



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Colegio de Geofísica

Facultad de Ingeniería

**Integrantes:**

García Velázquez Elvira

Paredes Román Clarise

Ramírez Rodríguez Ricardo Uriel

Torres Mora Carlos Alberto

**Matrícula:**

201926227

201926805

201730952

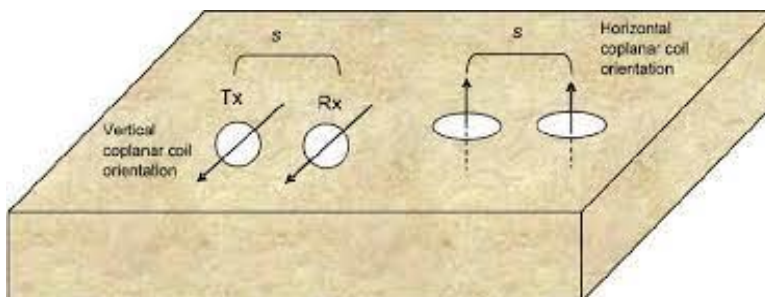
201932678

**Docente:** González Hernández Julio César

**Materia:** Prospección Electromagnética

**Reporte de Modelado directo e inverso de datos LIN (Low Induction Numbers)**

**Fecha:** 19-09-22



## **Introducción**

La conductividad eléctrica en los materiales geológicos varía de manera significativa y cada material llega a tener rangos distintivos de conductividad. La inducción electromagnética (EMI), es una técnica eficaz para medir propiedades eléctricas, pero, en general es compleja en su funcionamiento e interpretación. Los instrumentos EMI transmiten un campo magnético primario que induce corriente eléctrica en la tierra, la cual genera un campo magnético secundario, que es detectado por el receptor del instrumento, las características del campo secundario indican la conductividad de la tierra. (Palacky, GJ, 1987).

El presente reporte está basado en el proyecto del autor Luigi Sambuelli, titulado "Geofísica Waterborn en aguas poco profundas" en donde se tomaron datos de: conductividad, conductividad aparente y profundidad para describir procedimientos que se llevan a cabo para llegar a los resultados esperados mediante el método LIN (Sondeos Electromagnéticos a bajos números de Inducción), el cual es un método geofísico que usa la propagación de los campos electromagnéticos alternos a través del suelo para medir la conductividad eléctrica y la susceptibilidad magnética, donde se ocupan sondeos a bajos niveles de inducción.

Debido a que existen desviaciones en la conductividad aparente asociadas a factores como a la configuración de las bobinas, se requiere un procedimiento de corrección que busca obtener la conductividad correcta.

Para comprender las bases y las técnicas de interpretación de los métodos de prospección, se requiere tener un conocimiento previo acerca de temas como la conductividad aparente, el procedimiento de corrección de la conductividad aparente LIN (Sondeos Electromagnéticos a bajos números de inducción) y la sensibilidad que tienen algunos modelos dentro de este método (Modelo dipolo vertical y modelo dipolo horizontal), los cuales serán abordados durante este reporte.

## Objetivos

### General:

- ⌘ Encontrar cuál método de inversión da una mejor solución para los arreglos DMV y DMH.

### Específicos:

- ⌘ Mediante la conductividad aparente obtenida del estudio “Geofísica Waterborn...”, obtener la conductividad real y viceversa mediante los modelos: directo, ponderado e inverso.
- ⌘ Encontrar el menor residual para cada método de inversión en cada respectivo arreglo (DMV y DMH).

## Marco Teórico

### ¿De qué consta el método LIN?

Los métodos de inducción electromagnética en el dominio de la frecuencia a bajo número de inducción, conocidos como LIN, usan la propagación de los campos electromagnéticos alternos a través del suelo para medir la conductividad eléctrica y la susceptibilidad magnética (aparentes). Estas propiedades medidas son un complicado promedio de la distribución espacial de las características de la superficie, que es dada por varios factores descritas a continuación:

“(...) el contenido de agua o fluidos, la mineralogía y textura de la roca sólida, su porosidad, permeabilidad y salinidad, como también factores del ambiente como la temperatura e influencia de sólidos y fluidos que alteran el comportamiento del medio. La gama de aplicaciones de los LIN para estudios ambientales e hidrológicos y su monitoreo es amplia y creciente; las aplicaciones incluyen estudios de la extensión de acuíferos y contenido de agua, estudios litológicos, salinidad del suelo y asignación de textura; también han sido utilizados para delinear vertederos, plumas contaminante y áreas de recarga en cultivos.” (Sogamoso B., s.f, p.p 50-60).

### La conductividad aparente

Los instrumentos de conductividad del suelo utilizan una medición sensible a la fase entre los campos magnéticos (Tx-Rx) para obtener el campo secundario (Hs) a primario (Hp) en cuestión; la relación es compleja y comprende un campo secundario que está en fase (P) y en cuadratura (Q) con el campo primario; así podemos escribir  $P+iQ = Hs/Hp$ . El instrumento y la medición que implica la relación

de acoplamiento  $H_s/H_p$  en cuadratura, se convierte en aparente conductividad (con  $\sigma a$  en mS/m) utilizando la fórmula: (McNeil, S.p, 1980)

$$\sigma a = \frac{4000}{\omega s^2 \mu_0} \left( \frac{H_s^q}{H_p} \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde “ $\omega$ ” es la frecuencia angular,  $\omega=2\pi f$ , “ $f$ ” es la frecuencia en Hz, “ $s$ ” es la separación de bobinas (Tx-Rx) en metros, “ $\mu_0$ ” es la permeabilidad magnética del espacio libre ( $= 4\pi \cdot 10^{-7}$  H.m-1, unidades SI) y la cantidad entre paréntesis es el componente medido en cuadratura (Q) del secundario en relación de acoplamiento del campo magnético primario, discutida previamente.

