

Análisis De Resultados

5.1. INTRODUCCION

En el capítulo anterior se observó el comportamiento del estimado al punto fallado con y sin carga, así como las ventajas que ofrece el filtrado de la señal con un filtro de Butterworth orden 5.

A continuación se analiza con detalle la distancia al punto fallado y el comportamiento característico de la respuesta al corto circuito monofásico con el uso del algoritmo de la ecuación diferencial.

5.2 ANALISIS DE LA FALLA AL 10% DE LA LINEA DE TRANSMISION SIN FILTRO DE BUTTERWORTH.

Para el estimado al punto fallado el elemento resistivo no aporta información significativa de la distancia al punto fallado. La siguiente figura muestra los 3 primeros ciclos de haber ocurrido la falla.

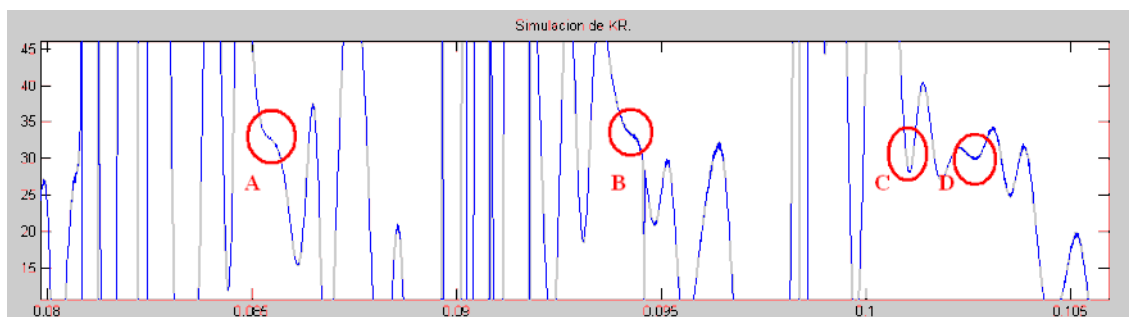


Figura 5.1. Análisis del estimado KR al 10% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

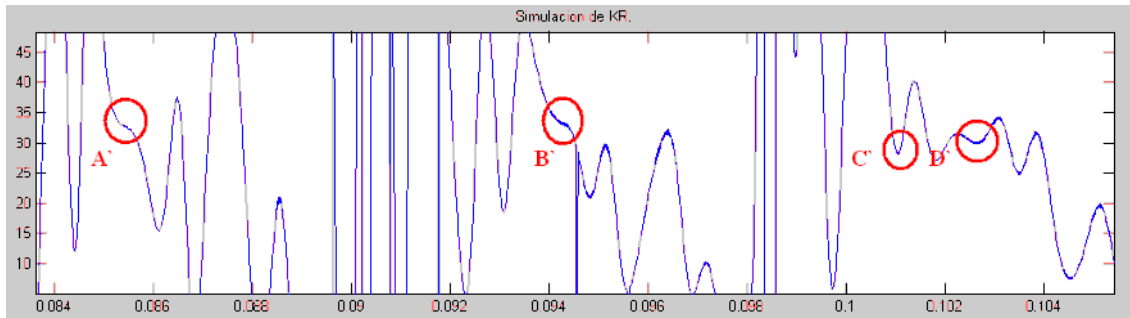


Figura 5.2. Análisis del estimado KR al 10% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

La falla fue simulada a 30 Km. Se aprecia como la grafica del estimado al punto fallado con y sin carga tiende a mantenerse aproximadamente en 33 KM. Y como la respuesta de la magnitud y frecuencia no se altera con y sin carga. Se llama A, B, C, Y D. a los instantes del la localización de la falla con carga, y se llama A`, B`, C`, Y D`. A los instantes del la localización de la falla sin carga. El instante A es el mismo que A` al igual que $B = B`$, $C = C`$ y $D = D`$.

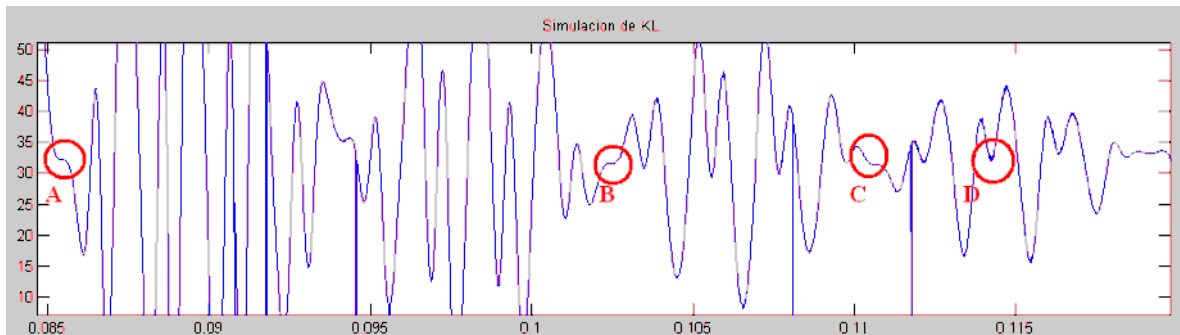


Figura 5.3. Análisis del estimado KL al 10% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

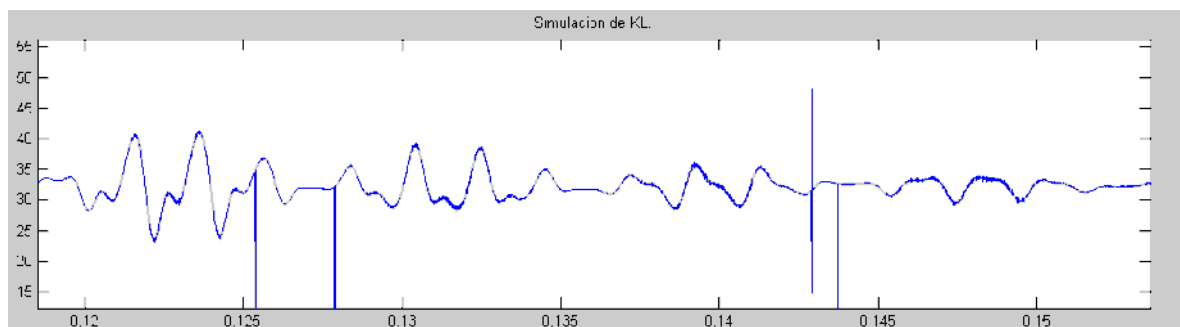


Figura 5.4. Análisis del estimado KL al 10% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 6 primeros ciclos de falla.

El elemento inductivo para la falla muestra más puntos en la cual se puede apreciar la distancia al punto fallado. Aproximadamente 33 Km.

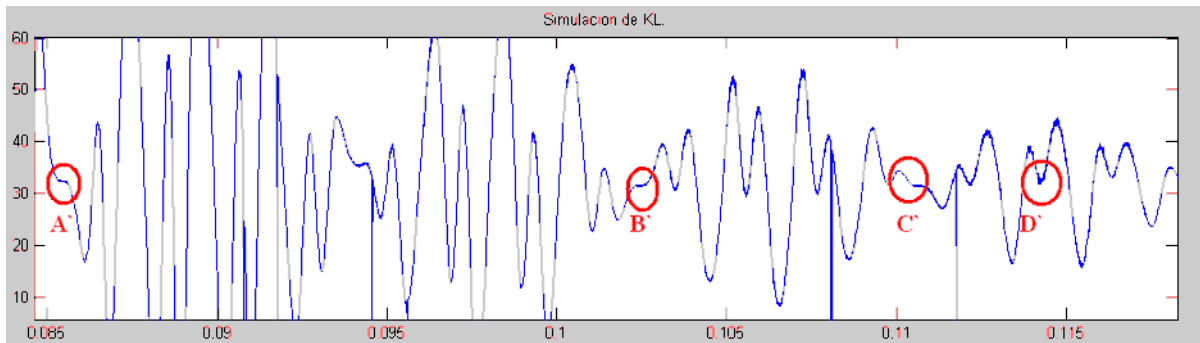


Figura 5.5. Análisis del estimado KL al 10% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

Al igual que en el elemento resistivo la falla con carga y sin carga no tiene aportaciones significativas en el estimado al punto fallado.

Para la falla monofásica sin filtro en los 3 primeros ciclos aporta poca información al punto fallado, entre el tercer y sexto ciclo la información al punto fallado ya es mas clara y se puede obtener una buena aproximación al lugar de la falla.

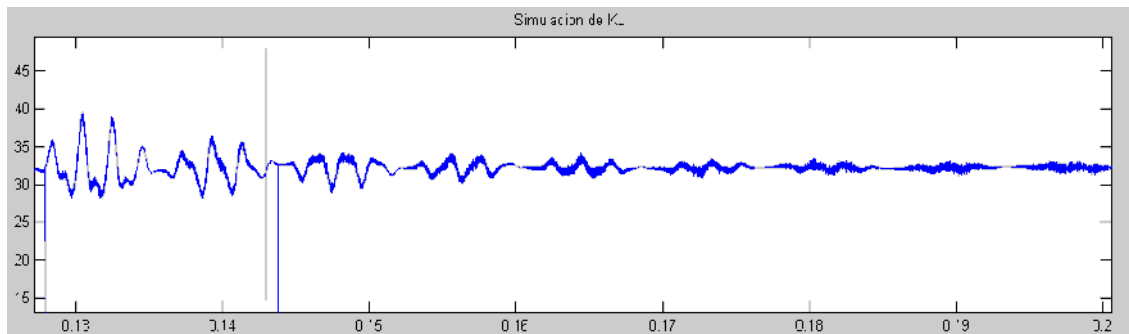


Figura 5.6. Análisis del estimado KL al 10% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 6 primeros ciclos de falla.

5.3 ANALISIS DE LA FALLA AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION SIN FILTRO DE BUTTERWORTH.

Para el estimado al punto fallado en el elemento resistivo la siguiente figura muestra los 3 primeros ciclo de haber ocurrido la falla.

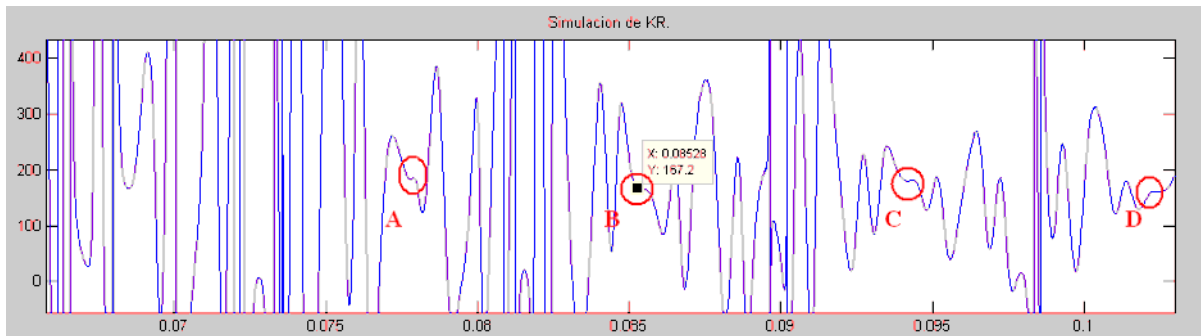


Figura 5.7. Análisis del estimado KR al 50% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

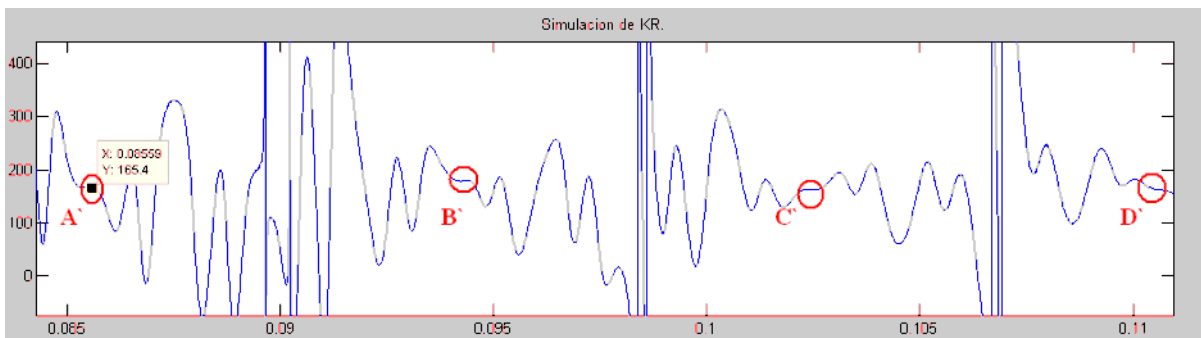


Figura 5.8. Análisis del estimado KR al 50% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

Se llama A, B, C, Y D. a los instantes de la localización de la falla con carga a los instantes de la localización de la falla sin carga. A', B', C', Y D'. El instante A es el mismo que A' al igual que B = B', C = C' y D = D'. La falla esta aproximadamente a 165 Km.

