

PROGRAMA PARA UBICAR FENOMENOS SISMICOS MEDIANTE EL METODO DE GEIGER

CARLOTA GERSHANIK
Observatorio Astronómico
Universidad Nacional de la Plata

La experiencia pone de manifiesto que conviene disponer de recursos en una estación sismográfica para ubicar fenómenos sísmicos con precisión. Se preparó por ello un programa Fortran IV relativo al Método de iteración de Geiger para ser usado con ondas P, PKP y pP. El mismo es parecido al de Bolt, pero tiene algunas diferencias de importancia que se destacan. Se da su detalle y para ilustrar acerca de su estructura se proporciona un diagrama de flujo.

A Fortran IV program for the Geiger iterative Method for Earthquake location using P, PKP and pP, similar to the one outlined by Bolt, but with some significant differences has been prepared, and is presented in detail. Description of its main features and a flow diagram are also given.

I. INTRODUCCION

Si bien la ubicación de fenómenos sísmicos es una tarea que sistemáticamente realizan el Centro Internacional de Sismología (ISC), la Oficina Central Sismológica Internacional (BCSI) y la Oficina estadounidense para estudios oceánicos y atmosféricos (NOAA) resulta conveniente contar en una estación sismográfica con recursos para efectuar esa tarea en relación con fenómenos que entran en el área que con ella se puede cubrir, ya que la ubicación que adjudican los centros de cálculo citados para algunos fenómenos sísmicos, a veces, se presenta dudosa a la luz de la información que a su respecto se puede tener en la estación.

En vista de ello, y teniendo presente que el Método iterativo de Newton Raphson, conocido en Sismología como Método de Geiger, resulta eficiente cuando se dispone de datos no demasiado desfavorables para el cálculo, abordamos la elaboración de un programa Fortran IV para ese método, con el fin de emplearlo en la computadora IBM/360 modelo 50, que posee la Universidad Nacional de La Plata.

Programas de esta clase han sido preparados con anterioridad por otros autores, entre los que cabe mencionar a Bolt (1960) y Herrin, Taggart y Brown (1962); pero los mismos no se han publicado en detalle, sino sólo sus lineamientos fundamentales (*). Pareció por ello conveniente al preparar el nuestro darlo a conocer no sólo en sus particularidades, sino también en extenso.

II. PARTICULARIDADES DEL PROGRAMA

El problema de ubicar un fenómeno sísmico, como lo puntualizara S. Gershanik (1941, 1973) consiste en despejar las incógnitas H, θ, Λ, Z de las ecuaciones de observación

$$t_i = H + f(\theta, Z) \quad (1)$$

en las cuales es:

t_i	la hora de llegada de una fase.
H	la hora de origen del fenómeno sísmico,
Z	profundidad,
θ	distancia epicentral.

$$\cos \theta = 1 - 0.5 [(A' - A)^2 + (B' - B)^2 + (C' - C)^2]$$

$$A' = \cos \psi \cos \Lambda \qquad A = \cos \psi_i \cos \lambda_i$$

$$B' = \cos \psi \sin \Lambda \qquad B = \cos \psi_i \sin \lambda_i$$

$$C' = \sin \Lambda \qquad C = \sin \lambda_i$$

$$\operatorname{tg} \psi = 0.993277 \operatorname{tg} \Phi ; i \qquad \operatorname{tg} \psi_i = 0.993277 \operatorname{tg} \phi_i$$

(*) El programa de Bolt nos ha sido accesible merced a que el autor tuvo la amabilidad de enviarnos una copia que nos resultó de mucha utilidad.

Φ y ψ respectivamente, la latitud geográfica y la latitud geocéntrica del epicentro,

ϕ_i y ψ_i las coordenadas análogas de una estación sísmica,

Λ y λ_i la longitud del epicentro y de la estación respectivamente.

Para despejar las incógnitas en el Método de Geiger, se linealiza las ecuaciones (1) a partir de valores aproximados $H_0, \psi_0, \Lambda_0, Z_0$ con lo que resultan en reemplazo de ellas las ecuaciones

$$\gamma = \Delta H + a\Delta\psi + b\Delta\Lambda + c\Delta Z \quad (2)$$

$$\text{con } \gamma = t - H_0 - f(\theta_0, Z_0)$$

$$a = \frac{\partial f}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \quad b = \frac{\partial f}{\partial \theta} \frac{\partial \theta}{\partial \Lambda} \quad c = \frac{\partial f}{\partial Z}$$

Las derivadas de f se obtienen de las tablas de tiempo de propagación y para las de θ se tiene

$$\frac{\partial \theta}{\partial \psi} = -\cos \alpha \quad \frac{\partial \theta}{\partial \Lambda} = -\cos \psi \operatorname{sen} \alpha \quad (*)$$

donde α es el acimut de la estación.

De las ecuaciones (2) se despejan las correcciones $\Delta H, \Delta\psi, \Delta\Lambda, \Delta Z$ se les agrega a $H_0, \psi_0, \Lambda_0, Z_0$ con lo que se obtiene un nuevo punto de partida, y se reitera luego sucesivamente el proceso.

Cuando el número de ecuaciones (1) de que se dispone es superior a 4, el cálculo se hace por el método de mínimos cuadrados. El proceso en ese caso debe quedar detenido cuando se ha logrado que la función G , suma pesada de residuos cuadráticos sea un mínimo, o lo que es equivalente, como lo señalara S. Gershanik (1973) cuando el modulo D del gradiente de G es nulo.