La ecuación (1) es una aproximación basada en la suposición de operar el instrumento en un modo de número de inducción bajo (LIN). El instrumento se opera a elevación cero (es decir, los centros de la bobina están en la superficie del suelo) y que el número de inducción (B) es mucho menor que la unidad. El número de inducción adimensional (B) es definida como la relación de la separación de la bobina (s) dividida por la profundidad de “piel” EM de onda plana  $\delta$ . La profundidad de la piel se define como la distancia dentro de un medio espacio a la que una onda plana se atenúa en  $1/e$ . Así  $B = s/\delta$  con la profundidad de la piel definida en metros como: (Spies, p.p 872–888, 1989)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma \omega \mu_0}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde “ $\sigma$ ” es la conductividad del semiespacio (S/m) y el resto de los parámetros se han definido previamente (2). Cuando se opera correctamente en modo LIN, los instrumentos están destinados a proporcionar estimaciones ( $\sigma a$ ) que sean equivalentes a la conductividad real del semiespacio. La literatura científica contiene una serie de discusiones sobre qué valor de B que constituye una aproximación LIN válida, tal que el instrumento devolverá la conductividad correcta de un semiespacio uniforme. En la práctica tales discusiones no son particularmente útiles, a menos que los tres factores (la configuración de la bobina bajo consideración, la elevación y la precisión requerida se consideran conjuntamente) se cumplan.

Los efectos de sesgo pueden verse como una función de la configuración de la bobina utilizada; y la separación de la bobina. Por ejemplo, si a continuación consideramos una precisión mínima requerida de 1 mS/m o mayor (es decir, la diferencia entre conductividad aparente y verdadera) en cada una de las tres configuraciones consideradas las conductividades reales deben ser inferiores a 12

mS/m para sistemas de separación de 1 m, 17 mS/m para sistemas de separación de 2 m y 18 mS/m para sistemas que funcionan a una separación de 4 m. (McNeil, S.p, 1980).

### **Procedimiento de corrección de la conductividad aparente LIN**

La corrección puede describirse mejor como un factor de corrección equivalente a LIN; los factores de corrección deben determinarse por separado para cada instrumento (es decir, cada configuración de bobina, separación y frecuencia asociadas) para mantener precisión. Como solo hay un número limitado de tales instrumentos, el procedimiento no es demasiado complejo; también se debe tener en cuenta que las desviaciones del valor del medio, en las mediciones que se pueden realizar las indicaciones de un subsuelo no uniforme en cuanto a su conductividad, un entendimiento que ya está incorporado en el principio de operación LIN.

Se pueden considerar dos enfoques para el tema de la elevación: El primer enfoque asume la altura del levantamiento que se conoce y es constante. El segundo enfoque es un posible desarrollo del primer enfoque y se analiza más adelante, tiene el concepto de operación a elevación cero, puesto que no es una propuesta práctica; las respuestas observadas aparecen como polinomios de bajo orden y se pueden estimar fácilmente mediante un ajuste por mínimos cuadrados de los datos (una expresión cúbica puede ser considerada en primera instancia). (Beamish D., p.p 49-60, 2003)

### **Instrumentación**

#### **EM 38 (Geonic EM-38)**

Uno de los dispositivos más utilizados dentro del Método LIN es EM 38 y no es más que un dispositivo de inducción electromagnética, definido mejor a continuación:

"(...)Es un ejemplo de un dispositivo de inducción electromagnética (EMI) que contiene dos bobinas de alambre; uno para crear un campo magnético ('Bobina transmisora') y el otro para detectar un campo magnético externo ('Bobina receptora'). Los dispositivos EMI funcionan modulando rápidamente la corriente eléctrica en la bobina del transmisor que actúa como un electroimán y esto produce un "campo magnético primario" que oscila rápidamente." (Schneider D., 2022, párrafo 1 y 2).

Las unidades de medición para este instrumento es la conductividad aparente en mili siemens por metro (mS/m) en cada separación de la bobina. El espacio entre

bobinas es de 1-0.5 metros, su profundidad efectiva es de 1.5-0.75 metros y se trabaja con frecuencias de 14.5 kHz.

### **EM 34**

Lo más destacable para este instrumento es que, la fuente del campo primario es un dipolo transmisor autónomo y por lo tanto, su sensor también. Su espaciado entre bobinas es de: 10, 20, 40 m. Sus frecuencias de operación son: 6.4, 1.6 y 0.4 kHz. Las profundidades con las que se puede trabajar en este caso van a partir de: 7.5-60 metros. (González Hernández J., 2022, p.6).

### **EM 31**

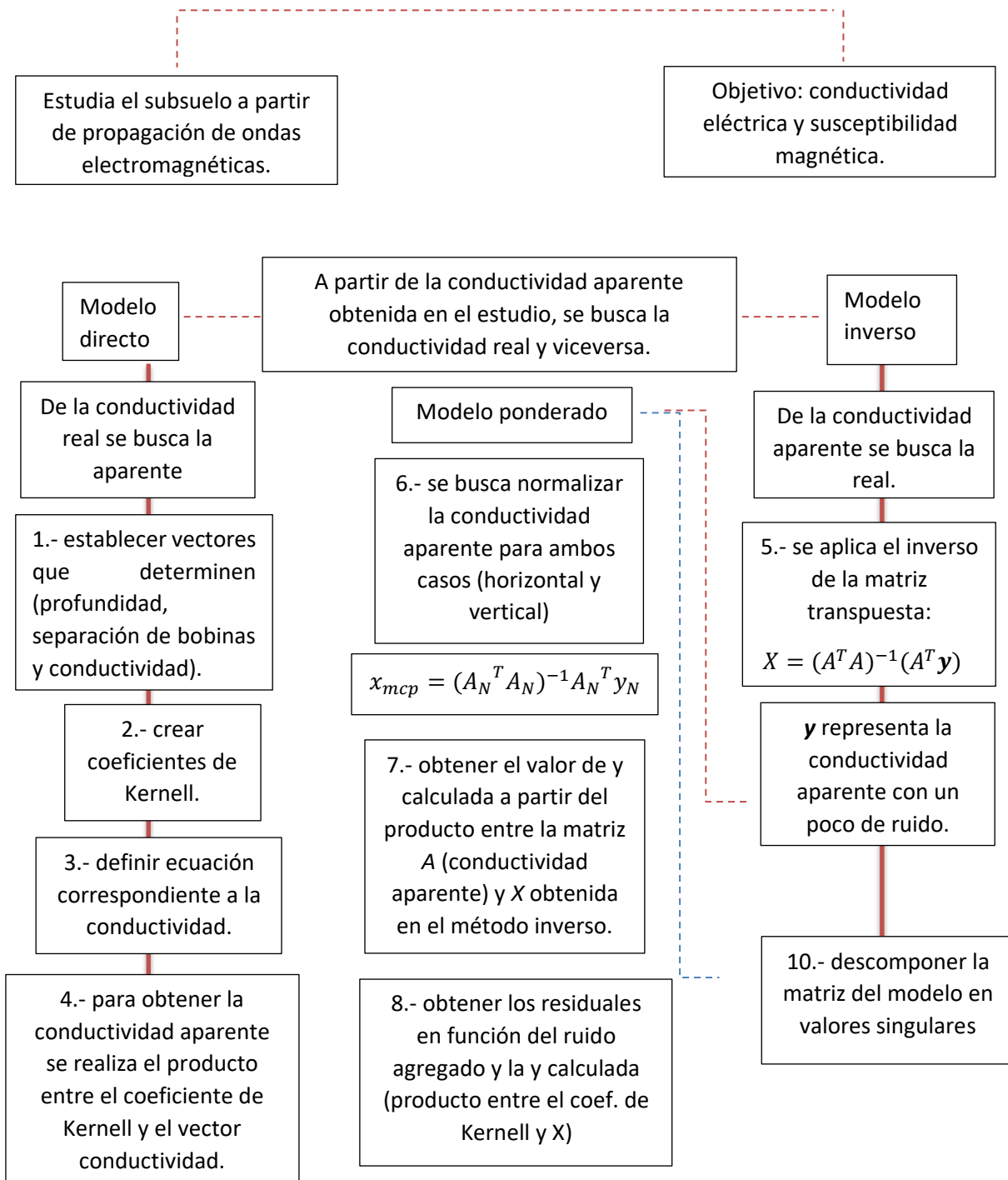
Para este caso, la fuente de campo primario también es un dipolo transmisor autónomo, su frecuencia de operación es de 9.8 kHz, su profundidad efectiva en este caso es de 6 metros y el espaciado entre bobinas es de 3.66 metros. (González Hernández J., 2022, p.8).