Para el elemento inductivo a continuación se muestran las siguientes figuras para el estimado al punto fallado.

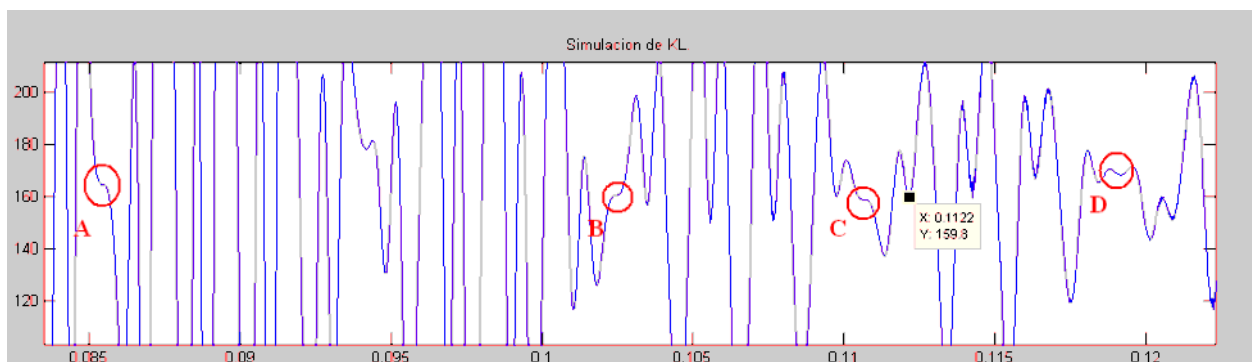


Figura 5.9. Análisis del estimado KL al 50% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

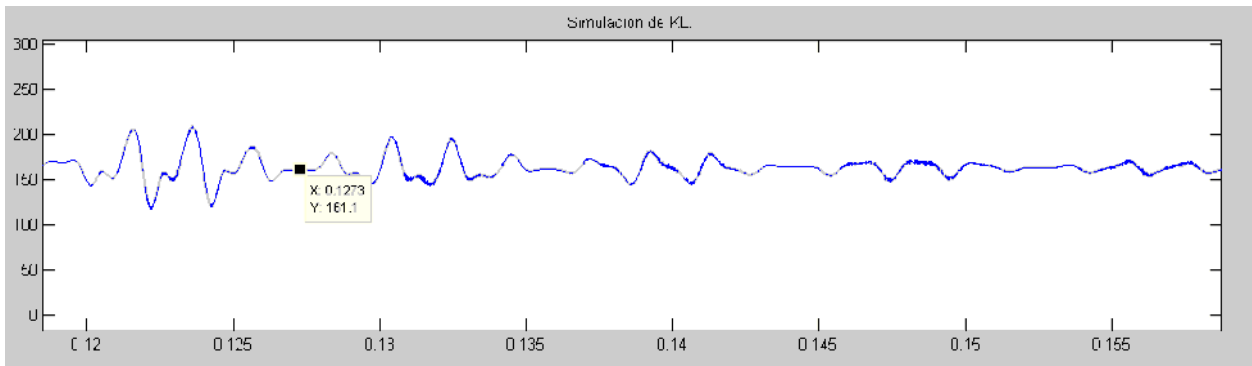


Figura 5.10. Análisis del estimado KL al 50% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 6 primeros ciclos de falla.

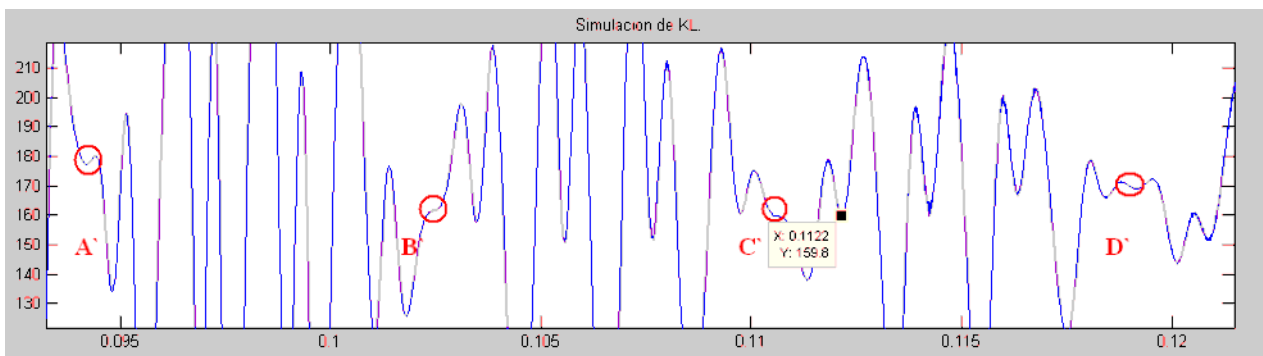


Figura 5.11. Análisis del estimado KL al 50% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

En el análisis con carga se aprecia que no hay cambio el estimado al punto fallado en el mismo instante de la falla sin carga, claramente se puede apreciar que la magnitud de la señal y la frecuencia no se afecta. La falla esta localizada a aproximadamente a 165 Km.

5.4 ANALISIS DE LA FALLA AL 90% DE LA LINEA DE TRANSMISION SIN FILTRO DE BUTTERWORTH.

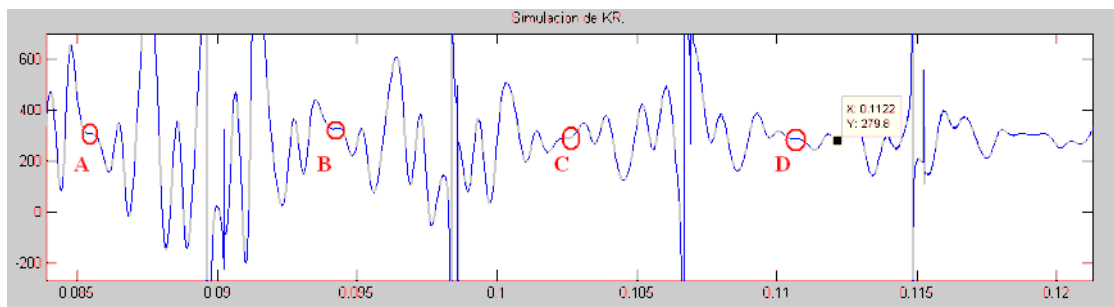


Figura 5.12. Análisis del estimado KR al 90% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

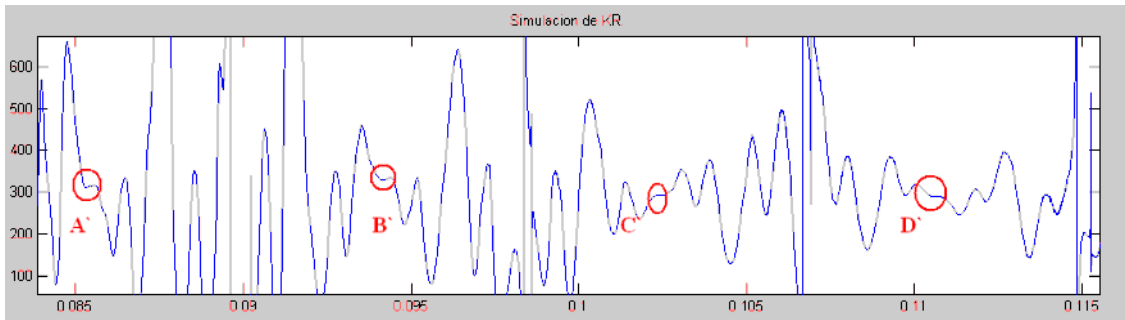


Figura 5.13. Análisis del estimado KR al 90% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

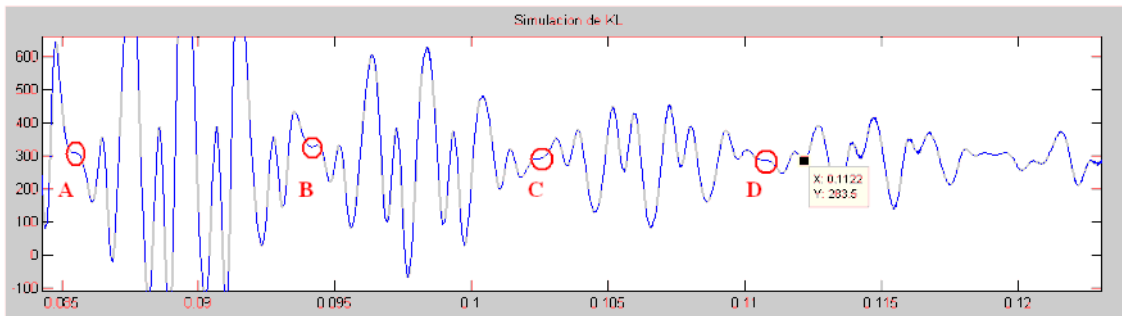


Figura 5.14. Análisis del estimado KL al 90% de la línea de transmisión con carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

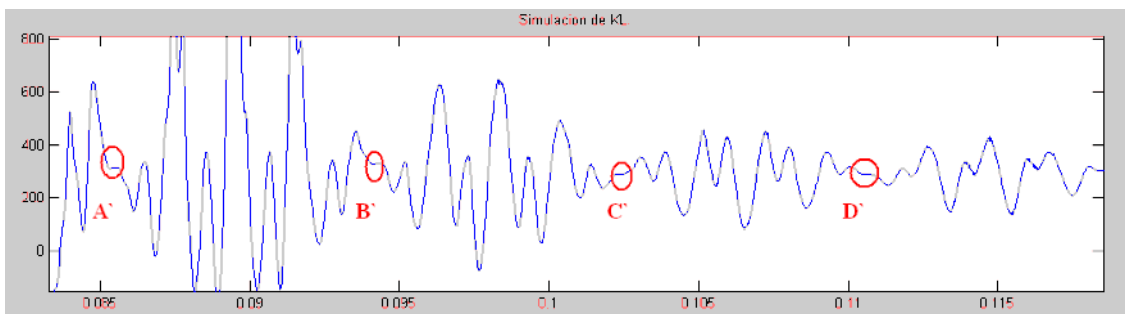


Figura 5.15. Análisis del estimado KL al 90% de la línea de transmisión sin carga y sin filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

Al igual que para la falla al 10% y 50% el estimado al punto fallado sin filtro de Butterworth con carga y sin carga para los elementos KL Y KR no tiene una buena aproximación al punto fallado ya que la distancia al punto fallado es de 300 Km. Ante una falla al 90% de la longitud total de la línea

5.5 ANALISIS DE LA FALLA AL 10% DE LA LINEA DE TRANSMISION CON DE FILTRO DE BUTTERWORTH.

De los resultados obtenidos para la falla al 10% de la línea de transmisión en la siguiente figura se puede apreciar la respuesta del algoritmo en los 3 y 6 primeros ciclos de la falla monofásica con filtro de Butterworth.