Dicho modulo está dado por

$$D^2 = [pa\gamma]^2 + [pb\gamma]^2 + [pc\gamma]^2 + [p\gamma]^2$$

siendo p es el peso de la respectiva ecuación de observación.

(*) En $\partial\theta/\partial\Lambda$ suele omitirse $\cos \psi$, lo cual no es correcto.

Como es muy difícil lograr valores para los cuales D sea igual a 0, el cálculo puede detenerse cuando se ha llegado a un valor de D razonablemente pequeño.

El mismo autor señala como aceptable que sea

$$D < 20 \epsilon \sqrt{[p]}$$

donde por ϵ se entiende el mínimo error asignable a los valores de t observados. Como este criterio está fundado en consideraciones que lo hacen muy plausible, el mismo fue adoptado en el programa que preparamos. Este último fue estructurado en forma parecida al de Bolt (loc. cit.) pero con las siguientes variantes

- a) Se usa el criterio recién señalado para detener el cálculo, lo cual es indudablemente más razonable que el usado por Bolt, y por Hemn, Taggart y Brown, consistente en detener el cálculo cuando las correcciones sucesivas son menores que una cantidad pequeña prefijada.
- b) La fase pP entra en el cálculo del mismo modo que P excepto que se le asigna un peso p cincuenta veces menor que a P .
- c) Excluye los datos cuyo error pesado $\gamma_i \sqrt{P_i}$ es superior a 5^s ó a 3 veces el error de la unidad de peso, lo que parece aconsejable teniendo en cuenta la baja probabilidad que tienen errores de esa magnitud.
- d) La exclusión se realiza en cada iteración, pero en cada una de ellas se vuelve a incluir los datos excluidos de una iteración precedente, toda vez que en la nueva iteración su error resulte menor que el límite señalado en c). Los datos que no entran en la iteración final quedan marcados con una señal en la página de salida.

El programa incluye el cálculo de los tiempos de recorrido por interpolación lineal doble de las tablas de Jeffreys Bullen, correcciones de los t por elipticidad y altura de la estación sobre el nivel del mar, que se efectúan con la fórmula de Bullen (1937).

$$\epsilon_1 = \Gamma(\theta_1)(h_0 + h_1 + h^*) + 0.14 h^*$$

en la cual $\Gamma(\theta_1)$ es una función empírica encontrada por Bullen, h_0 y h_1 son las alturas del epicentro y de la estación sobre la esfera terrestre media y h^* es la altura de esta última sobre el nivel del mar.

También incluye el cálculo del error medio cuadrático de los resultados y la conversión de la latitud geocéntrica a geográfica.

Por ser iterativo, el Método de Geiger puede en algunos casos no ser convergente. En atención a ello se agregó la previsión de que el cálculo quede detenido si el número de iteraciones resulta superior a una cantidad prefijada razonablemente elevada.

Considerando las necesidades más inmediatas, el programa ha sido preparado para operar con las fases P , PKP y pP , cuyos tiempos de propagación se grabaron en los discos de la computadora.

64 PROGRAMA PARA UBICAR FENOMENOS SISMICOS

```

WRITE(6,781)
S=1
781 FORMAT(1H0,'PROFUNDIDAD CONSTREÑIDA A 739 KM DE LA SUPERFICIE?')
GO TO 828
945 IF (PROF-21(14))986,587,987
937 M2=14
PROF=21(14)
S=2
IF(6,792)
792 FORMAT(1H0,'PROFUNDIDAD CONSTREÑIDA A 739 KM DE LA SUPERFICIE?')
GO TO 828
946 GO TO 990 I=2,13
940 CONTINUE
941 M2=I
S=(PROF-21(14))/(21(14+1)-21(M2))
R=1
L5=N
S=0
M=
WRITE(6,795)
795 FORMAT(1H1,'M',DEL(I),M(P),CALT(P),FLP(P)/Z)
GO TO 140 I=1,N
J=NUMERO(I)
PL=.FALSE.
OKPI=.FALSE.
M1=INT(DELTA(I))+1
DELT=FLCAT(M1-1)
P=DELTA(I)-DELT
IF(DELTA-100.)115,111,111
111 IF(DELTA-140.)112,112,113
112 IF(110.-DELT)118,113,113
113 RESID(I)=0.
NEST=N-1
DIVN=DIVN-1.
GO TO 100 K=1.0
100 A(I,K)=0.
WRITE(6,125)Z(J),DELTA(I)
125 FORMAT(1H ,34,1X7.2)
GO TO 145
115 PL=.TRUE.
IP(2,I)=ISR
IP(3,I)=ISR
C*** CALCULO DE LOS RESIDUOS
GRAD1=P(M1+1,M2)-P(M1,M2)
GRAD2=S*(P(M1+1,M2+1)-GRAD1-P(M1,M2+1))+GRAD1
GRADZ=(P(M1,M2+1)-P(M1,M2)+P*(P(M1+1,M2+1)-GRAD1-P(M1,M2+1)))/(21(
M2+1)-21(M2))
CALT=P(M1,M2)+S*(P(M1,M2+1)-P(M1,M2))+R*GRADZ
RESID(I)=IP(I)-CALT+FLP(I)
IF(MARK(I))5087,5087,5089
5084 AR=ABS(RESID(I))
IF(AR.GT.3.*EPSU)GO TO 7099
IF(AR.GT.5.)GO TO 7099
MARK(I)=0
MAR(I)=ISR
DIVN=DIVN+1
NEST=NEST+1
7099 A(I,1)=0.
GO TO 5083
5087 A(I,1)=1.
5089 WRITE(6,770)Z(J),DELTA(I),OP(I),CALT,FLP(I),MAR(I)
770 FORMAT(1H ,34,1X7.2,3F10.5,2YA2)
C*** CALCULO DEL ACIMUT
T1=DCA(J)-SIN(EPLONG*RAD)
T2=DCA(J)+C7S(EPLONG*RAD)
T3=SIN(DELTA(I)*RAD)
S7=(0.5*(T1+T1+T2+T2+DCC(J)*DCC(J)-1.)/T3
T1=DCA(J)-EPOCC*COS(EPLONG*RAD)
T2=DCA(J)-EPOCC*SIN(EPLONG*RAD)
T4=DCC(J)+C7
C7=(0.5*(T1+T1+T2+T2+T4+T4)-1.)/T3
IF(ABS(C7).GT.1.)GO TO 6000
AZ(I)=ATAN(1./S7*ATN(1./S7**2)-1.)*GRAD
GO TO 6000
6000 AZ(I)=0.
6001 IF(S7.GE.0.AND.C7.GE.0)GO TO 800
IF(S7.GE.0.AND.C7.LT.0)AZ(I)=180.-AZ(I)
IF(S7.LT.0.AND.C7.LE.0)AZ(I)=180.+AZ(I)
IF(S7.LT.0.AND.C7.GT.0)AZ(I)=360.-AZ(I)
771 IF(MARK(I))5300,5089,5089
C*** CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE LAS EC. DE OBSERVACION
5300 A(I,2)=-1.*C7*GRADZ
A(I,3)=-1.*S7*GRADZ*GRADZ
A(I,4)=GRADZ
A(I,5)=RESID(I)
G=C*RESID(I)**2
M=M+1.