## **Arreglos de bobina y sensibilidad**

Existen diversos arreglos que se utilizan en este método, basados principalmente a la orientación de las bobinas (transmisora y receptora) donde la orientación es descrita por la posición de los ejes y los planos, donde al realizar un análisis matemático, este se considera como dipolos magnéticos; en el cual los tipos principales de arreglos son: DMV (Dipolo Magnético Vertical) y DMH (Dipolo Magnético Horizontal).

En el caso del DMV, la inducción del campo magnético debe estar en vertical con las bobinas acostadas. En este arreglo, conforme se aumenta de superficie, se va atenuando. Por lo tanto, es preferible utilizarlo en grandes profundidades.

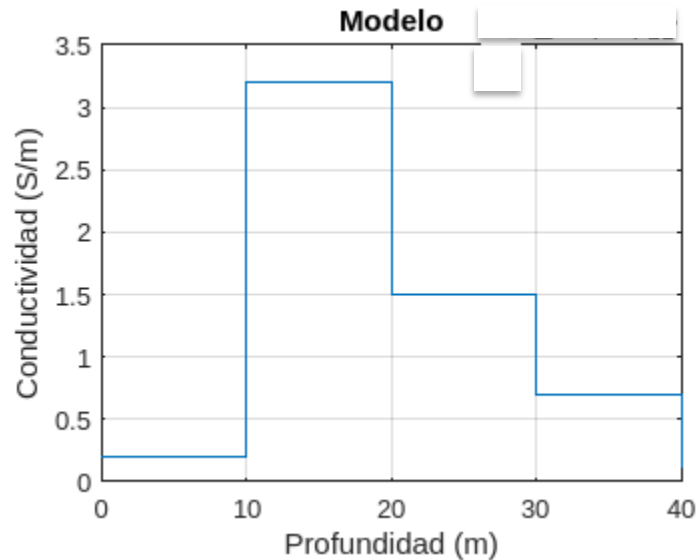
Para el DMH, el campo magnético es el que debe estar en posición horizontal a tales bobinas. Este arreglo es útil para lugares superficiales (poco profundos) ya que, conforme se va descendiendo, se va atenuando la conductividad aparente.



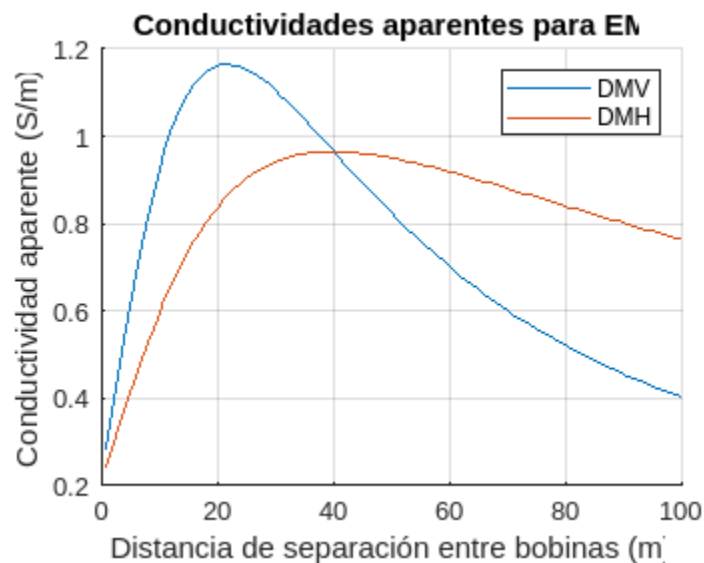
## Resultados

La figura 1 y 2 representan las respuestas de conductividad aparente que fueron obtenidas a partir del modelo directo. Observamos que el comportamiento de las curvas para el dipolo magnético vertical y horizontal (figura 2) difieren en la forma

de la pendiente, la curva correspondiente a DMH tiene una menor pendiente y decae más rápido en comparación a la curva DMV, este comportamiento lo podemos asociar a razón de que ambos arreglos tienen diferente alcance de profundidad y por lo tanto la respuesta de conductividad obtenida es diferente.