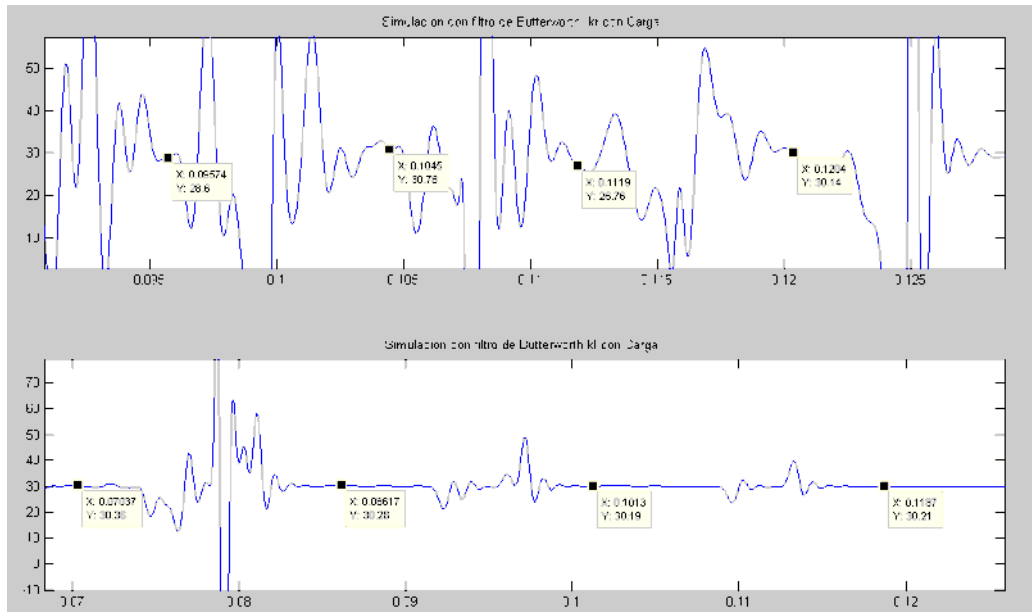


Figura 5.16. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

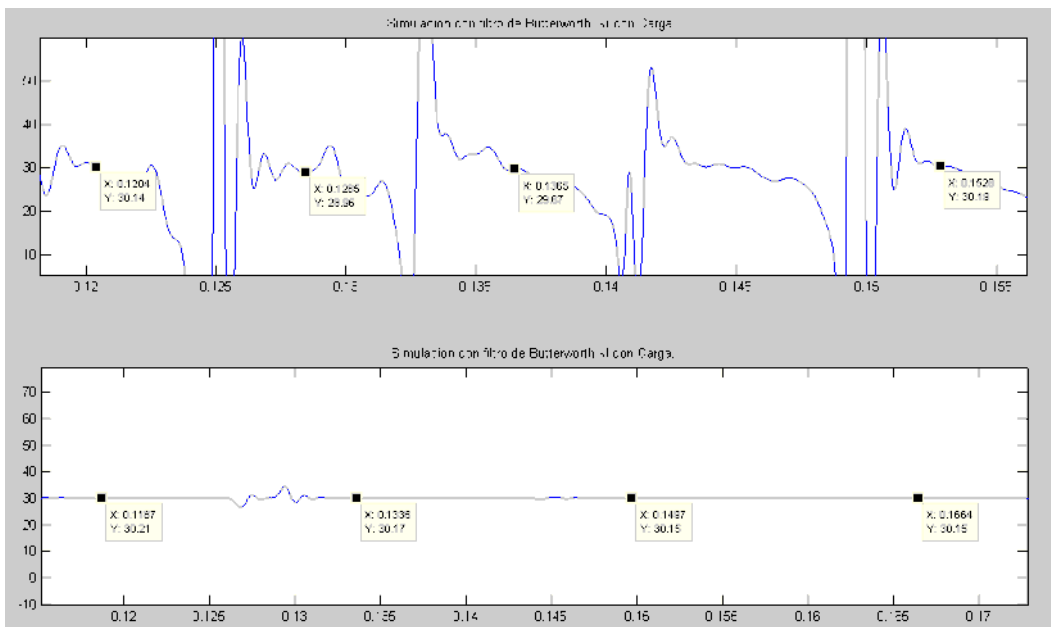


Figura 5.17. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 6 primeros ciclos de falla.

Para la falla monofásica con carga y sin carga, el estimado al punto fallado es el mismo, en la ventana del elemento inductivo la información es mas confiable ya que la curva del estimado tiende a mantenerse en una distancia y en un tiempo un poco mas corto de haber ocurrido la falla.

La distancia al punto fallado en el elemento resistivo para la falla al 10% muestra una localización de 30 Km. Aunque comparando el elemento inductivo contra el elemento resistivo tiene mucho más precisión y es mucho más rápido el elemento inductivo, la distancia aproximada al punto fallado para kl es de 30 Km. y en el ciclo 4,5,y 6 se mantiene por un estimado constante de 30.15 Km.

5.6 ANALISIS DE LA FALLA AL 50% DE LA LINEA DE TRANSMISION CON DE FILTRO DE BUTTERWORTH.

La falla monofásica con carga y sin carga, el estimado al punto fallado tiene el mismo comportamiento en la simulación hecha en Matlab y Atp Draw, ya que en la ventana del elemento resistivo es mas confiable la distancia de localización de falla, pero es mas rápido que con la simulación sin filtro ya que la curva del estimado tiende a mantenerse en una distancia y la información para obtener el punto fallado se obtiene en los 3 primeros ciclos.

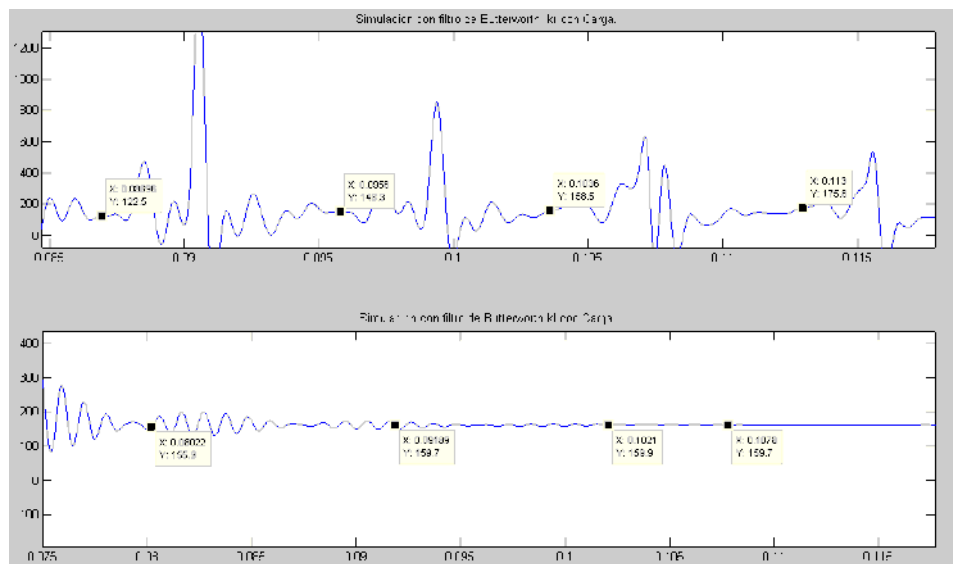


Figura 5.18. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

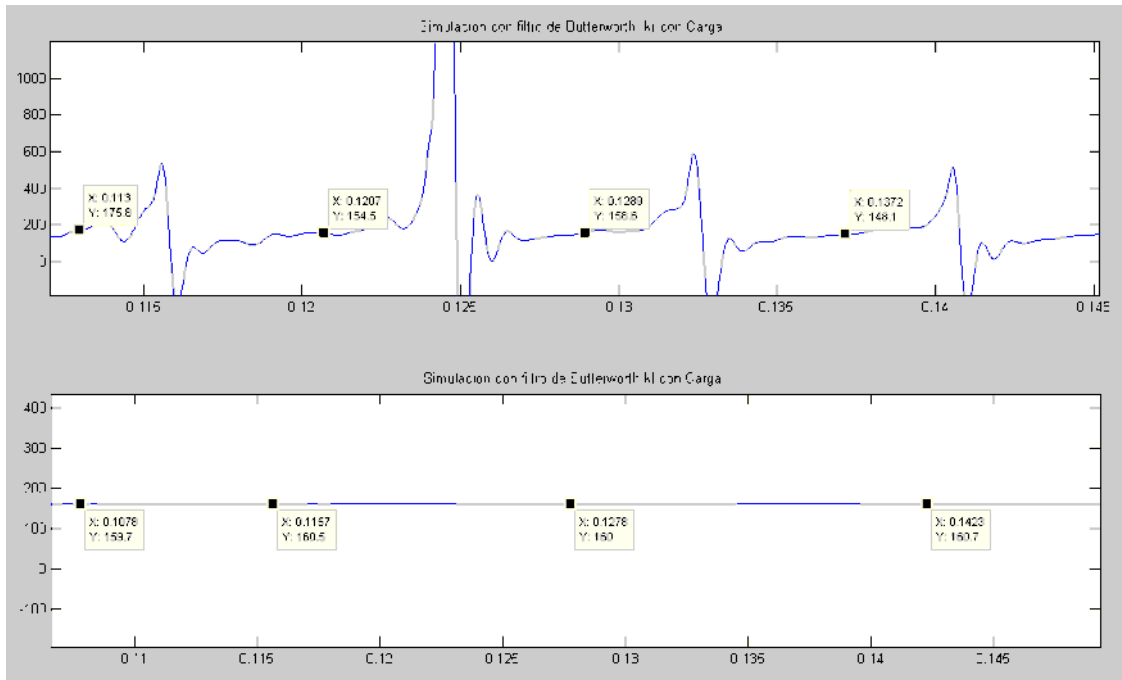


Figura 5.19. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 6 ciclos de falla.

El punto fallado en el elemento resistivo, para la falla al 50% muestra una distancia de localización de 159 Km. comparando el elemento inductivo contra el elemento resistivo tiene mucho más información y es mucho más rápido el elemento inductivo, la distancia aproximada al punto fallado para kl es de 159 Km. y en el ciclo 4, 5, y 6 se mantiene ya un estimado constante de 160 Km.

5.7 ANALISIS DE LA FALLA AL 90% DE LA LINEA DE TRANSMISION CON DE FILTRO DE BUTTERWORTH.

En la falla al 90% de la línea de transmisión, el estimado al punto fallado tiene el mismo comportamiento en la simulación hecha en Matlab y Atp Draw que la falla al 10% y 50%, ahora en la ventana del elemento resistivo muestra la distancia a la localización de falla, pero es un mas rápido que con la simulación sin filtro, la curva del estimado tiende a mantenerse en una distancia y la información para la distancia de falla.

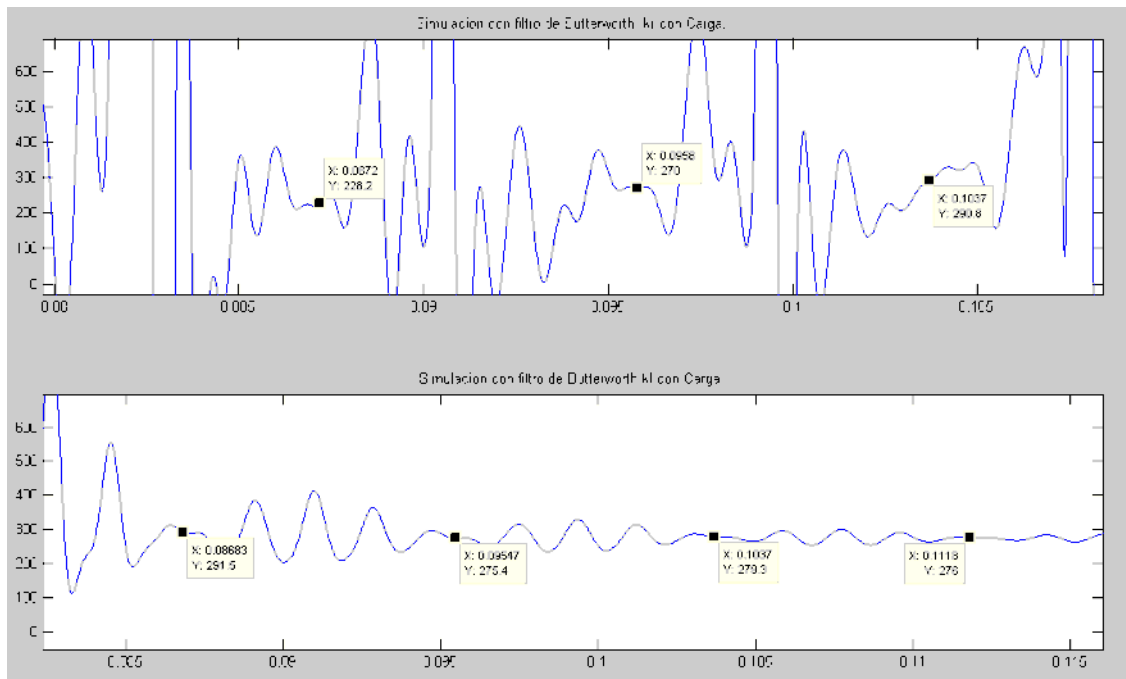


Figura 5.20. Análisis del estimado KR y KL al 90% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 3 primeros ciclos de falla.