```

```

GO TO 5092
5089 DO 500 K=2,5
5091 A(I,K)=0.
5092 M3=M1
GO TO 977
118 M3=M1
M1=M1-110
IP(2,1)=NOPK
IP(3,1)=ISB
GRAD1=PKP(M1+1,M2)-PKP(M1,M2)
GRAD2=S*(PKP(M1+1,M2+1)-GRAD1-PKP(M1,M2+1))+GRAD1
GRAD3=(PKP(M1,M2+1)-PKP(M1,M2)+R*(PKP(M1+1,M2+1)-GRAD1-PKP(M1,M2+1)))/(Z1(M2+1)-Z1(M2))
CALC=PKP(M1,M2)+S*(PKP(M1,M2+1)-PKP(M1,M2))+R*GRAD3
GO TO 977
977 IF(OPP(1)) EQ 99,OR DELTA(1) GT 100,GO TO 145
IF(DELTA(1) LT 23,GO TO 145
IF(PROF,F) Z1(1)) GO TO 145
M1=M3-23
IF(M2-NC(M1)) 974,975,975
974 S1=S
M4=M2
IISA=ISA
GO TO 976
975 IISA=ISA
M4=NC(M1)
S1=(PROF-Z(44))/(Z(44+1)-Z(44))
976 L5=L5+1
DIVN=DIVN+1.
M=M+0.02
C*** CALCULO DE LOS RESIDUOS DE P CHICA P
972 GRAD1=PPMP(M1+1,M4)-PPMP(M1,M4)
GRAD2=S1*(PPMP(M1+1,M4+1)-GRAD1-PPMP(M1,M4+1))+GRAD1
GRAD3=(PPMP(M1,M4+1)-PPMP(M1,M4)+R*(PPMP(M1+1,M4+1)-GRAD1-PPMP(M1,M4+1)))/(Z1(M4+1)-Z1(M4))
CALC=PPMP(M1,M4)+S1*(PPMP(M1,M4+1)-PPMP(M1,M4))+R*GRAD3
RESIP(1)=OPP(1)-CALC
WRITE(6,771)OPP(1),CALC,IISA
771 FORMAT(1H,42X2F10.5,14)
IF(MARKP(1)) EQ 0,GO TO 7000
7001 AR=ABS(RESIP(1))*SQRT(C.02)
IF(AR GT 3.0*EPSU) GO TO 145
IF(AR GT 5.0) GO TO 145
MARKP(1)=IISA
MARKP(1)=1
DIVN=DIVN+1
IF(MARK(1)) EQ 1,GO TO 145
NEST=NEST+1
7000 M1=SQRT(C.02)
A(L5,1)=M1
A(L5,2)=-1.0*C2*GRAD2*R
A(L5,3)=-1.0*S2*GRAD3*CF7*M1
A(L5,4)=GRAD2*M1
A(L5,5)=RESIP(1)*M1
G=G+0.02*R=RESIP(1)*R
GO TO 145
145 RESIP(1)=
145 CONTINUE
CALL MATN
SC=
DO 200 I=1,5
200 SC=SD+R(I,5)*4(I,5)
N=SQRT(SC)
IF(JM.EQ.1) GO TO 7001
WRITE(6,797)
797 FORMAT(1H1,3H MATN(7 A//)
KMA=0
DO 5000 I=1,L5
IF(KMA.EQ.73) WRITE(6,797)
WRITE(6,993)(A(I,J),J=1,5),I=1,5)
5000 KMA=KMA+1
993 FORMAT(1H,5F10.5)
WRITE(6,799)
799 FORMAT(1H1,3H MATN(7 A//)
WRITE(6,996)((R(I,J),J=1,5),I=1,4)
996 FORMAT(1H,5F10.5)
7001 IF(D.LE.2.0*SQRT(W).OR.NM.EQ.NIT) GO TO 36
35 CALL PAGE(1)
5996 CALL MINCJA
C*** CORRECCION DE LA HORA DE ORIGEN Y DE LAS COORDENADAS INICIALES
NTSEC=NTSEC+COR(1)
OT(3)=AMN(NTSEC,AC)
TEMP1=(NTSEC-OT(3))/60.
OT(2)=AMN(TEMP1,AC)
OT(1)=(TEMP1-OT(2))/60.
CFPLAT=CFPLAT+COR(2)
FPLONG=FPLONG+COR(3)
PROF=PROF+COR(4)
DO 701 K=1,4