*Figura 1. Respuesta de conductividad aparente.*



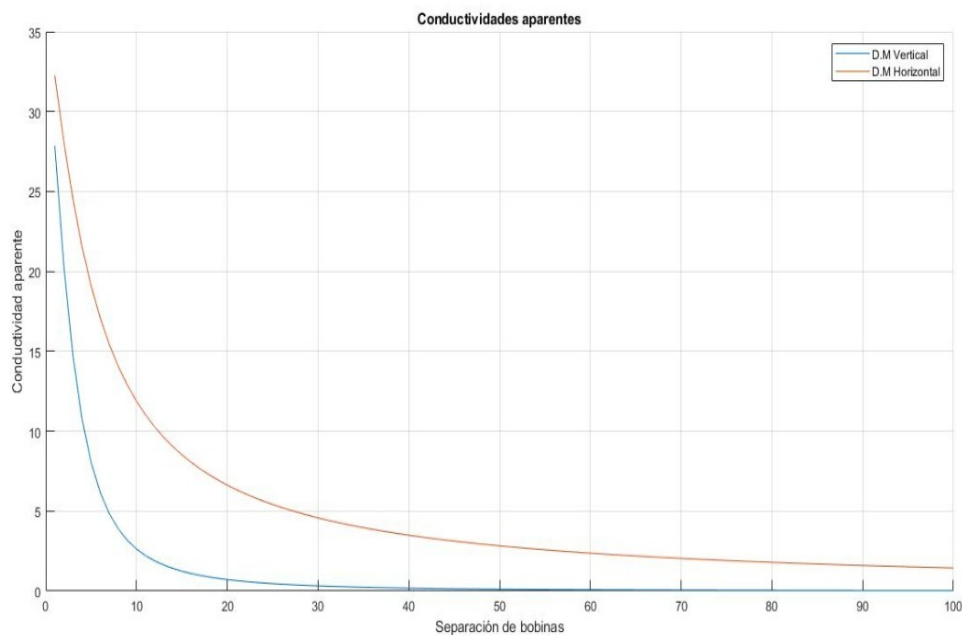
*Figura 2. Curvas de conductividad obtenidas a partir del método directo.*

- En la figura 3 se observa el comportamiento de las curvas de conductividad para el arreglo horizontal, así como el vertical, se aprecia que el comportamiento de ambas curvas es ligeramente similar, a diferencia que

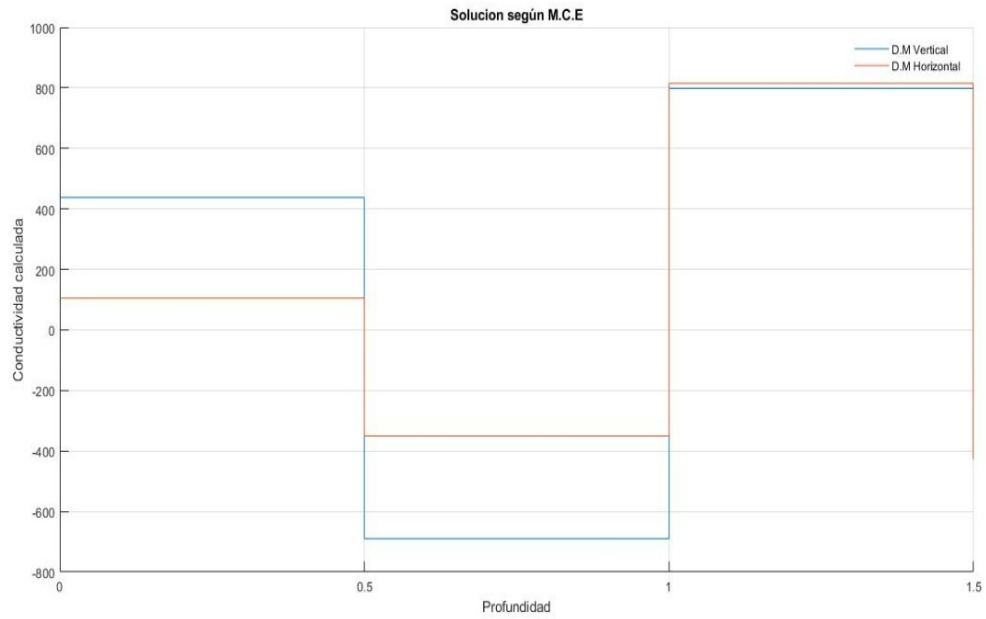


para el dipolo magnético vertical se tienen valores menores de conductividad y más cercanos al eje horizontal debido que para este arreglo la conductividad tiene mayor sensibilidad a profundidades intermedias, por otro lado, el arreglo horizontal es más sensible en superficie, esto lo podemos comprobar con el grafico de la figura 4, donde se presenta el comportamiento de la conductividad calculada y el alcance de profundidad obtenido para cada modelo o arreglo y el cual se obtuvo a partir del modelo de mínimos cuadrados estándar.

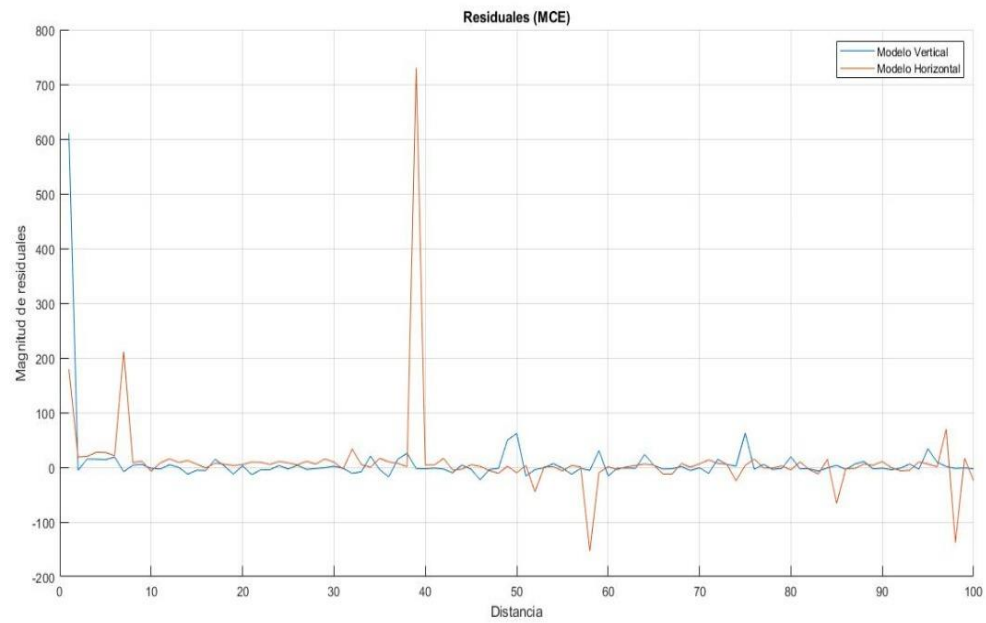
- La figura 4 muestra los residuales obtenidos a partir del modelo de mínimos cuadrados estándar, estos indican el margen de error calculado a través de dicho método, para los residuales del dipolo magnético vertical se tiene un comportamiento más homogéneo, es decir la frecuencia en ambos arreglos no varía tan abruptamente, y los valores obtenidos por medio de MCE son altos.