La localización de falla en el elemento resistivo para el 90% muestra una distancia de localización aproximada de 277 Km. comparando el elemento inductivo contra el elemento resistivo tiene mucho más información y es mucho más rápido el elemento inductivo. Para la falla al 90% el algoritmo ya no es tan rápido comparado con la falla al 10% y 50%, sigue mostrando información significativa en los 3 primeros ciclos.

5.8 ANALISIS DE LA FALLA OCURRIDA EN DIFERENTES MAGNITUDES DE VOLTAJE CON DE FILTRO DE BUTTERWORTH.

En el análisis del cortocircuito para el voltaje en diferentes puntos de la senoidal, las simulaciones son realizadas a 15° , 30° , 90° , 140° , 270° , 360° . Esto para analizar la respuesta del algoritmo ante diferentes magnitudes de voltaje.

Al realizar las simulaciones con carga y sin carga no reflejan cambios en la localización de la falla, ni cambios en la frecuencia ni en la magnitud de la distancia con y sin el uso del filtro de Butterworth.

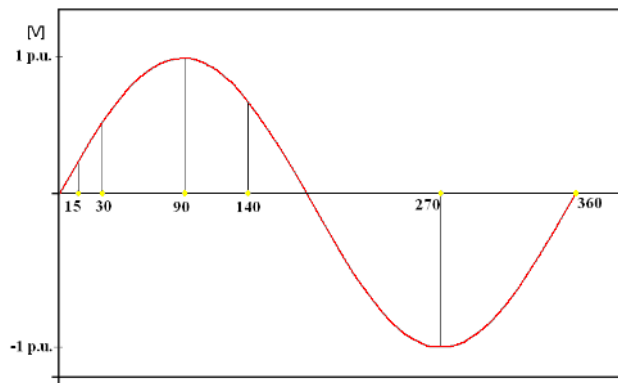


Figura 5.21. Análisis del algoritmo en diferentes instantes de la magnitud de voltaje.

| Grados | p.u. V | Voltaje kv |
|--------|--------|------------|
| 15 | 0.2588 | 103.52 |
| 30 | 0.5 | 200 |
| 90 | 1 | 400 |
| 140 | 0.6427 | 257.08 |
| 270 | -1 | -400 |
| 360 | 0 | 0 |

Tabla 5.1. Instantes de la magnitud de voltaje.

En las simulaciones realizadas para el elemento inductivo y el elemento resistivo para los instantes a 15^o, 30^o, 90^o, 140^o, 270^o el comportamiento es el mismo para estos instantes al 10%, 50% y 90% con carga y sin carga ya que la magnitud y la frecuencia del estimado al punto fallado es el mismo. Para la falla monofásica en el cruce por cero tenemos:

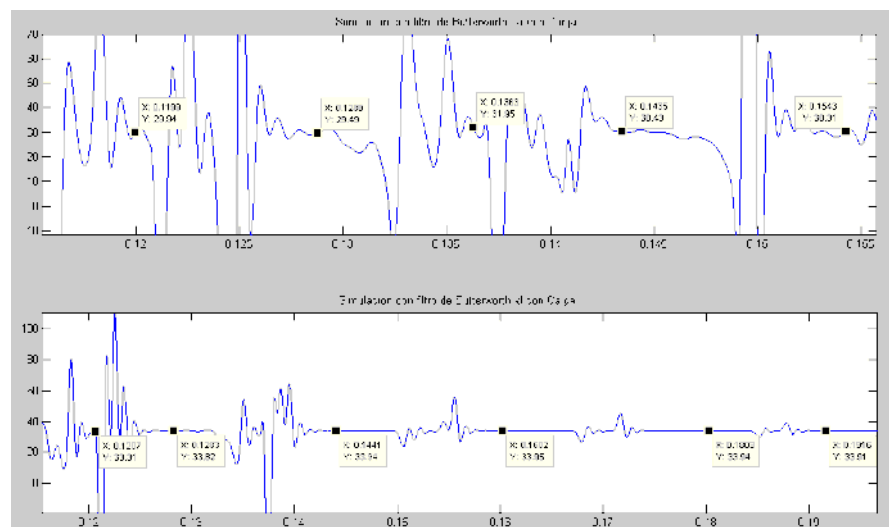


Figura 5.22. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 6 ciclos de falla en el cruce por cero.

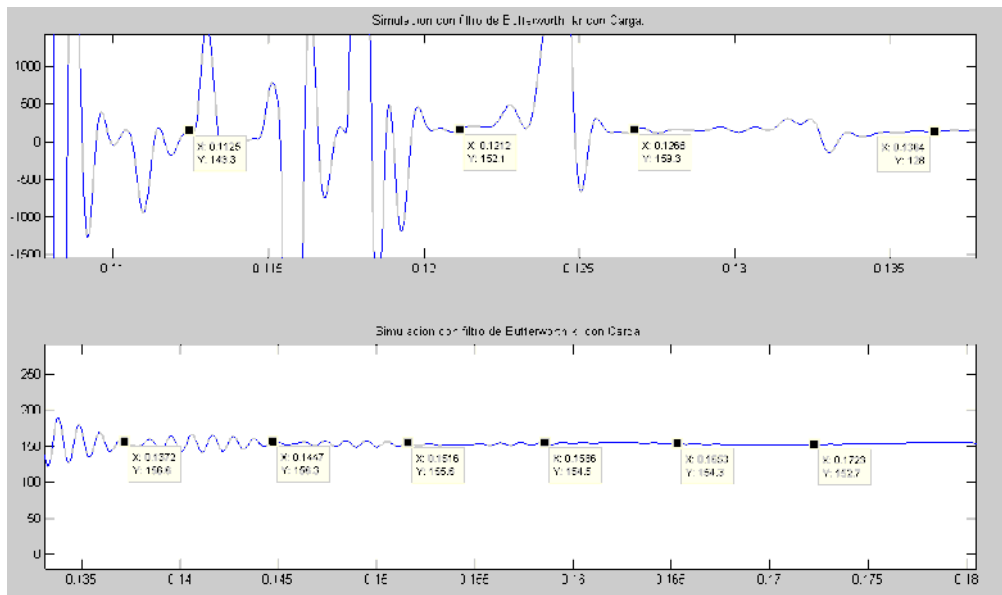


Figura 5.23. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 6 ciclos de falla en el cruce por cero.

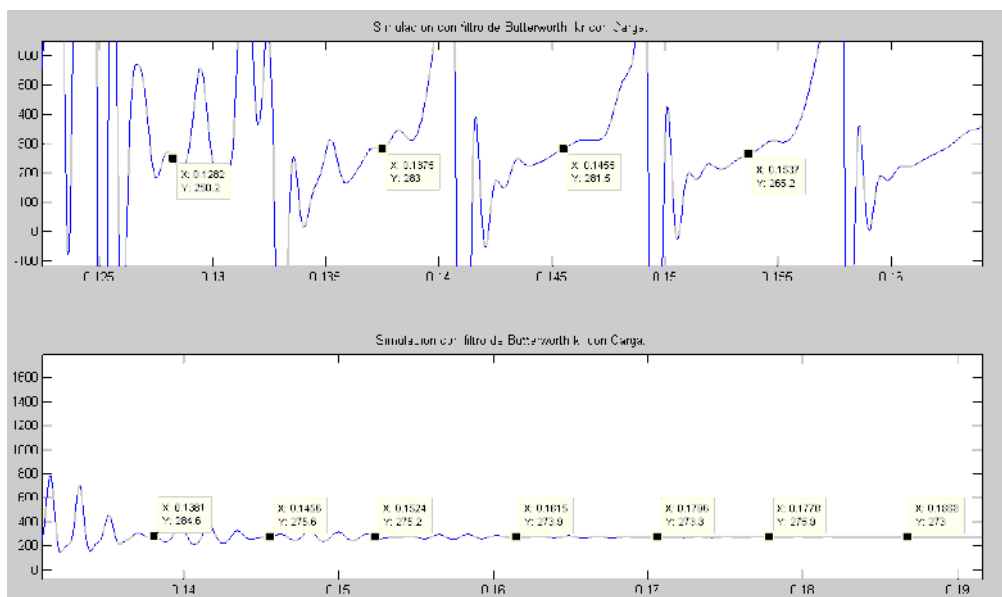


Figura 5.24. Análisis del estimado KR y KL al 90% de la línea de transmisión con carga y con filtro en los 6 ciclos de falla en el cruce por cero.

En la falla monofásica para el instante cero de la magnitud de voltaje, el error aumenta conforme se acerca a los transformadores de instrumento. Comportamiento inverso para los instantes diferentes de cero, entre más cerca este de los transformadores de instrumento el estimado al punto fallado disminuye.

5.9 ANALISIS DE LA FALLA AL 10% CON FILTRO DE BUTTERWORTH CON CAMBIO EN LA IMPEDANCIA DE FALLA.

A continuación se realizan cambios en los valores de impedancia de falla para el análisis y los limites de actuación ante una falla monofásica. Los valores de impedancia para la falla monofásica son 25 , 50 y 75 .

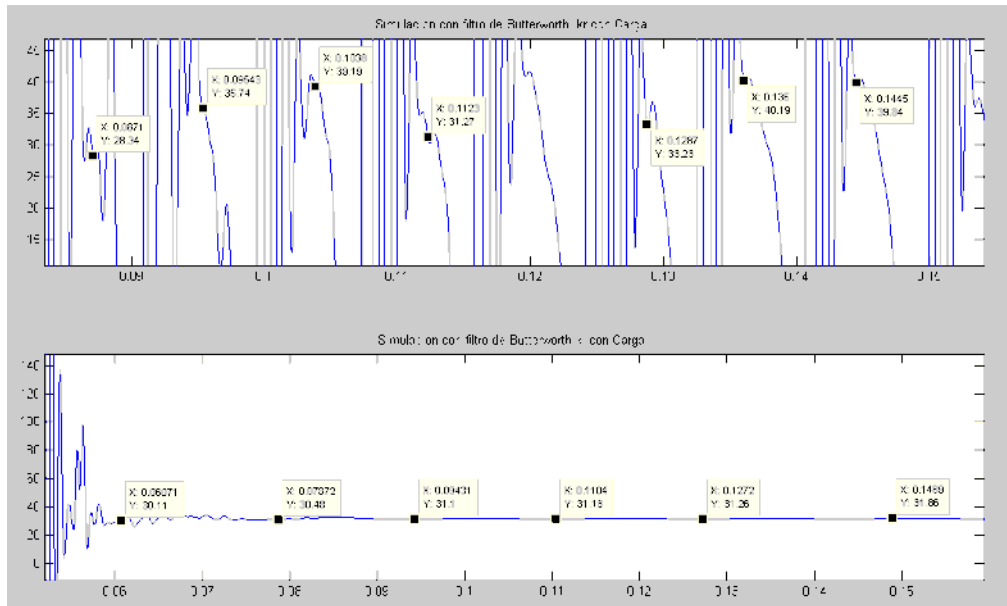


Figura 5.25. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 25 en los 6 ciclos de falla.