```

66 PROGRAMA PARA UBICAR FENOMENOS SISMICOS

```

OP(K)=OP(K)-COR(1)
IF(OPP1(K).EQ.09)GO TO 701
OPP(K)=OPP(K)-COR(1)
701 CONTINUE
NN=NN+1
GO TO 31
16 FPSU=SQRT(G/(DIVN*4.))
R(1,5)=1.
DO 180 J=2,4
31 R(J,5)=0.
IF(JM.FO.1)GO TO 7002
WRITE(6,788)
WRITE(6,886)((R(I,J),J=1,5),I=1,4)
7012 DO 262 I=1,4
DO 262 J=1,5
257 PR(I,J)=R(I,J)
CALL MINCIA
FPS(1)=FPSU*SQRT(COR(1))
IF(JM.FO.1)GO TO 7003
WRITE(6,896)(COR(J),J=1,4)
7003 DO 290 J=1,3
DO 260 I=1,4
DO 260 JJ=1,5
250 R(I,JJ)=RR(I,JJ)
R(J,5)=1.
RR(J+1,5)=1.
RR(J,5)=R(J,5)
IF(JM.FO.1)GO TO 7004
WRITE(6,5091)
5091 FORMAT(1H0,2H MATE 17 R/1)
WRITE(6,896)((R(I,JJ),JJ=1,5),I=1,4)
7004 CALL MINCIA
IF(JM.FO.1)GO TO 350
WRITE(6,896)(COR(K),K=1,4)
390 EPS(J+1)=FPSU*SQRT(COR(J+1))
417 EPLAT=(ATAN(SIN(GEPLAT*PI)/COS(GEPLAT*PI)*.993277))*.GFAD
420 CALL PAG(1)
NN=0
IF(NSF.FO.1)GO TO 47
WRITE(6,7000)
7000 FORMAT(1H1,1H )
L5=N
NSF=1
DO 5082 I=1,N
AR=ABS(RESIP(I))
IF(AR.GE.5)GO TO 5082
IF(AR.LT.3.*FPSU)GO TO 5082
5082 MARK(I)=1
MARK(I)=ISA
DIVN=DIVN-1.
J=NUMERO(I)
WRITE(6,4790)I,NUMERO(I),J(J),RESIP(I),MARK(I)
4790 FORMAT(1H ,2I4,2X4,2X4,3,2)
DO 5084 J=1,5
5084 A(I,J)=0.
5087 IF(OPP1(I).EQ.09..OR..RESIP(I).EQ.0.)GO TO 5182
L5=L5+1
AR=ABS(RESIP(I))*SQRT(0.02)
IF(AR.GE.5)GO TO 5087
IF(AR.LT.3.*FPSU)GO TO 5082
5087 MARKP(I)=1
MARKP(I)=ISA
DIVN=DIVN-1.
DO 5085 J=1,5
5085 A(L5,J)=0.
IF(MARK(I).EQ.1..AND..MARKP(I).EQ.1.)NEST=NEST-1
GO TO 5082
5182 IF(MARKP(I).EQ.1)NEST=NEST-1
5082 CONTINUE
CALL MATN
GO TO 5886
421 CALL EXIT
END
SUBROUTINE MINCIA
***** RESUELVE EL SISTEMA DE EC. NORMALES
COMMON IP(3,105),Z(160),OP(105),OPP(105),P(103,14),RESIP(105),RESI
IP(105),TEMP(5),COR(5),A(160,5),R(4,5),DCA(160),DCR(160),DCC(160),N
2FLTA(105),AZ(105),DIST(22),ALT(19),NT(3),MNT(2),OP1(105),OP2(105),
3OP3(105),OPP1(105),OPP2(105),OPP3(105),LON(105),NUMERO(105),FLP(1
405),NM(105),Z1(14),NC(17),FECHA(A),SLAT(160),EPS(4),HN(160),
5NEST,G,FPSU,EPLAT,EPLONG,PROF,Z,PKP(71,14),POMP(78,14),DC(105),N,
6GEPLAT,BA(4,5),MARK(100),MARKP(100),MAR(100),MARP(100),L5,JT
DO 254 L=1,4
IMAX=L
PIVMAX=R(L,L)
228 LP=L+1
IF(LP=4)229,229,2=1
251 IF(R(4,4))256,249,2=6