**Figura 3. Gráfico de conductividades aparentes para los arreglos, dipolo magnético vertical (azul) y dipolo magnético horizontal (rojo).**

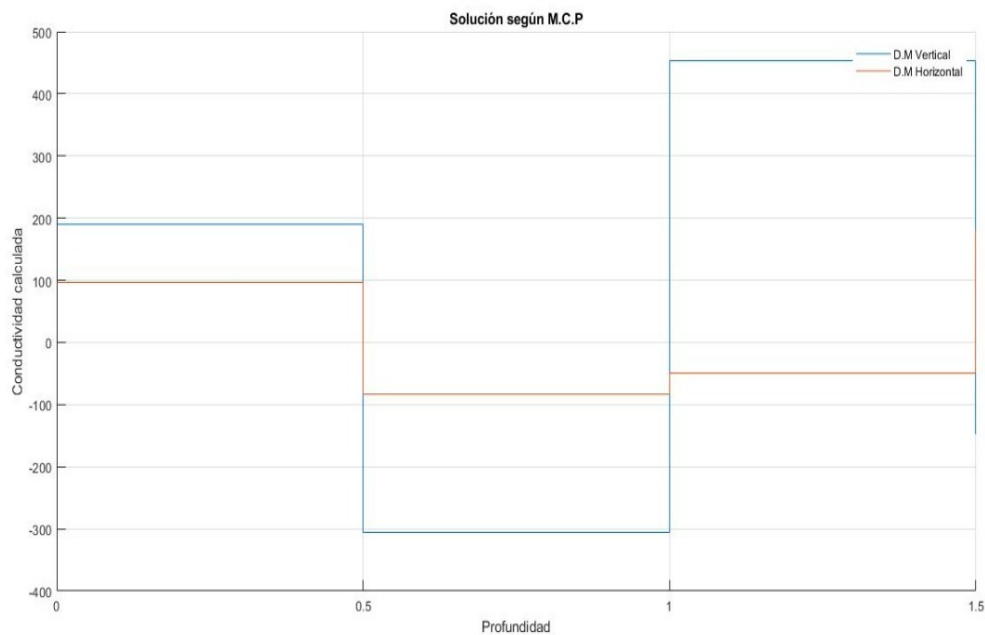


**Figura 4. Solución por medio del método de mínimos cuadrados estándar (MCE) para ambos arreglos.**

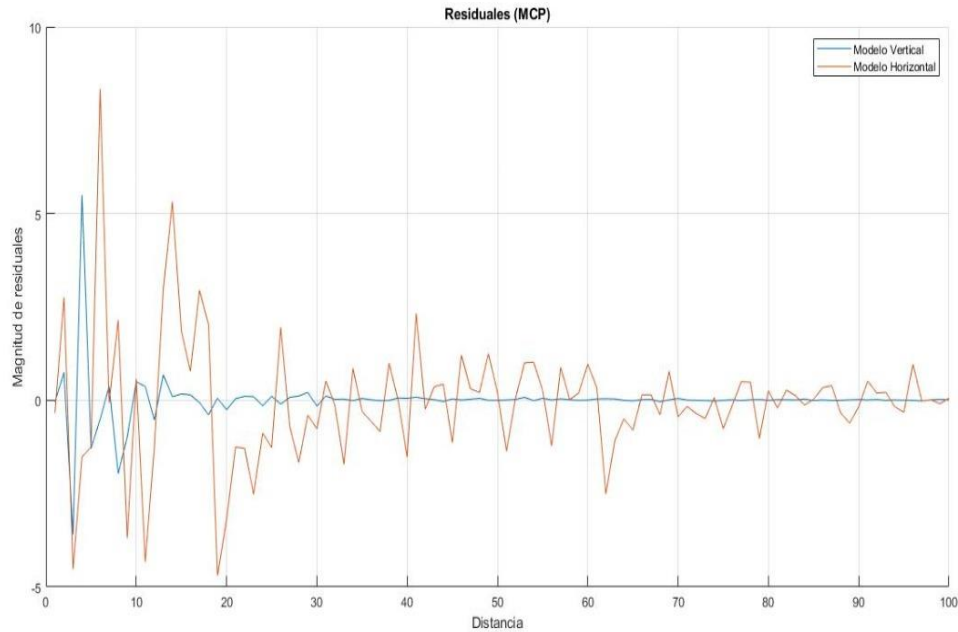


**Figura 5. Gráfico de residuales obtenidos por medio de la inversión de mínimos cuadrados estándar (MCE).**

- La figura 5 muestra los resultados de la conductividad calculada por medio de la inversión de mínimos cuadrados ponderados, la cual busca minimizar el ruido que se le invirtió a los datos, en comparación a los valores de la figura 1 podemos notar que la conductividad calculada a través de ambos arreglos reduce de una forma muy considerable.
- En el gráfico de residuales obtenidos por la inversión de MCP (figura 6) observamos que la magnitud reduce hasta en un 70% en comparación al método de MCE y la frecuencia a través de la distancia cambia de una forma significativa.