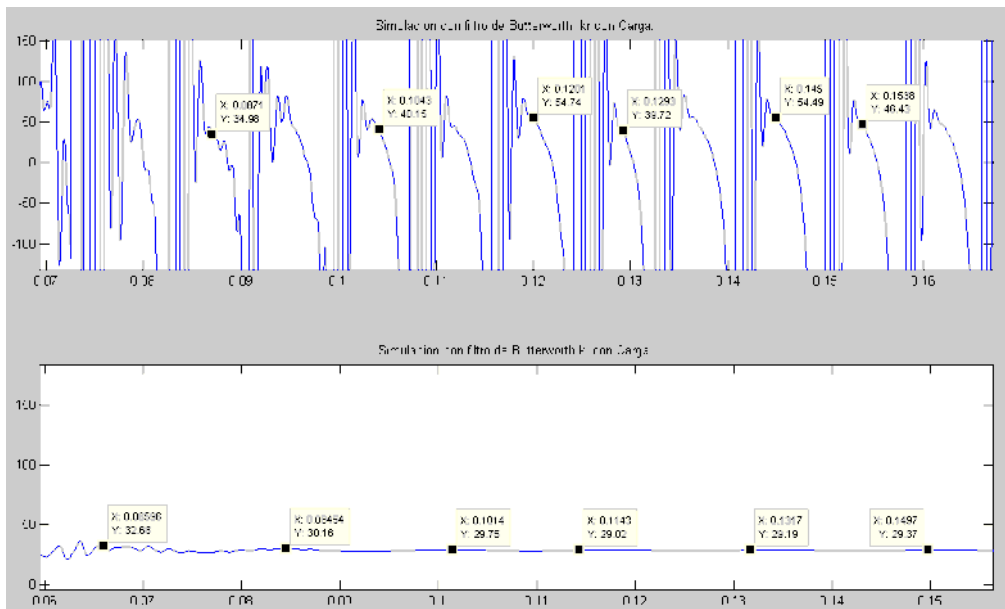


Figura 5.26. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 50 en los 6 ciclos de falla.

Se puede apreciar en la simulación que la distancia al punto fallado con una impedancia de falla de 25 y 50 tiene una aproximación buena e incluso es más rápida para encontrar el punto fallado en el elemento inductivo, ya que el tiempo que permanece la componente de corriente directa es más corto. En los primeros 2 ciclos de ocurrida la falla ya se puede obtener la distancia de falla, es aproximadamente de 30 Km.

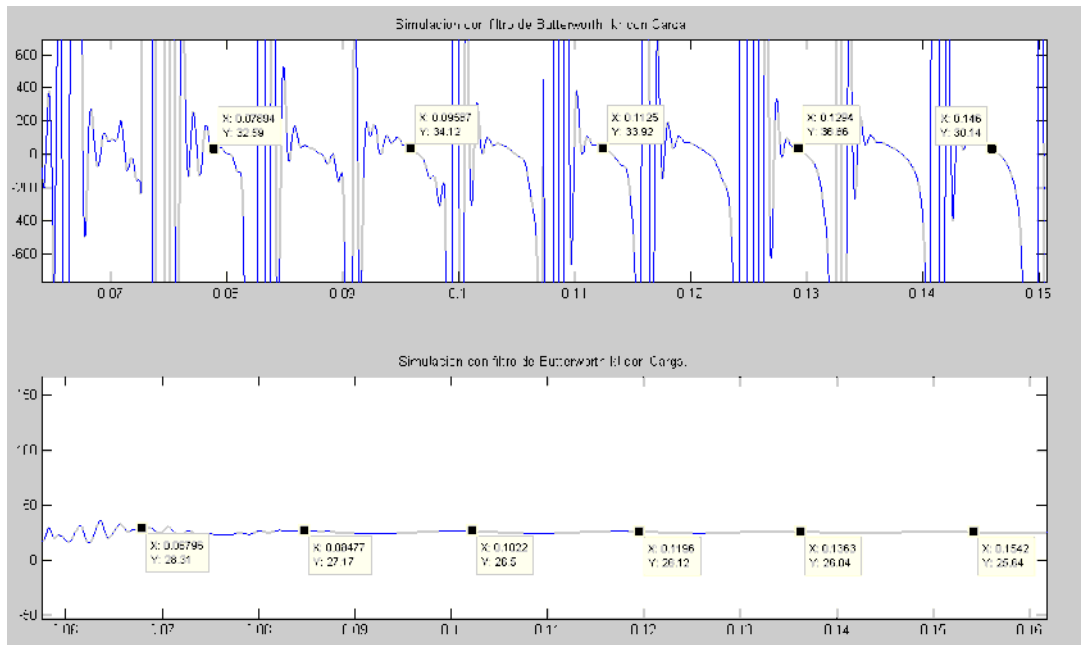


Figura 5.27. Análisis del estimado KR y KL al 10% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 75 en los 6 ciclos de falla.

La simulación realizada con una impedancia de falla de 75 muestra una respuesta rápida y un estimado no tan exacto, como en el caso de la impedancia de falla a 25 y 50. La distancia aproximada es de 26.5 Km. al igual que el caso anterior la componente de corriente directa desaparece en los primeros dos ciclos. Haciendo que el algoritmo sea más rápido.

5.10 ANALISIS DE LA FALLA AL 50% CON FILTRO DE BUTTERWORTH CON CAMBIO EN LA IMPEDANCIA DE FALLA.

En la siguiente ventana de resultados se realizo la simulación del cortocircuito al 50% de la línea de transmisión con una impedancia de falla 25, 50 y 75.

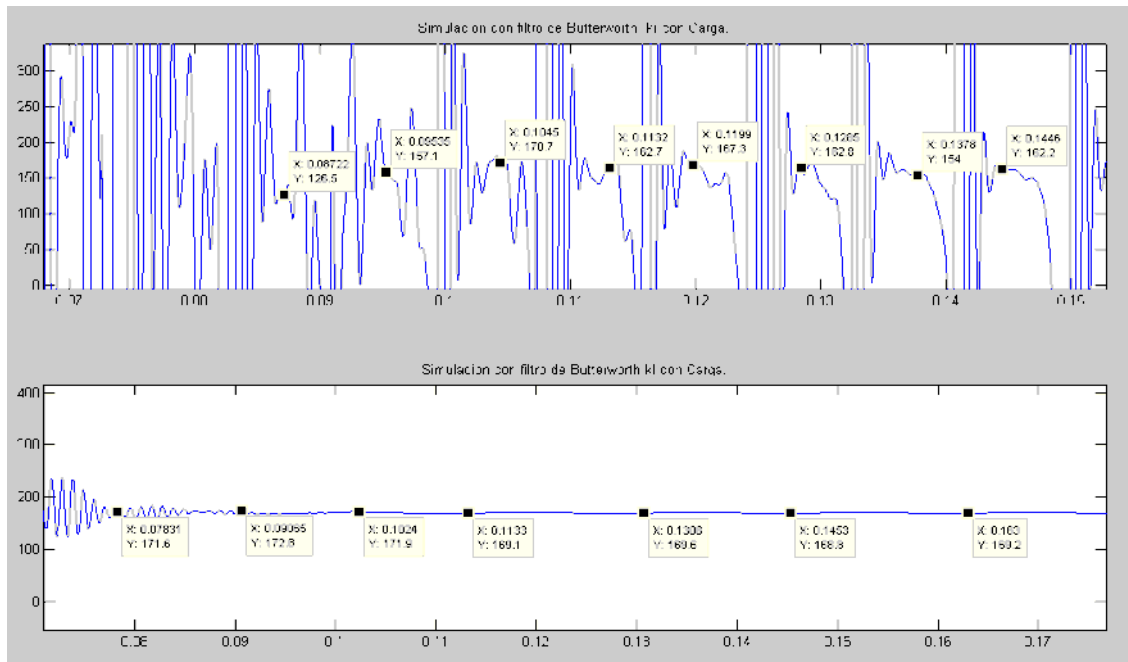


Figura 5.28. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 25 en los 6 ciclos de falla.

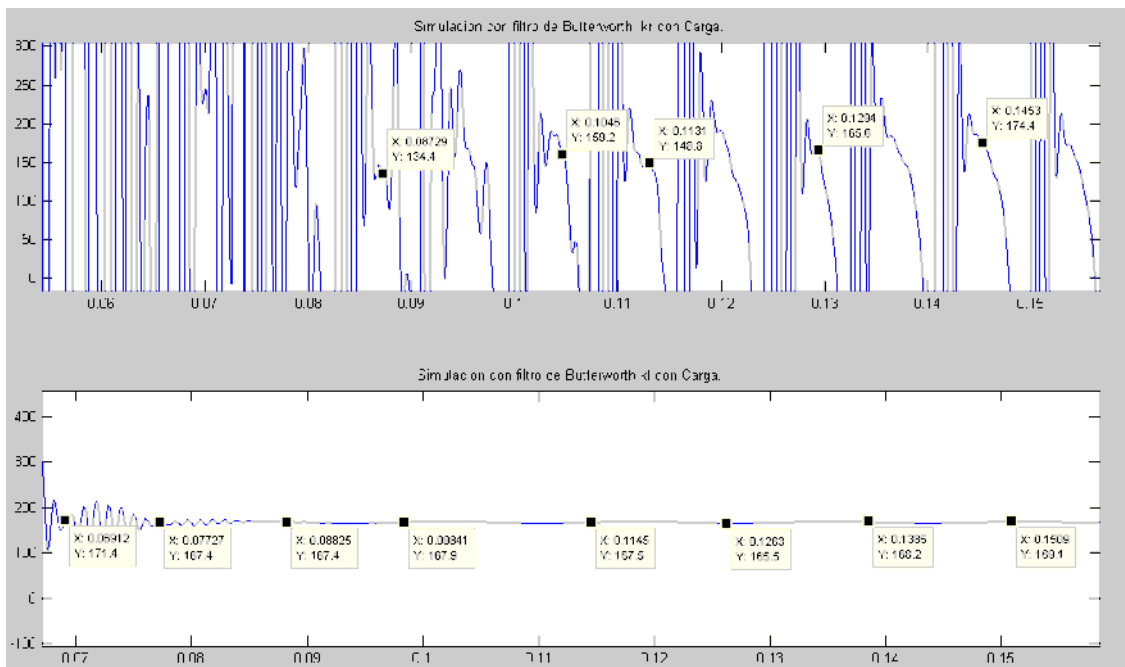


Figura 5.29. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 50 en los 6 ciclos de falla.

Para la simulación realizada al 50%, la distancia al punto fallado con impedancia de falla de 25 y 50 la aproximación no es tan exacta en el elemento inductivo, y el

elemento resistivo sigue sin aportar información significativa, el tiempo que permanece la componente de corriente directa es más corto que los casos anteriores que existe impedancia de falla. En los primeros 2 ciclos de ocurrida la falla ya se puede obtener la distancia de falla, es aproximadamente de 166 Km.

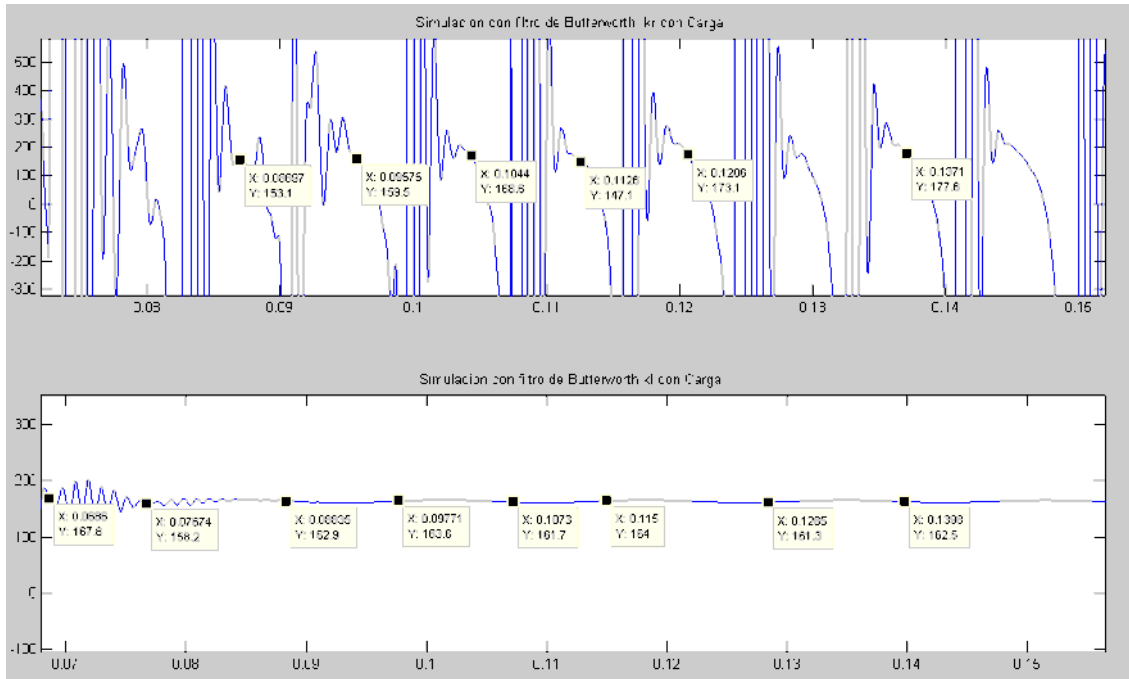


Figura 5.30. Análisis del estimado KR y KL al 50% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 75 en los 6 ciclos de falla.