```



```

245 COR(4)=0.
GO TO 250
229 DO 239 I=LP,4
IF (ABS(P1VMAX)-ABS(B(I,L)))230,235,239
230 P1VMAX=B(I,L)
I MAX=I
235 CONTINUE
DIVI1=B(I MAX,L)
DO 240 K=L,5
TEMP(K)=B(I,K)
B(I,K)=B(I MAX,K)
B(I MAX,K)=TEMP(K)
240 B(I,K)=B(I,K)/DIVI1
I=I+1
252 DO 254 I=1,4
FMULTB=R(I,L)
DO 254 K=L,5
254 B(I,K)=B(I,K)-R(L,K)*FMULTB
256 COR(4)=R(4,5)/R(4,4)
259 I2=4
260 SIGMA1=0.
DO 262 J=I2,4
262 SIGMA1=SIGMA1+B(I2-1,J)*COR(J)
I2=I2-1
COR(I2)=R(I2,5)-SIGMA1
IF (I2)265,265,26C
265 RETURN
END
SUBROUTINE GRAR
C**** LEF TABLAS GRABADAS Y DATOS FIJOS DE LAS ESTACIONES
COMMON IP(3,105),Z(167),OP(105),OPP(105),P(103,14),RESID(105),RESI
IP(105),TMP(5),COR(5),A(160,5),R(4,5),DCA(160),DCB(160),DCC(160),D
ZELTA(105),AZ(105),DIST(22),ALT(19),OT(3),MOT(2),OP1(105),OP2(105),
OP3(105),OPP1(105),OPP2(105),OPP3(105),LORD(105),NUMERO(105),ELP(1
405),NM(105),Z1(14),NC(78),FECHA(6),SLAT(160),EPS(4),HN(160),
SNEST,G,EPSU,EOLAT,EPLONG,PROF,D,PKP(71,14),PPMP(78,14),DC(105),N,
GEPLAT,R(4,5),MARK(100),MARKP(100),MAR(100),MARP(100),L5,JT
REWIND 1
READ(1,1)P
1 FORMAT(13F6.1)
REWIND 2
READ(2,23,EVD=4)((PKP(I,J),I=1,71),J=1,14)
23 FORMAT(11F7.1)
REWIND 3
READ(3,1,EN)=6)((PPMP(I,J),I=1,78),J=2,14)
REWIND 4
READ(4,9)Z1
9 FORMAT(13F6.2)
REWIND 11
READ(11,10)INC
11 FORMAT(26I3)
REWIND 8
READ(8,11)ALT
11 FORMAT(19F4.2)
REWIND 9
READ(9,12)DIST
12 FORMAT(20F4.3)
REWIND 17
IPA=160
READ(10,13)(Z(I),DCA(I),DCB(I),DCC(I),SLAT(I),I=1,IPA)
REWIND 15
READ(15,30)HN
30 FORMAT(11AF5.3)
13 FORMAT(A4,3F9.6,F9.4)
223 IF(JT.EQ.1)GO TO 7C07
WRITE(6,2)
2 FORMAT(1H1,'TABLA DE P'//)
K=0
DO 24 I=1,133
IF(K.EQ.79)40WRITE(6,21)
WRITE(6,21)(P(I,J),J=1,14)
24 K=K+1
3 FORMAT(1H ,14F8.1)
4 WRITE(6,5)
5 FORMAT(1H1,'TABLA DE PKP'//)
WRITE(6,21)(PKP(I,J),J=1,14),I=1,71)
6 WRITE(6,7)
7 FORMAT(1H1,'TABLA DE PMP'//)
WRITE(6,21)(PPMP(I,J),J=2,14),I=1,78)
8 FORMAT(1H ,3X13FR.1)
WRITE(6,14)
14 FORMAT(1H1,'COORDENADAS EN KM'//)
WRITE(6,15)Z1
15 FORMAT(1H ,14F7.2)
WRITE(6,16)
16 FORMAT(1H2,'ALTURA SOBRE LA ESFERA'//)
WRITE(6,11)ALT
WRITE(6,17)
17 FORMAT(1H),F(DELTA)'/