**Figura 6. Solución según el método de mínimos cuadrados ponderados (MCP)**



**Figura 7. Gráfico de residuales obtenidos por medio de la inversión de mínimos cuadrados ponderados (MCP)**

- La descomposición de valores singulares busca reducir un conjunto de datos, en este caso es un método alternativo que de igual manera busca minimizar el ruido agregado a la conductividad, en la figura 8 se observan los diagramas obtenidos a partir de la inversión de descomposición de valores singulares, se aprecia que la mejor solución se tiene con 3 o 4 valores singulares puesto que su comportamiento es bastante similar y minimiza el ruido dando como resultado conductividades más cercanas a las reales.
- El gráfico presente en la figura 9 nos señala la componente con la cual el modelo DVS tiene mejor solución, de los cuatro puntos que se muestran el diagrama el localizado en la inflexión de la curva indica el valor adecuado para dicho modelo. La gráfica de análisis espectral (figura 10) representa el número de componentes utilizados para la descomposición del valor singular (SVD) en la metodología empleada.

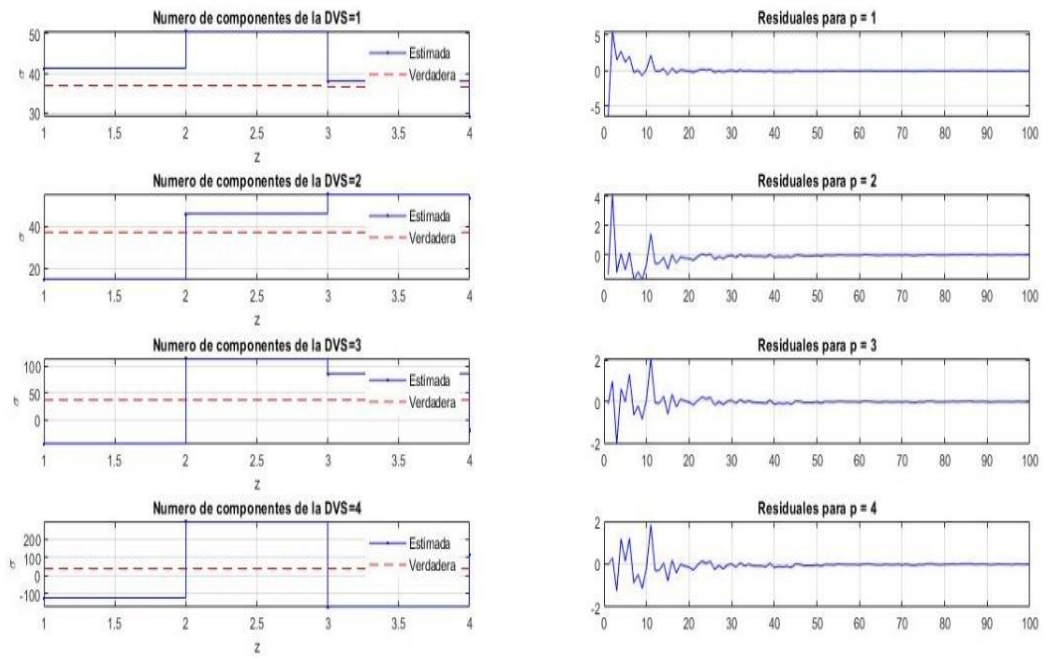


Figura 8. Gráfico de resultados en la inversión por descomposición de valores singulares (DVS).

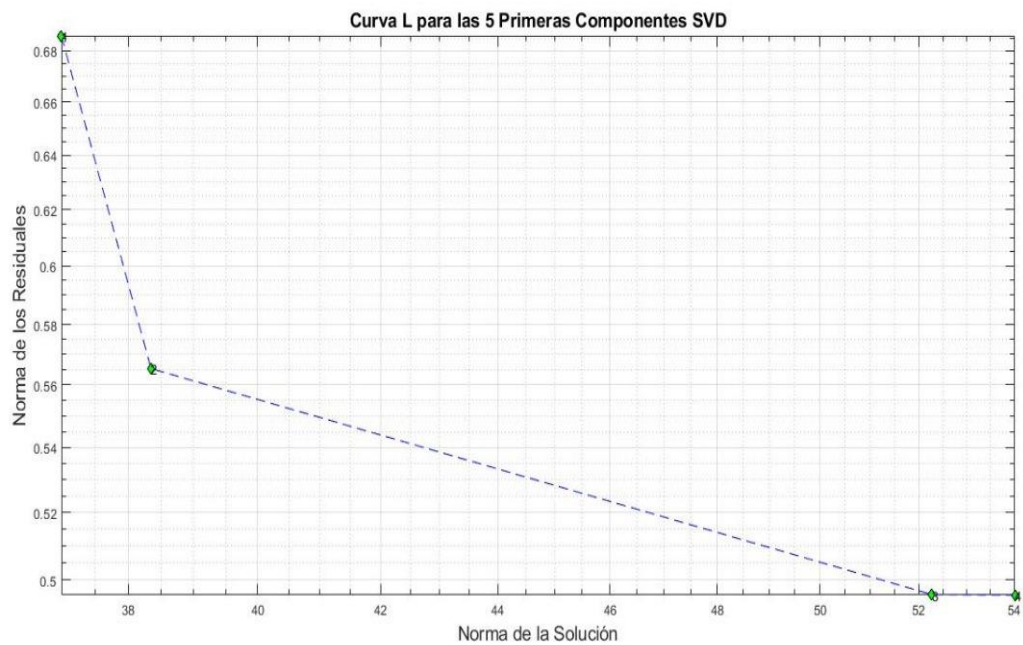
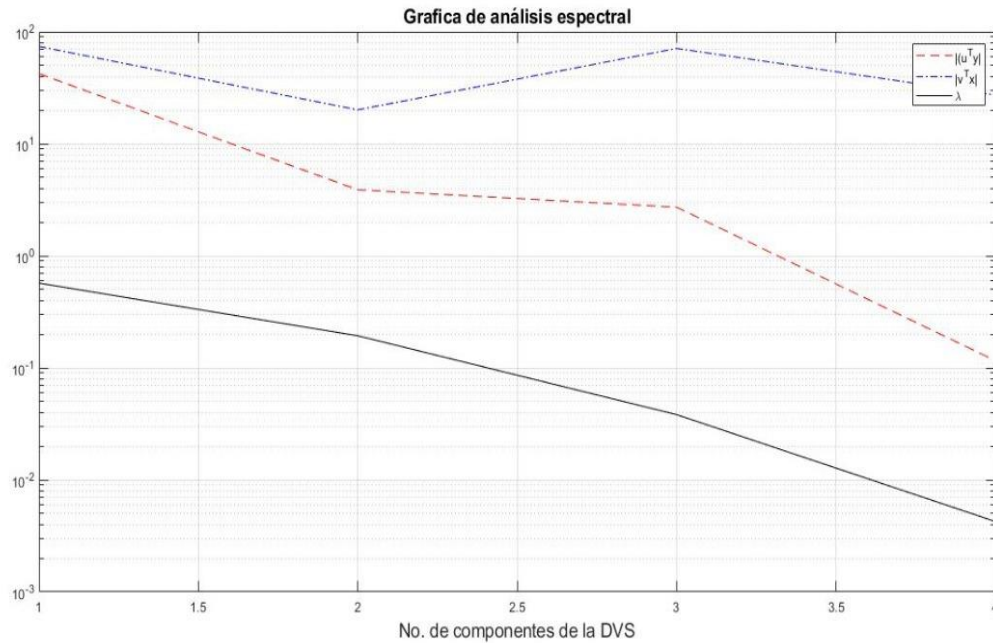