Para la falla con impedancia de falla de 75 muestra una respuesta rápida pero no una buena aproximación al punto fallado. La distancia aproximada de falla es de 163 Km.

5.11 ANALISIS DE LA FALLA AL 90% CON FILTRO DE BUTTERWORTH CON CAMBIO EN LA IMPEDANCIA DE FALLA.

A continuación se realizan cambios en los valores de impedancia de falla para el análisis y los límites de actuación ante una falla monofásica al 90% de la línea. Los valores de impedancia para la falla monofásica son 25 , 50 y 75 .

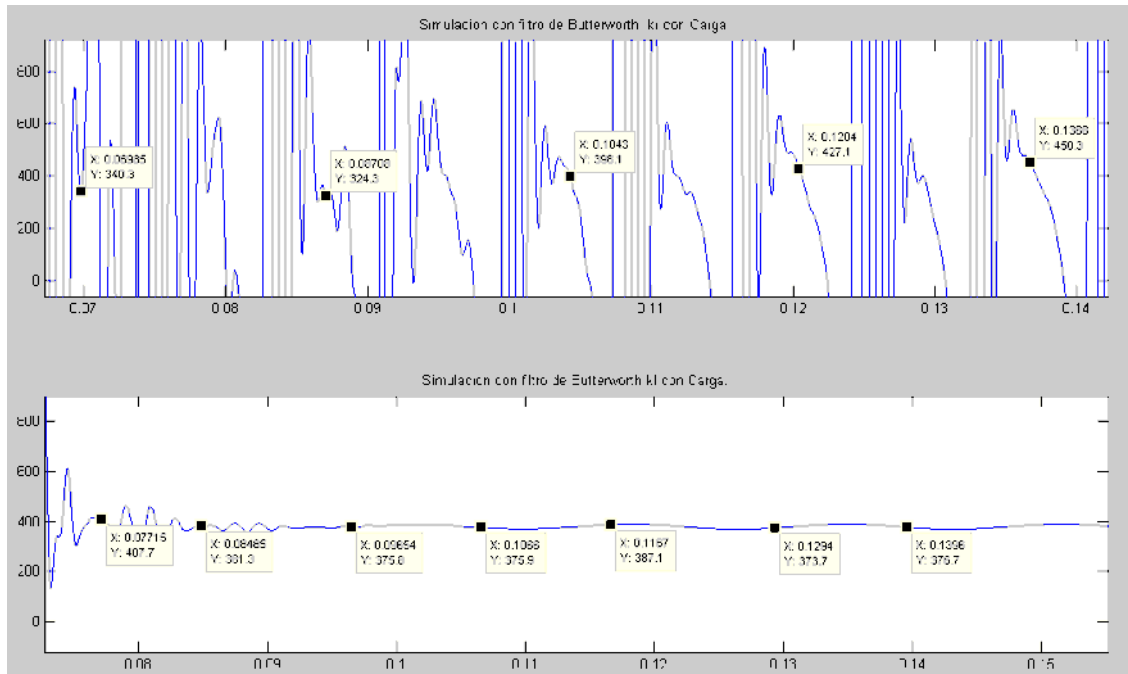


Figura 5.31. Análisis del estimado KR y KL al 90% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 25 en los 6 ciclos de falla.

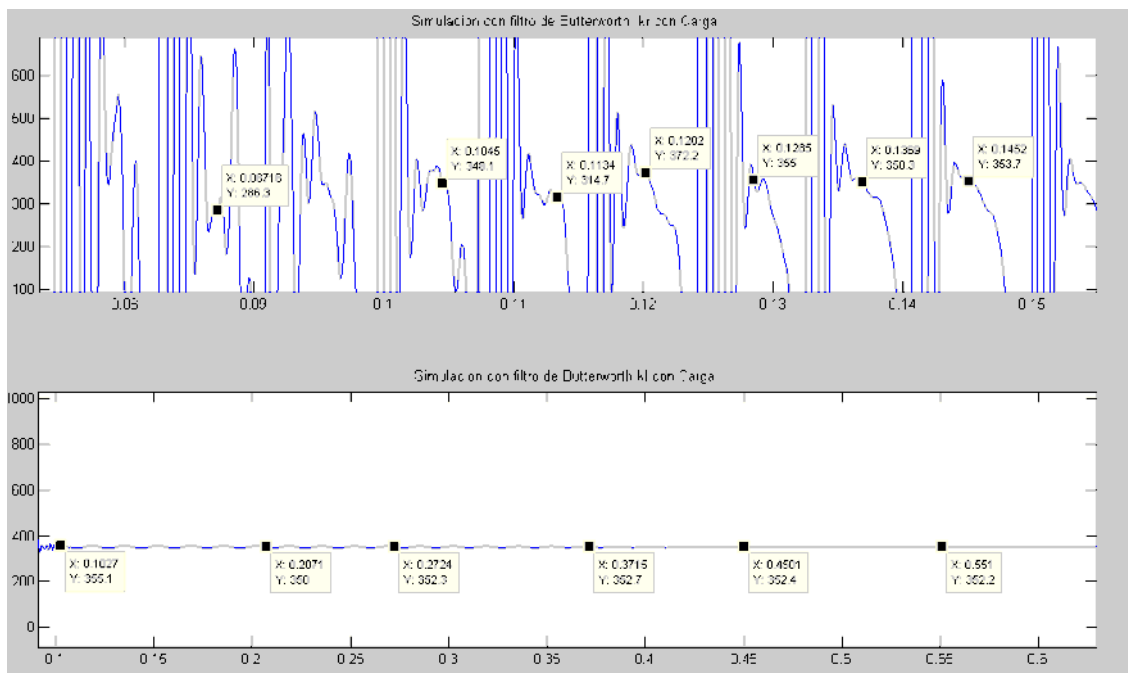


Figura 5.32. Análisis del estimado KR y KL al 90% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 50 en los 6 ciclos de falla.

Para la simulación realizada al 90%, la distancia al punto fallado con impedancia de falla de 25 y 50 la aproximación no es buena y no sirve, la información que aporta tiene

un error grande. El tiempo que permanece la componente de corriente directa es más corto que los casos anteriores que existe impedancia de falla. En los primeros 2 ciclos de ocurrida la falla ya se puede obtener la distancia de falla, es aproximadamente de 350 Km.

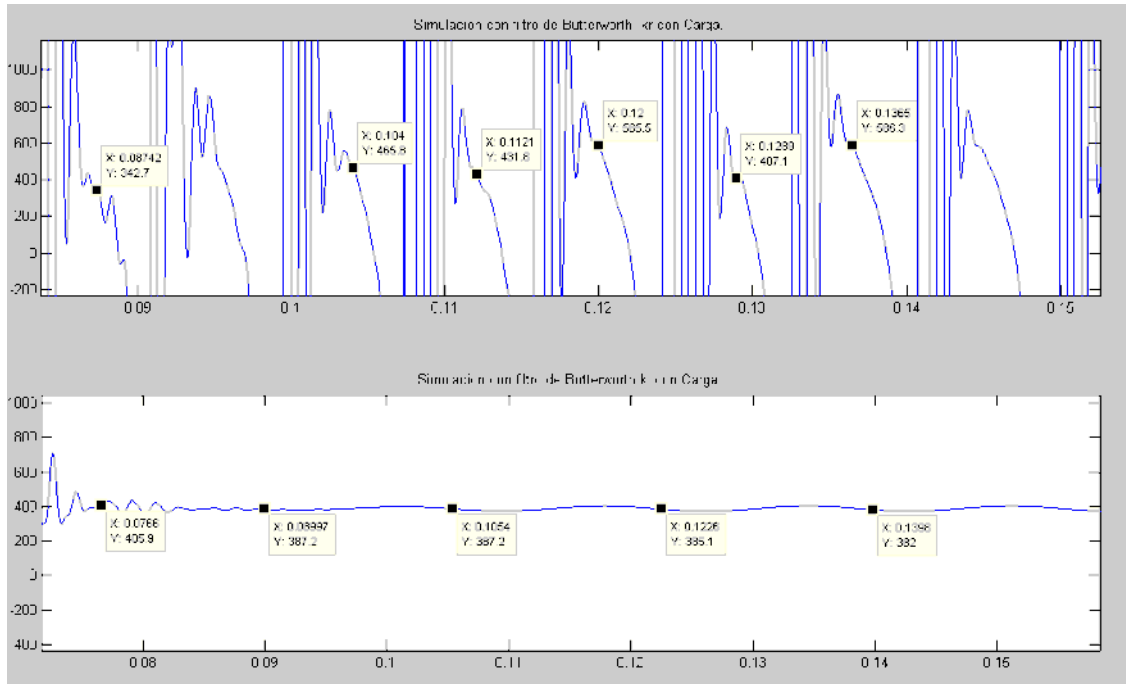


Figura 5.33. Análisis del estimado KR y KL al 90% de la línea de transmisión con carga, filtro de Butterworth e impedancia de 75 en los 6 ciclos de falla.

En la falla monofásica al 90% con una impedancia de falla de 75 el error aumenta, esto con referencia con la impedancia de 25 y 50 . El estimado al punto fallado tiene mas error que cualquiera de los casos anteriores la única característica es que conserva su rapidez y que la componente de corriente directa desaparece en los primeros 2 ciclos.

5.12 APERTURA DE INTERRUPTORES DE LA LINEA DE TRANSMISION Y LOCALIZACION DEL ESTIMADO AL PUNTO FALLADO.

A continuación se realiza el análisis del relevador desde el momento de decisión de disparo y el tiempo en el cual se realiza el clareo de la falla, así como las zonas de operación del relevador. [15]

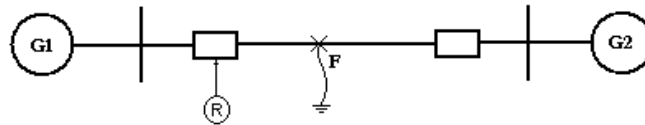


Figura 5.34. *Falla en el sistema de potencia bajo estudio.*

| | |
|------------------------------------------------------|-------------------|
| Tiempo de apertura del interruptor de 3 ciclos. [16] | 0.032 seg. |
| Tiempo de operación del relevador | <u>0.007 seg.</u> |
| Total | 0.039 seg. |

Para la apertura del interruptor en el sistema de potencia la falla es simulada en 0.05 seg., el tiempo de apertura es de 0.039 seg.

La rápida respuesta y selección de la zona de protección facilita la pronta restauración del sistema. La figura 5.35 muestra la distribución de las zonas de operación del relevador para la línea de transmisión en estudio.

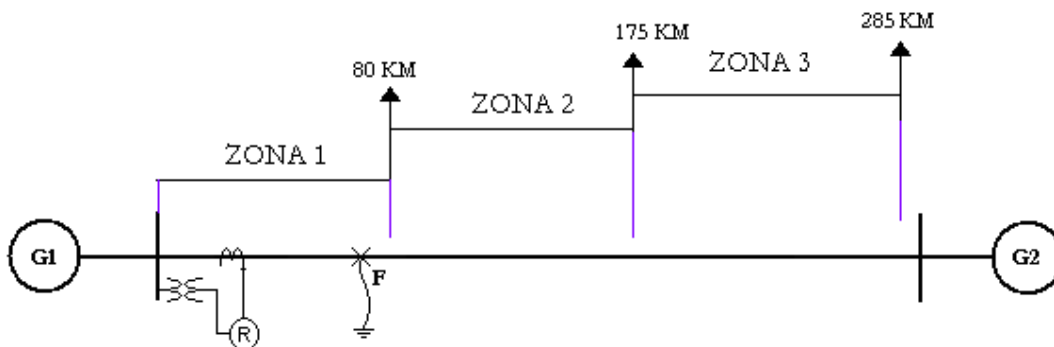


Figura 5.35. *Zonas de operación del relevador en línea de transmisión bajo estudio.*

La figura 5.36 muestra el código para la obtención de las zonas de operación en el software Matlab. [18]

```

Command Window
>> figure
title('Caracteristica de Impedancia')
xlabel('R')
ylabel('X')
grid
hold on
t = 0:pi/20:2*pi;
[x,y] = meshgrid(t);
plot(r1+z*sin(t),x1+z*cos(t),'g') %Delimitacion de la zona 1
hold on
plot(r2+z2*sin(t),x2+z2*cos(t),'y')%Delimitacion de la zona 2
hold on
plot((r3+z3*sin(t),x3+z3*cos(t),'m')%Delimitacion de la zona 3
    
```

Figura 5.36. Código fuente para delimitación de las zonas de operación del relevador.

