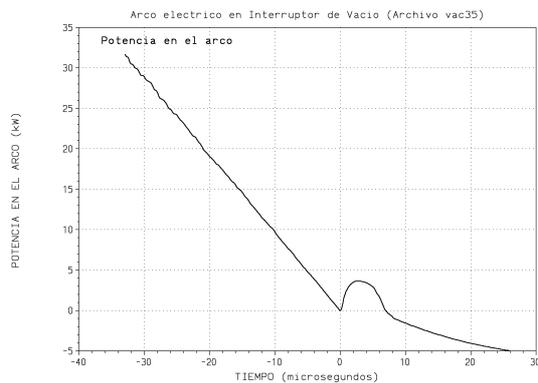
La ejecución de los ensayos de cortocircuito para los interruptores de vacío como así también, la normativa aplicable, es similar a la comentada anteriormente para los interruptores de SF6. De acuerdo a lo anterior, al interruptor de vacío de alta capacidad, también se lo debe ensayar utilizando un ensayo sintético de inyección de corriente, tal cual el mostrado en la figura 4-1 y de acuerdo a la Norma IEC 427 “Synthetic testing of high-voltage alternating circuit breakers” [4]. La figura 7-1, muestra el resultado de uno de estos ensayos donde se registró la apertura exitosa del interruptor.



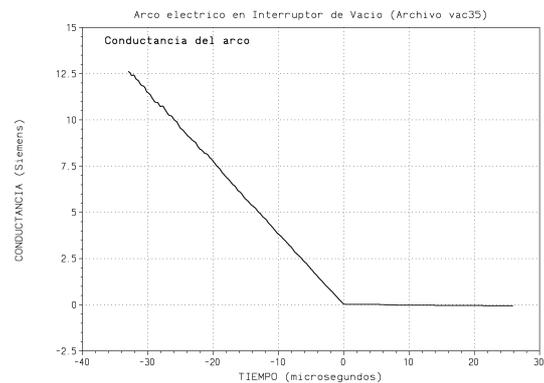
(a) Tensión



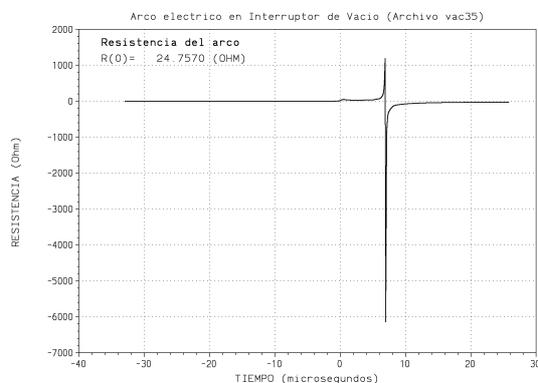
(b) Corriente



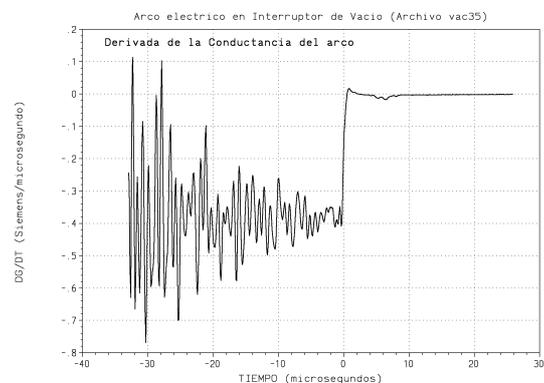
(c) Potencia



(d) Conductancia



(e) Resistencia



(f) Derivada de la conductancia

CAPITULO 7:

Simulación de un Interruptor de Vacío en Media Tensión

7.1.- INTRODUCCIÓN

La técnica de corte de corriente en un ambiente de vacío fue conocida en los años 30 a partir de los cuales se comenzaron a desarrollar pequeños interruptores que aprovechaban diversas ventajas de este tipo de corte de corriente [1-3]. Algunas de las cuales son:

- ▷ El vacío se limita a una cámara o polo de interrupción no emitiendo ninguna clase de gas, flama o líquido alguno.
- ▷ No requiere ningún tipo de mantenimiento y en la mayoría de los casos, la cámara de vacío resiste más que el mecanismo asociado al interruptor.
- ▷ Pueden ser utilizados en cualquier posición.
- ▷ No son inflamables
- ▷ La energía mecánica necesaria para provocar la separación de los contactos es reducida.
- ▷ Son completamente silenciosos.

Por otra parte, el costo necesario para lograr la cámara de interrupción, que es donde se aloja el alta vacío, era históricamente elevado habiéndose reducido los costos de fabricación a niveles que permiten su competencia con otros tipos de interruptores en la actualidad. Con la evolución del tiempo, se han empleado y mejorado diversas técnicas que permiten en la actualidad la utilización de estos interruptores hasta en varios decenas de kilovoltios cortando corrientes de hasta 30 o 40 [kA], mediante la utilización de varias cámaras en serie.

Básicamente, el proceso de corte de la corriente consiste en la interrupción de un arco eléctrico que se forma entre dos contactos metálicos que se van separando en un ambiente confinado de alto vacío, entre 10^{-2} y 10^{-5} [Pa]. Este arco eléctrico puede presentar dos aspectos diferentes: el primero es un aspecto difuso o de mancha y es consecuencia del paso de poca corriente y por lo tanto tiene una alta capacidad para interrumpir el arco. Mientras que, para altas corrientes, se presenta como un arco restringido a un canal de circulación de corriente presentando poca habilidad para obtener el corte. El cambio entre uno y otro aspecto es consecuencia del tipo de contactos, de su material y también de la naturaleza de la corriente que lo circula.

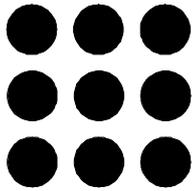
En la actualidad se encuentran en estudio diversos materiales o combinaciones de estos, para recubrir los contactos eléctricos y así mejorar la aptitud frente al corte de corriente. Los elementos más usuales son cobre, plata, zinc, mercurio, cadmio, magnesio, etc.; e independiente de ellos la mejor forma de probar su capacidad de apertura frente a una corriente elevada, es la realización del ensayo de cortocircuito a partir del cual se pueden estudiar diferentes aspectos relacionados al corte de corriente.

RESUMEN

En este capítulo se utilizan ensayos de Interruptores de Vacío de Media Tensión para aplicar la metodología desarrollada en los primeros capítulos para la representación de interruptores, de forma de poder generalizarla a otros tipos de Interruptores y a otros niveles de tensión.

Así se comienza con una descripción de las particularidades de los arcos eléctricos en Interruptores de Vacío a través de una descripción del comportamiento de las principales variables durante el ensayo en cortocircuito. Brindándose luego un análisis de la influencia del intervalo de tiempo utilizado para el cálculo de los parámetros sobre el valor de los mismos y relacionándolo con el resultado de la simulación del ensayo a partir de modelos ya estudiados en capítulos anteriores.

Para finalizar se investigan los aquellos valores de parámetros que aseguran un comportamiento afín con el ensayo a partir del cual se procedió a su cálculo con programas desarrollados oportunamente.



Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Enginyeria Elèctrica

CAPITULO 7:

SIMULACIÓN DE UN INTERRUPTOR DE VACÍO EN MEDIA TENSIÓN