```

```

WRITE(6,10) DIST
19 FORMAT(1H,214.9)
WRITE(6,19)
19 FORMAT(1H, 'NUMERO DE COLUMNA HASTA EL QUE SE PUEDE CALCULAR EN LA
TABLA PCMA, PARA CADA DELTA')
WRITE(6,10) NC
WRITE(6,200)
200 FORMAT(1H,46X,'ARREV',AX,PA',10X,'R',11X,'C'//)
K=0
DO 22 I=1,IPA
IF(K.EQ.74) WRITE(6,20)
WRITE(6,21) I, Z(I), DCA(I), DCR(I), DCC(I), SIAT(I), HNE(I)
22 K=K+1
21 FORMAT(1H,1)X14,2X44,4XFS,4,2(2XFS,6),2XFS,4,2X16.3)
7000 RETURN
END
SUBROUTINE PAG(IP)
C**** IMPRIME PAG. DE SALIDA
COMMON IP(3,105),Z(160),DP(105),DPP(105),P(103,14),RESID(105),RESI
IP(105),TEMP(5),COR(5),A(160,5),R(4,5),DCA(160),DCR(160),DCC(160),D
DELTA(105),AZ(105),DIST(22),ALT(19),OT(3),MOT(2),OP1(105),OP2(105),
OP3(105),OPP1(105),OPP2(105),OPP3(105),LON(105),NUMERO(105),ELP(1
405),NM(105),Z1(14),NC(74),FFCHA(6),SIAT(160),EPS(4),HN(160),
NEST,G,EPSU,FLAT,EPLONG,PROF,D,PKP(71,14),PBMP(74,14),DC(105),N,
GEPLAT,BR(4,5),MARK(100),MARKP(100),MAP(100),MARP(100),L5,JT
MOT(1)=OT(1)
MOT(2)=OT(2)
DO 953 I=1,N
953 DC(I)=DELTA(I)
DO 188 K=1,N
RICA=DC(K)
LORD(K)=K
DO 197 J=1,N
IF(BIGA-DC(J))1E6,1E7,1E7
196 BIGA=DC(J)
LORD(K)=J
197 CONTINUE
J=LORD(K)
188 DC(I)=0.
WRITE(6,161)(FFCHA(I),I=1,5)
161 FORMAT(1H,5A4)
IF(IP.EQ.1)GO TO 120
WRITE(6,190)(MOT(I),I=1,2),OT(3),GEPLAT,EPLONG,PROF,NEST,G,D
190 FORMAT(1H,2HH=213,F7.2/5H LAT=F9.4/6H LONG=F9.4/6H PROF=F7.2/1H,
174,11H ESTACIONES/23H C-SUMA DE RESIDUOS CUAD RESADOC=F14.8/13H MC
(CGRAD G)=E14.8/)
WRITE(6,152)
152 FORMAT(1H,2) 29X4H DISTX2H47X4H D OT4X4H FSP4X5H DP 3X6H RES PD/)
MRR=0
DO 195 M=1,1
MRR=MRR+1
J1=N-MRR+1
I=LORD(J1)
J2=NUMERO(I)
IF(RESID(I).EQ.0)GO TO 13
IF(RESID(I).NE.0.AND.RESI(I).EQ.0)GO TO 12
MOPP3=AMOD(OP(I),60.)
MOPP2=(OP(I)-MOPP3)/60.
MOPP1=AMOD(OP(I),60.)
MOPP2=(OP(I)-MOPP1)/60.
WRITE(6,253)Z(J2),DELTA(I),AZ(I),MOPP2,MOPP3,RESID(I),MAP(I),MOPP2,C
199 MOPP3,RESI(I),MARP(I)
253 FORMAT(1H,19X,44,2XFS,2,2XFS,1,2(15,FS,1),F7.1,A2))
GO TO 189
12 MOPP3=AMOD(OP(I),60.)
MOPP2=(OP(I)-MOPP3)/60.
WRITE(6,253)Z(J2),DELTA(I),AZ(I),MOPP2,MOPP3,RESID(I),MAP(I)
GO TO 139
13 WRITE(6,253)Z(J2),DELTA(I),AZ(I)
199 CONTINUE
GO TO 200
120 WRITE(6,153)(MOT(I),I=1,2),OT(3),EPS(1),FLAT,PROF(2),EPLONG,EPS(2)
1,PROF,EPS(4),NEST,EPS(5),D
153 FORMAT(1H,2HH=213,F6.2,3X2H+/-F7.2,1X3HSG/5H,LAT=F9.2,5X2H+/-F7.
12,1X4HG2370S/4H LONG=F9.2,4X2H+/-F7.2,1X7H GRADOS/4H PROF=F5.0,7X3
2H+/-F7.2,1X2HX M/1H,15,ESTACIONES/23H FERR MERR CUAO UAIT=F14.
3X/25H G=F14.8 DE RESID RESADOC=F14.8/13H MC(CGRAD G) F14.8/)
WRITE(6,164)
164 FORMAT(1H,2) 39X4H DIST,AX2H47X4H FSP4X5H MRRS PD/)
MRR=0
DO 199 M=1,1
MRR=MRR+1
J1=N-MRR+1
I=LORD(J1)
J2=NUMERO(I)
MOPP1=OP(I)
MOPP2=OPP(I)
MOPP3=OPP1(I)
MOPP2=MOPP2(I)

```

```

IF (RESID(I).EQ.0. AND. OPP1(I).EQ.99.) WRITE (6,254) Z(J2), (IP(LR,1),L
1R=1,3), MOP1, MOP2, OPP3(I), DELTA(I), AZ(I)
IF (RESID(I).EQ.0. AND. OPP1(I).NE.99.) WRITE (6,256) Z(J2), (IP(LR,1),L
1R=1,3), MOP1, MOP2, OPP3(I), MOPP1, MOPP2, OPP3(I), DELTA(I), AZ(I)
IF (RESID(I).NE.0. AND. OPP1(I).EQ.99.) WRITE (6,254) Z(J2), (IP(LR,1),L
1R=1,3), MOP1, MOP2, OPP3(I), DELTA(I), AZ(I), RESID(I), MAR(I)
IF (RESID(I).NE.0. AND. RESID(I).NE.C.) WRITE (6,256) Z(J2), (IP(LR,1),L
1R=1,3), MOP1, MOP2, OPP3(I), MOPP1, MOPP2, OPP3(I), DELTA(I), AZ(I),
RESID(I), MAR(I), MAPP(I)
254 FORMAT(1H,14,3A2,2I3,F5.1,15XF9.2,2XFR.1,2XFR.2,A2)
256 FORMAT(1H,14,3A2,2I3,F5.1,4X2MPP,2I2,F5.1,2XFR.2,2XFR.1,2(2XFR.2,
1A2))
199 CONTINUE
200 RETURN
END