Figura 9. Curva L para las cinco primeras componentes SVD



*Figura 10. Grafica de análisis espectral*

## Conclusiones

Los métodos utilizados para minimizar el ruido de los datos que se llegan a obtener en campo tienen diferente precisión, si bien los tres métodos aplicados (estándar, ponderado y descomposición de valores singulares) son aceptables, sin embargo, hay uno que tiene un rango de mayor precisión, en este caso se habla del método DVS, ya que tiene un margen de valor mínimo en los residuales, a comparación del ponderado y estándar.

El método de inversión por descomposición de valores singulares permite obtener valores de conductividad más cercanas a las reales, esto debido a que los valores en los residuales tienen un margen de error mínimo.

## Bibliografía

- *Beamish, D., 2003. Airborne EM footprints. Geophysical Prospecting 51, 49-60.*
- Caracterización electromagnética, una aplicación de la geofísica somera, Templo del Sol, Sogamoso (Boyacá) (página 50-60).
- *David Beamish. (2011). Low induction number, ground conductivity meters: a correction procedure. (2022), de Published in Journal of Applied Geophysics,* sitio web: [https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/16079/1/JAG\\_2011\\_Beamish.pdf](https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/16079/1/JAG_2011_Beamish.pdf)
- Derek Schneider, (2022). El uso potencial del EM38 para mediciones de agua en el suelo. Antecedentes: funcionamiento de los sensores EM38. Recuperado de: [https://www.une.edu.au/about-une/faculty-of-science-agriculture-business-and-law/school-of-science-and-technology/research/parg/research-areas-and-current-projects/em38?SQ\\_VARIATION\\_13018=0](https://www.une.edu.au/about-une/faculty-of-science-agriculture-business-and-law/school-of-science-and-technology/research/parg/research-areas-and-current-projects/em38?SQ_VARIATION_13018=0)
- *Engineering Geophysics 15, 135–146.*
- *Geophysics 54, 872–888.*
- McNeill, J.D., 1980. Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers. Technical Note TN-6. Geonics Ltd., Mississauga, ON, Canada.
- Spies, B.R., 1989. Effective depth of exploration in electromagnetic sounding methods.
- *Sudduth, K.A., Newell R., Kitchen, N.R., Myers, D.B., Drummond, S.T., 2010. Mapping depth to argillic soil horizons using apparent electrical conductivity. Journal of Environmental and*
- *Palacky, GJ, 1987. Características de resistividad de objetivos geológicos. Métodos electromagnéticos en geofísica aplicada. Recuperado de: http://dualem.com/documents/em-induction/*

## Referencia de los datos utilizados para este reporte

Sambuelli L., (2007). Proyecto: Geofísica Waterborne en aguas poco profundas. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/228648769\\_Study\\_of\\_riverine\\_deposits\\_using\\_electromagnetic\\_methods\\_at\\_a\\_low\\_induction\\_number](https://www.researchgate.net/publication/228648769_Study_of_riverine_deposits_using_electromagnetic_methods_at_a_low_induction_number)

## Anexos

### Código empleado en MATLAB:

```
% Vector de incógnitas close all; clear all; clc;

r=[1:1:100];
z=[0:10:40,1e3];
cond=[0.2;3.2;1.5;0.7;0.1];

m=length(r)
n=length(cond)
l=length(z)

a=zeros(m,n)
b=zeros(m,n)

for i=1:m
    for j=1:n
        a(i,j)=-
r(i)/(sqrt(4*(z(j+1)^2)+(r(i)^2)))+r(i)/(sqrt(4*(z(j)^2)+(r(i)^2)));
        b(i,j)=((z(j+1)*2)-sqrt(4*(z(j+1)^2)+(r(i)^2)))/r(i)-((z(j)*2)-
sqrt(4*(z(j)^2)+(r(i)^2)))/r(i);
    end
end

%a= coeff de kernell
%b= coeff de kernell
%cond= Conductividad real
%A, B= Conductividad aparente

A=a*cond
B=b*cond

yA=A+0.3*A.*randn(m,1)
yB=B+0.3*B.*randn(m,1)

%MCE=Minimos Cuadrados Estandar
V=inv(a'*a)*(a'*yA)
H=inv(b'*b)*(b'*yB)

Yac=a*V
```



```

Ybc=b*H

rVmce=yA-Yac
rHmce=yB-Ybc

%MCP=Minimos Cuadrados Ponderados

for i=1:m
    An(i,:)=a(i,+)/rVmce(i);
end

for i=1:m
    Bn(i,:)=b(i,+)/rHmce(i);
end

Yna=yA./rVmce
Ynb=yB./rHmce

Vmcp=inv(An'*An)*(An'*Yna)
Hmcp=inv(Bn'*Bn)*(Bn'*Ynb)

Yap=An*Vmcp
Ybp=Bn*Hmcp

rVmcp=yA-Yap
rHmcp=yB-Ybp

%Primer grafico.
figure(1)
subplot(2,1,1)
stairs(z(1:l-1),cond)
grid on

subplot(2,1,2)
hold on
grid on
plot(r,A)
plot(r,B)