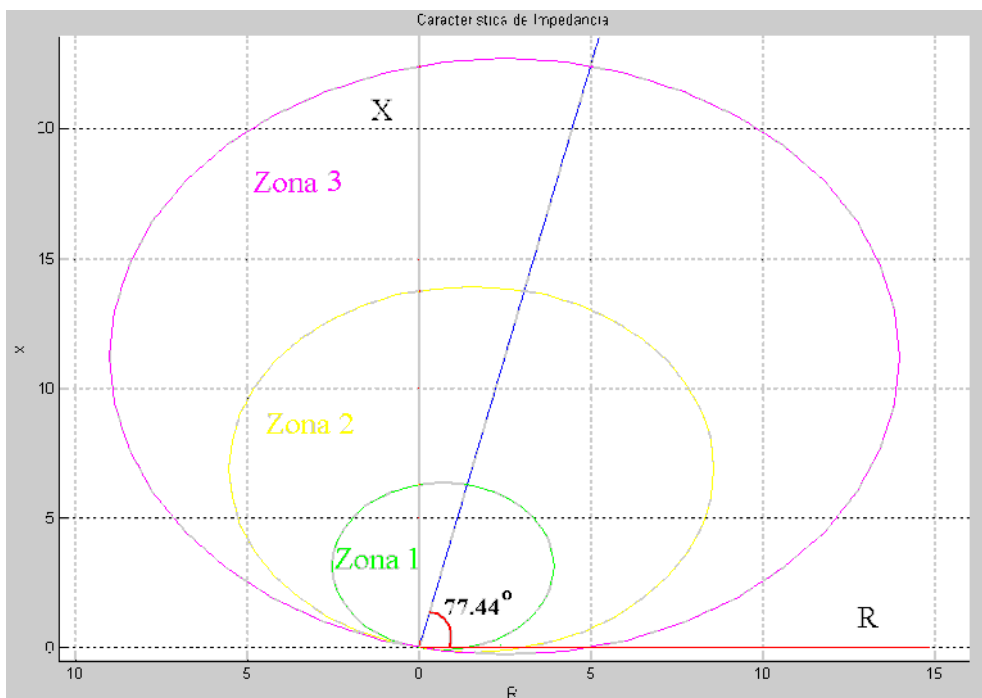
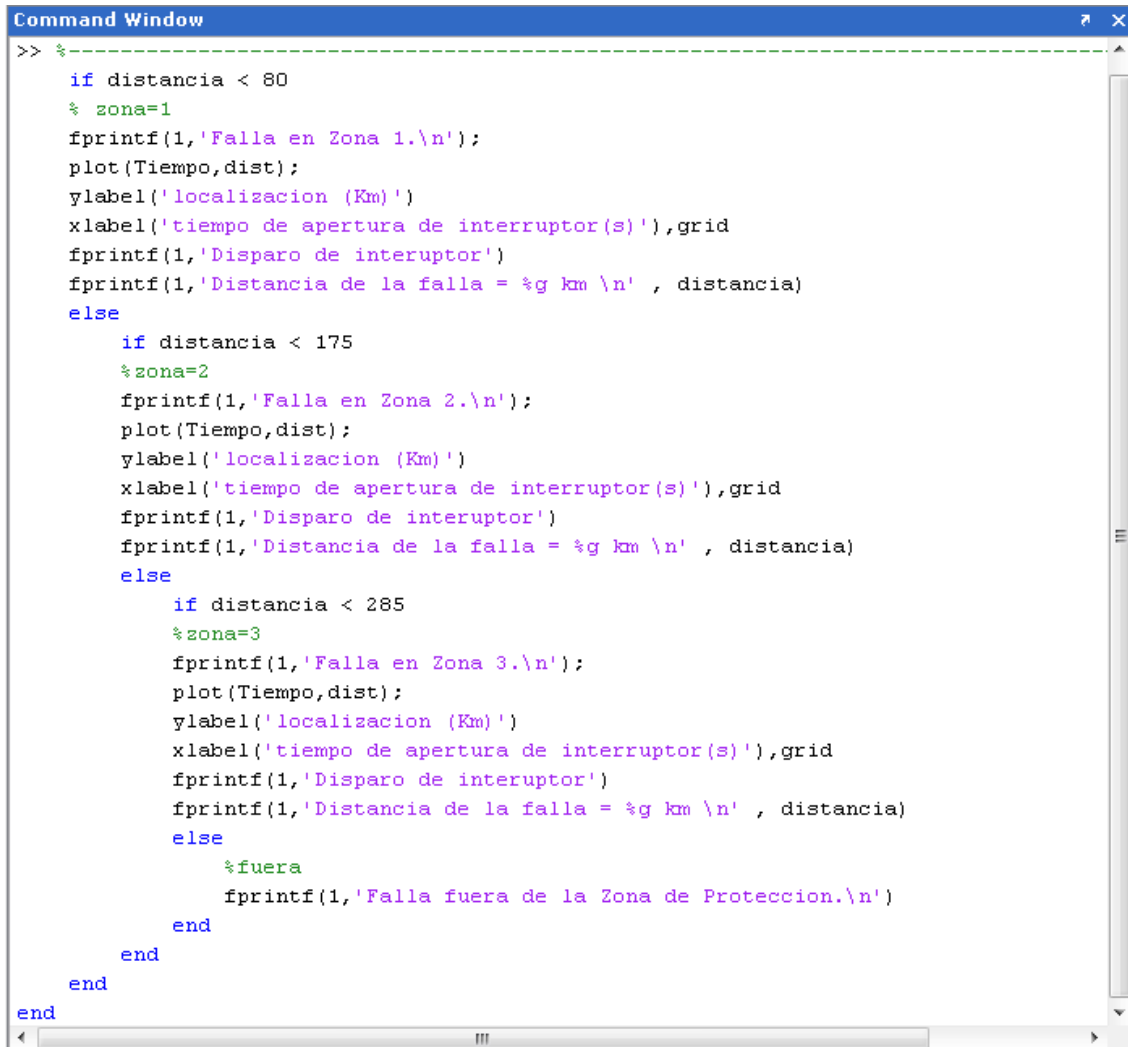


Figura 5.37. Diagrama R-X de las zonas de operación del relevador de impedancia en línea de transmisión bajo estudio.

La localización de la falla, la decisión de disparo están en función de la rapidez con la que se detecto, el algoritmo detecta la falla y localiza la zona en la cual ocurrió, en la

siguiente línea de comandos, figura 5.38, [17] se establece los valores de ajuste para las zonas de protección. [19]



```

Command Window
>> %-----
    if distancia < 80
        % zona=1
        fprintf(1,'Falla en Zona 1.\n');
        plot(Tiempo,dist);
        ylabel('localizacion (Km)')
        xlabel('tiempo de apertura de interruptor(s)'),grid
        fprintf(1,'Disparo de interruptor')
        fprintf(1,'Distancia de la falla = %g km \n' , distancia)
    else
        if distancia < 175
            %zona=2
            fprintf(1,'Falla en Zona 2.\n');
            plot(Tiempo,dist);
            ylabel('localizacion (Km)')
            xlabel('tiempo de apertura de interruptor(s)'),grid
            fprintf(1,'Disparo de interruptor')
            fprintf(1,'Distancia de la falla = %g km \n' , distancia)
        else
            if distancia < 285
                %zona=3
                fprintf(1,'Falla en Zona 3.\n');
                plot(Tiempo,dist);
                ylabel('localizacion (Km)')
                xlabel('tiempo de apertura de interruptor(s)'),grid
                fprintf(1,'Disparo de interruptor')
                fprintf(1,'Distancia de la falla = %g km \n' , distancia)
            else
                %fuera
                fprintf(1,'Falla fuera de la Zona de Proteccion.\n')
            end
        end
    end
end
end
end
end

```

Figura 5.38. Código fuente para zonas de operación del relevador.

Es importante conocer la característica y tiempo de operación del interruptor desde la aparición de la falla hasta el momento en la que fue clareada.

En la figura 5.39 se muestra la como se hace la comparación con las distancias de referencia, para obtener la zona en la que ocurrió el disturbio.

En el diagrama se muestra como es el proceso de obtención del estimado al punto fallado, el primer paso es la obtención de las graficas de corriente y voltaje de la simulación del sistema de potencia en AtpDraw para convertir las graficas en extensión .pl4 a .mat de esta manera realizar la simulación del algoritmo en Matlab, entonces al ocurrir la falla, el algoritmo compara contra la referencia para la operación del relevador, de no cumplir con la condición de cortocircuito dentro de la zona de operación se muestra el mensaje de sistema en condiciones normales, si el algoritmo detecta la falla empieza a comparar contra las zonas de ajuste para posteriormente mostrar gráficamente y numéricamente el estimado al punto fallado junto con la zona de operación donde opero el relevador.

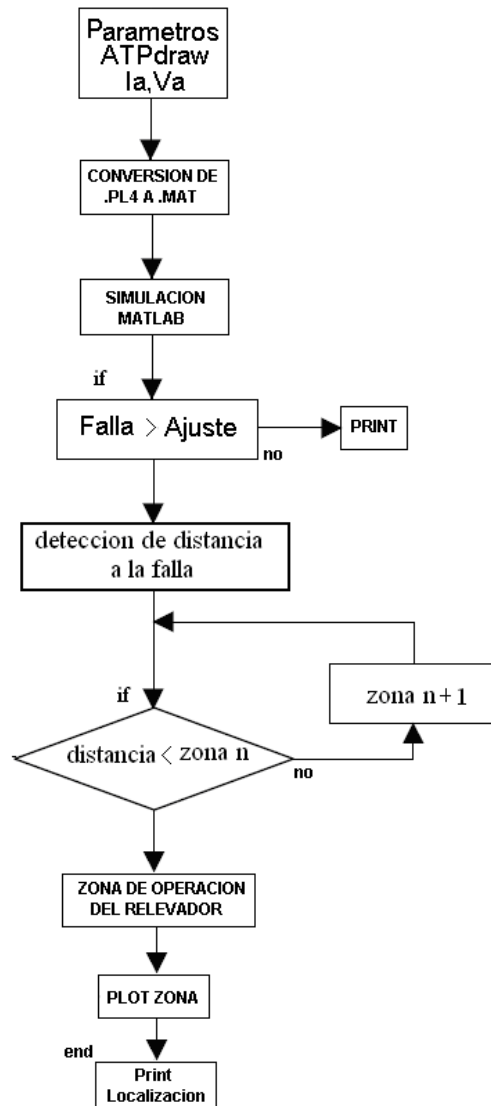


Figura 5.39. Diagrama de bloques para zonas de operación del relevador.

En la figura 5.40 se muestran los tiempos desde la decisión de disparo hasta la apertura del interruptor con el elemento kl.