```

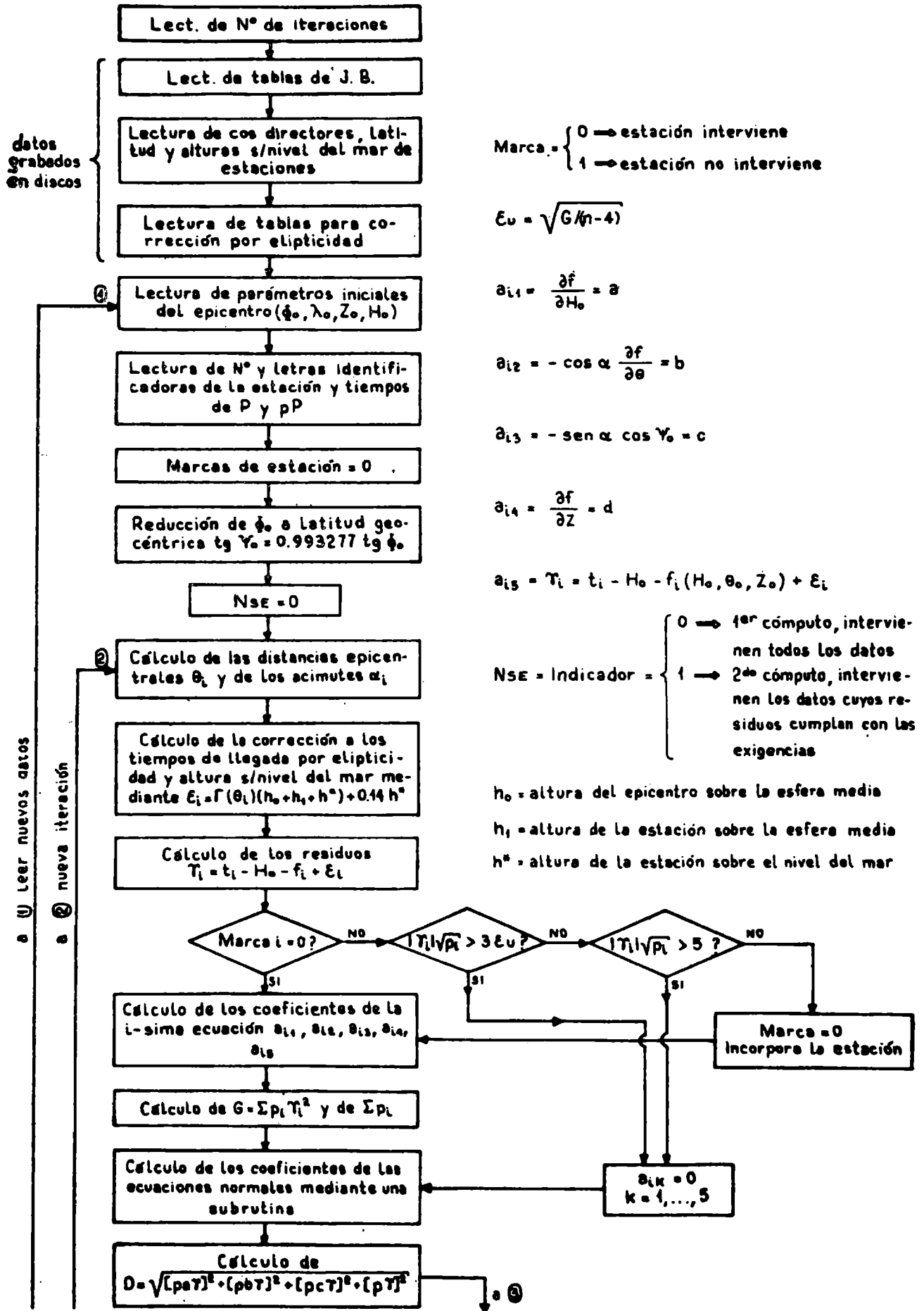
```

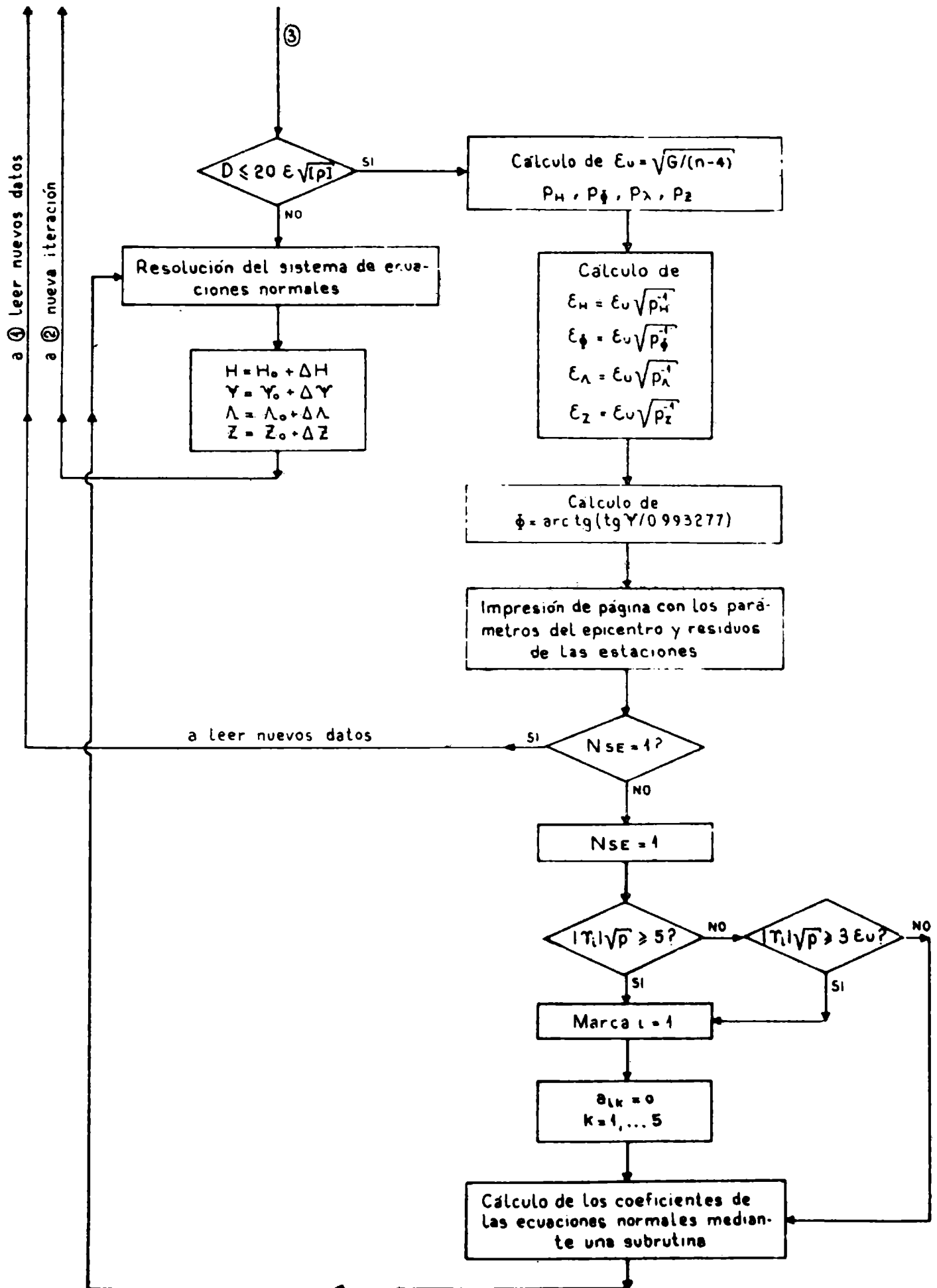
SUBROUTINE MATN
C*** CALCULA LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES NORMALES
COMMON IP(3,105), Z(160), OP(105), OPP(105), P(103,14), RESID(105), RESI
IP(105), TEMP(5), COR(5), A(160,5), R(4,5), DCA(160), DCB(160), OCC(160), D
DELTA(105), AZ(105), DIST(22), ALT(19), OT(3), MOT(2), OP1(105), OP2(105),
OPP3(105), OPP1(105), OPP2(105), OPP3(105), LORO(105), NUMERO(105), ELP(1
405), NM(105), ZI(14), NC(78), FECHA(6), SLAT(160), EDS(4), HN(160),
INEST, G, EPSU, EPLAT, EPLONG, ODF, D, OKO(71,14), POMP(78,14), OC(105), N,
AGEPLAT, RR(4,5), MARK(10), MARKP(10), MAX(100), MAPP(100), IS, JT
DO 215 I=1,5
DO 215 J=1,5
R(I,J)=0.
DO 215 K=1,L5
215 R(I,J)=R(I,J)+A(K,I)*A(K,J)
RETURN
END