```

```

%Segundo grafico
figure(3)
subplot(2,1,1)
grid on
hold on
stairs(z(1:l-1),V)
stairs(z(1:l-1),H)

subplot(2,1,2)
hold on
grid on
plot(r,rVmcp)
plot(r,rHmcp)

%Tercer grafico
figure(2)
subplot(2,1,1)
grid on
hold on
stairs(z(1:l-1),Vmcp)
stairs(z(1:l-1),Hmcp)

subplot(2,1,2)
hold on
grid on
plot(r,rVmce)
plot(r,rHmce)

co=(1:n)';

for i=1:m,
    yer(i)=z(i)*(1+0.035*randn(1,1));
end
yer=yer';
%
% Construcción de soluciones y del vector de residuales.
% Formas gráficas con resultados para 6 componentes por página
% con un máximo de 18 o mientras la razón de los valores
% singulares es menor que  $10^{-13}$ .
xp=zeros(n,1);
k=-1;

```

```

for i=1:n,
    k=k+2;
    if i == 6 | i == 12 ,    % matriz de figuras: 6 x 2
        figure,
        k=1;
    end
    if(lambda(i) < (10^(-13))*lambda(1)),    %
        break
    end
    uty(i)=0.0;
    for j=1:m,
        uty(i)=uty(i)+u(j,i)*yer(j);
    end
    vtx(i)=uty(i)/lambda(i);
    for j=1:n,
        xp(j)=xp(j)+vtx(i)*v(j,i);
    end
    ysom=a*xp;
%   res=yer'-ysom;
    res=yer-ysom;
    subplot(5,2,k),
    stairs(co,xp,'b.-')
    title(['Numero de componentes de la DVS=',num2str(nlam(i))])
    ylabel('\sigma'), xlabel('z')
    hold on
    stairs(co,cond,'r--')
    legend('Estimada','Verdadera')
    grid on
    subplot(5,2,k+1)
    plot(arg,res,'b-'), grid on,
    title(['Residuales para p = ',num2str(i)]);
%   if i >2,
%       axis([0 40 -0.2 0.2])
%   end
    i;
    normx(i)=sqrt(xp'*xp/n);
    normres(i)=sqrt(res'*res/m);
    lamb(i)=lambda(i);
end
% Dibujo con el resumen del análisis espectral.
figure,
ix=1:i;
semilogy(ix,abs(uty),'r--',ix,abs(vtx),'b.-',ix,lamb,'k-')
title('Grafica de análisis espectral','FontSize',14)
xlabel('No. de componentes de la DVS','FontSize',14)
legend('{|(u^Ty)|}','{|(v^Tx)|}','\lambda'), grid on,
% Curva L
figure,

```

```

loglog(normx,normres,'b--'),
grid on, title('Curva L para las 5 Primeras Componentes SVD','FontSize',14)
xlabel('Norma de la Soluci3n','FontSize',14),
ylabel('Norma de los Residuales','FontSize',14),grid on, hold on,
loglog(normx,normres,'kd','MarkerFaceColor','g'),hold on,
for i=1:length(normx),
    text(normx(i),normres(i),num2str(i)),    % 1.25*norm
end
% Matriz de Resolucion
R=v*v';
[rm,rn]=size(R);

figure,
for i=1:rm

    subplot(i,1,i)
    plot(1:1:rn,R(i,:)),title(['Matriz de Resoluci3n, fila ',num2str(i)])
    grid on
end

```

```

function invdvs(a,z,co) end

```

```

format long e

```

```

% Matriz del modelo

```

```

[m,n]=size(a);

```

```

arg=1:m;

```

```

% Aplica la DVS.

```

```

[u,lambda,v]=svd(a);

```

```

lambda=diag(lambda);

```

```

nlam=1:length(lambda);

```

```

% Vector de inc3gnitas

```

```

co=(1:n)';

```

```

for i=1:m,
    yer(i)=z(i)*(1+0.035*randn(1,1));
end
yer=yer';
%
% Construcción de soluciones y del vector de residuales.
% Forma gráficas con resultados para 6 componentes por página
% con un máximo de 18 o mientras la razón de los valores
% singulares es menor que  $10^{-13}$ .
xp=zeros(n,1);
k=-1;
for i=1:n,
    k=k+2;
    if i == 6 | i == 12 ,    % matriz de figuras: 6 x 2
        figure,
        k=1;
    end
    if(lambda(i) < (10-13)*lambda(1)),    %
        break
    end
    uty(i)=0.0;
    for j=1:m,
        uty(i)=uty(i)+u(j,i)*yer(j);
    end
    vtx(i)=uty(i)/lambda(i);
    for j=1:n,
        xp(j)=xp(j)+vtx(i)*v(j,i);
    end
    ysom=a*xp;

```

```

% res=yer'-ysom;
res=yer-ysom;
subplot(5,2,k),
stairs(co,xp,'b.-')
title(['Numero de componentes de la DVS=',num2str(nlam(i))])
ylabel('\sigma'), xlabel('z')
hold on
stairs(co,cond,'r--')
legend('Estimada','Verdadera')
grid on
subplot(5,2,k+1)
plot(arg,res,'b-'), grid on,
title(['Residuales para p = ',num2str(i)]);
% if i >2,
%     axis([0 40 -0.2 0.2])
% end
i;
normx(i)=sqrt(xp'*xp/n);
normres(i)=sqrt(res'*res/m);
lamb(i)=lambda(i);
end
% Dibujo con el resumen del análisis espectral.
figure,
ix=1:i;
semilogy(ix,abs(uty),'r--',ix,abs(vtx),'b-.',ix,lamb,'k-')
title('Grafica de análisis espectral','FontSize',14)
xlabel('No. de componentes de la DVS','FontSize',14)
legend('{|(u^Ty)|}','{|(v^Tx)|}','\lambda'), grid on,
% Curva L
figure,

```

```

loglog(normx,normres,'b--'),
grid on, title('Curva L para las 5 Primeras Componentes SVD','FontSize',14)
xlabel('Norma de la Soluci♦n','FontSize',14),
ylabel('Norma de los Residuales','FontSize',14),grid on, hold on,
loglog(normx,normres,'kd','MarkerFaceColor','g'),hold on,
for i=1:length(normx),
    text(normx(i),normres(i),num2str(i)),    % 1.25*norm
end
% Matriz de Resolucion
R=v*v';
[rm,rn]=size(R);

figure,
for i=1:rm

    subplot(i,1,i)
    plot(1:1:rn,R(i,:)),title(['Matriz de Resoluci♦n, fila ',num2str(i)])
    grid on
end

```