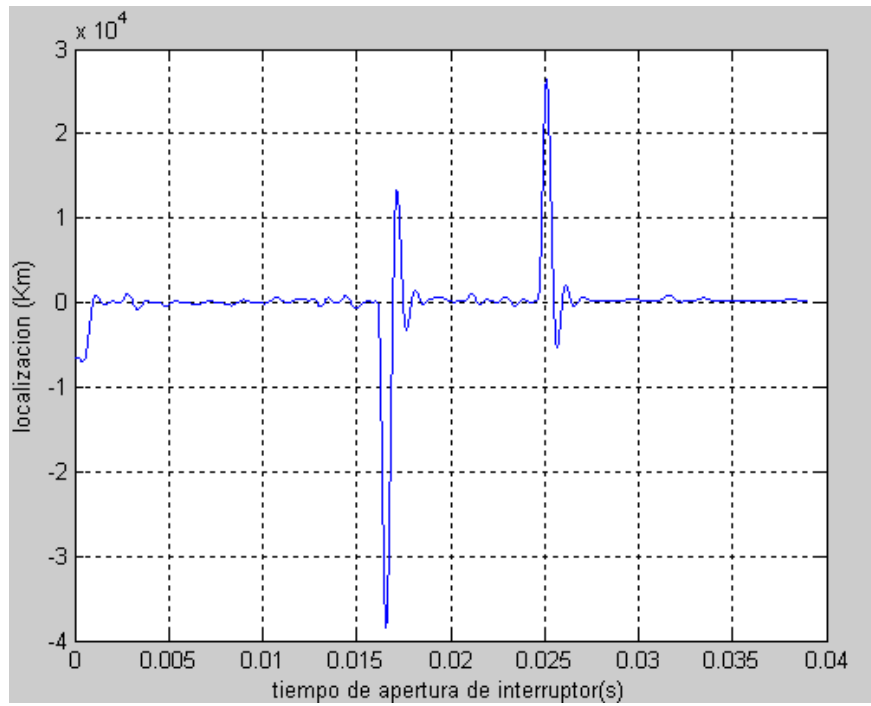


Figura 5.40. Tiempo desde la detección de la falla hasta la apertura del interruptor.

Para la localización de la falla es mas rápido tener un aproximado en forma numérica en lugar de tener una curva, ya que en la curva se puede apreciar el estimado hasta un ciclo después de la falla y en la forma numérica se obtiene el estimado hasta 7ms de ocurrida la falla aplicando una instrucción en Matlab.

$$\text{distancia} = \text{sum}(kl) / \text{length}(kl) \quad (5.1)$$

Los parámetros obtenidos del algoritmo de la ecuación diferencial para una falla monofásica a 10%, 50% y 90% de la longitud de la línea de transmisión son los siguientes:

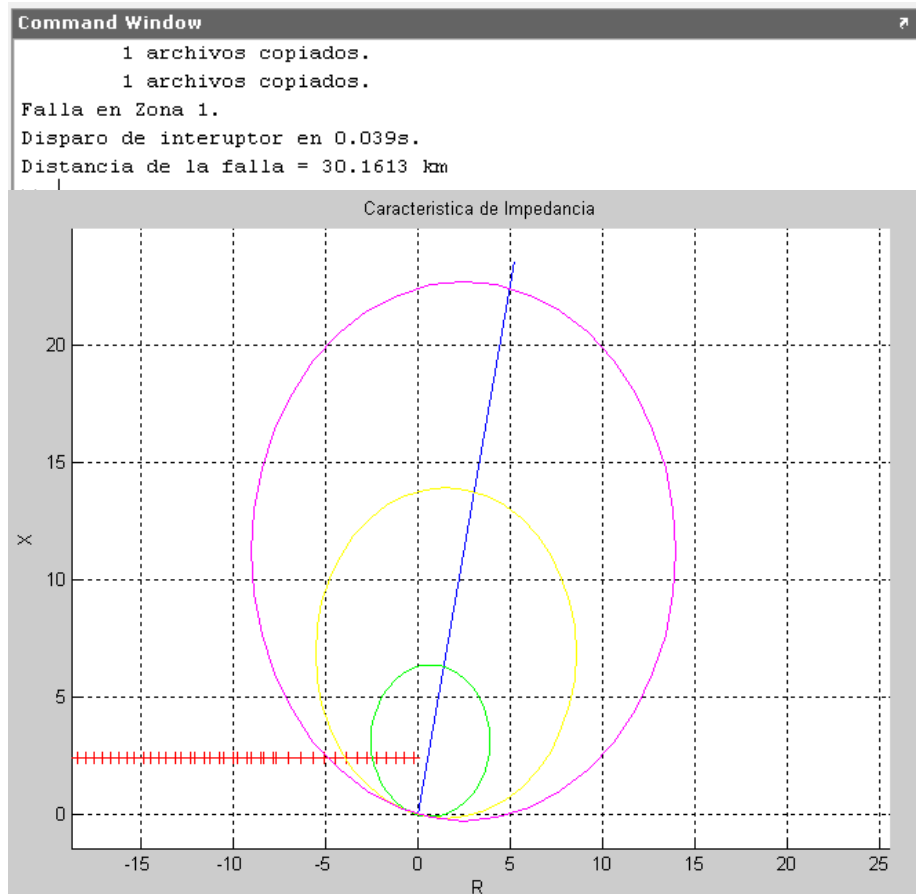


Figura 5.41. Operación y detección para una falla simulada al 10% con la característica de impedancia.

Para la zona protegida a se aprecia como el cortocircuito llega a la zona de operación el algoritmo de la ecuación diferencial calcula el estimado al punto fallado y la decisión de disparo puede ser tomada por el relevador de impedancia.

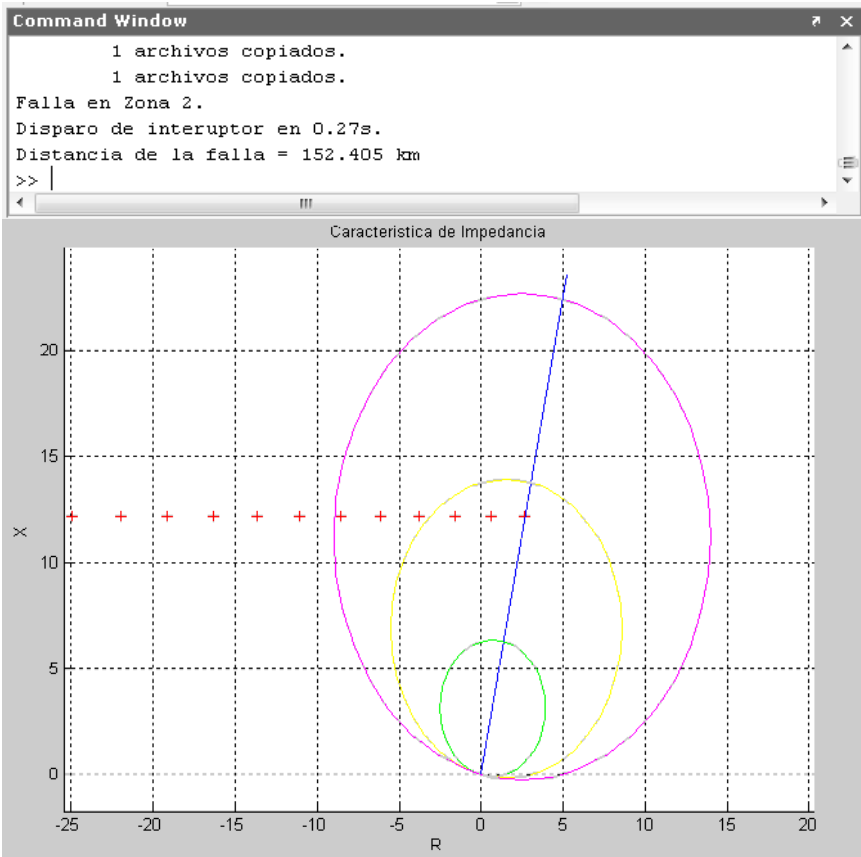


Figura 5.42. Operación y detección para una falla simulada al 50%.

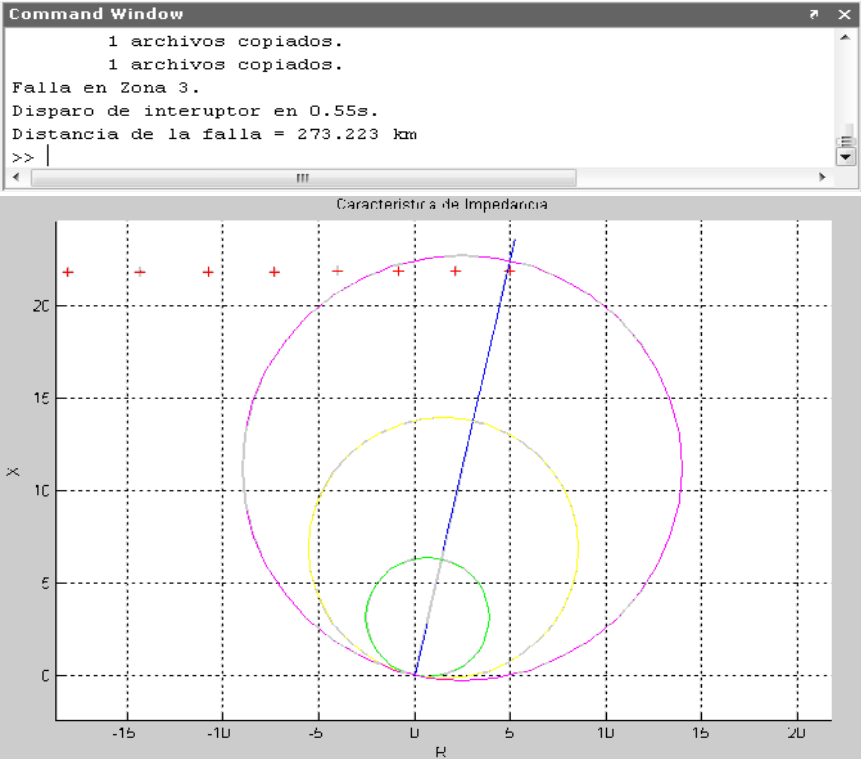


Figura 5.43. Operación y detección para una falla simulada al 90%.

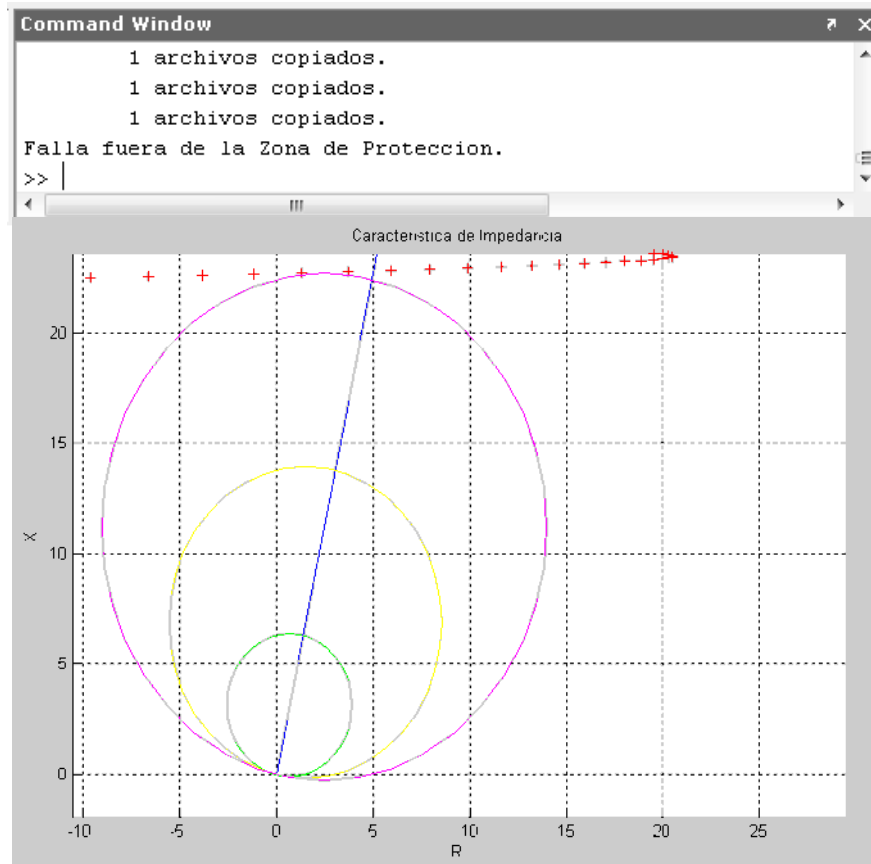


Figura 5.44. Detección para una falla fuera de la zona protegida.

Tanto para la falla al 10, 50 y 90% de la longitud de la línea de transmisión, el estimado al punto fallado se puede obtener junto con la zona, además si la falla ocurre fuera de la zona de operación el relevador no opera. Se aprecia numérica y gráficamente la operación del relevador y la distancia al punto fallado con una buena aproximación.