```

/*

70 PROGRAMA PARA UBICAR FENOMENOS SISMICOS





A fin de comprobar su eficiencia fue probado en el caso de fenómenos de ubicación presupuesta, y por ende, con tiempos de recorrido que se podían considerar exactos, obteniéndose con él resultados coincidentes con las ubicación de los mismos.

Para hacerlo útil agregamos la transcripción del programa, y asimismo un diagrama de flujo en el que puede verse fácilmente su estructura.

BIBLIOGRAFIA

- Bullen, K., 1937: A Suggested New Seismological Latitude, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Geophysical Supplement, v.4, n.2, p.158-164.*
- Bolt, B., 1960: The Revision of Earthquake epicenters, Focal Depths and Origin Times, using a High Speed Computer, Geophysical Journal, v.3, p.433-40.*
- Gershanik, S., 1941: Resultados Sismométricos del año 1935. Publicaciones del Observatorio Astronómico de La Plata, serie Geofísica, v.6, n.3, p.113-116.*
- Gershanik, S., 1973: Earthquake Location Based on the Gradient Method and on Minima of Beams of Directions. Bulletin of the Seismological Society of America (aparecerá en octubre de 1974).*
- Herrin, E., Taggart, J. y Brown, Ch., 1962: Machine Computation of Earthquake Hypocenters. Journal of the Graduate Research Center, v.30, n. 42.*