

GRAVIMETRIA y METODOS DE CALCULOS

Suboficial Mayor Ingeniero Geodesta Geofísico
JOSE LUIS ROYO (*)

El presente artículo está basado en los trabajos realizados por el Dr Ing HERMANN DREWES del Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas - Departamento de Geodesia Teórica - (Munich), quien ha tenido la gentileza de proporcionar la información y programación sobre el tema, aplicable a la Gravimetría desarrollada por el IGM. Sea éste un sincero reconocimiento al autor de la metodología que se expone.

Fundamentos.

La aceleración de la gravedad, como toda magnitud física a la que se atribuye un valor numérico, tiene sentido sólo si se acompaña del procedimiento seguido para su obtención, el cual constituye la definición operacional.

Pueden existir distintas definiciones operacionales con resultados aproximados, pero se trata de adoptar aquella que sea más rigurosa y proporcione el valor más probable. Además en todos los casos se deben cuantificar las imprecisiones con los límites probables de error.

La determinación de la aceleración de la gravedad mediante gravímetros implica un proceso de cálculo, ya que tales aparatos proporcionan sólo funciones de la gravedad. Dado el carácter azaroso de las perturbaciones que intervienen en cada medición (transporte, vibraciones, temperatura) y su sensibilidad, es necesario para dicho cálculo mediciones repetidas en cada nueva estación con intervalo de algunas horas, como asimismo efectuar mediciones en estaciones de gravedad conocida. De esta manera se constituye una red gravimétrica con observaciones sobrantes y condiciones de empalme.

Métodos de cálculo.

Existen dos criterios para determinar el valor de la gravedad mediante lecturas de gravímetros, que merecen la categoría de definiciones operacionales, uno considera a la gravedad en un punto como función exclusivamente de la lectura en ese punto, o sea:

$$g_i = (l_i) \quad (1)$$

y el otro en que la diferencia de gravedad Δg entre dos puntos es función de la diferencia de lecturas Δl del gravímetro en esos dos puntos:

$$\Delta g_{ij} = (l_{ij}) \quad (2)$$

(*) División Investigación y Desarrollo del IGM

Este último criterio está basado en el concepto aplicado a la compensación de redes de nivelación geométrica y no resulta satisfactorio como se verá más adelante.

En ambos casos se ha designado como lectura del gravímetro al valor obtenido en la estación, transformando (en 10^{-5} m/seg² según el fabricante) y corregido por mareas terrestres.

Según la expresión (1) la gravedad en la estación i está dada por:

$$g_i = N + l_i Y - Dt$$

Donde N , que se denomina **nivel diario**, es el valor de la gravedad en un hipotético lugar en que el gravímetro proporcionaría la lectura nula en el instante $t=0$; l_i es la lectura tal como fue definida; Y es el factor de escala que realmente transforma en miligales el valor l_i , por cuanto la transformación según el fabricante solo proporciona una relación lineal entre lecturas y gravedades; D es el factor que deriva del gravímetro (en 10^{-6} (en 10^{10} m/seg²/hora) y t el intervalo de tiempo, en horas, desde la iniciación de las mediciones, por lo tanto Dt cuantifica el valor de la deriva a partir del momento en que se inician las mediciones del día.

Debido a los errores en las lecturas se plantea la siguiente ecuación de error:

$$v_i = g_i - N - l_i Y + Dt$$

que también se puede escribir así:

$$v_i = g_i - N - (Y - 1) l_i + Dt - l_i \quad (3)$$

asignándose peso p_i a cada una de las lecturas. Si todas son obtenidas en las mismas condiciones les corresponde el mismo peso (por ejemplo igual a uno).

En una línea gravimétrica (el IGM realiza mediciones con gravímetro en líneas de nivelación geométrica según los métodos corrientes de rulos o escalera) se tienen mediciones repetidas, un número m de lecturas en k estaciones, por lo tanto $m \geq k$ y se pueden plantear m ecuaciones (3) donde las incógnitas son los valores de gravedad en las k estaciones, los niveles diarios N , las escalas Y y los factores de deriva D , correspondientes a cada gravímetro.

Matricialmente el sistema de m ecuaciones de error (3), para el cálculo según observaciones indirectas es:

$$V = AX - L \quad P \quad (4)$$

Siendo P la matriz de los pesos.

La matriz A de m filas corresponde a los coeficientes de las incógnitas, tal que llamando a sus elementos a , b , l y t , se tiene:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & \dots & -b_{11} & \dots & -1_{11} & \dots & t_{11} & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \\ \dots & a_{mk} & \dots & -b_{ns} & \dots & 1_{mn} & \dots & t_{mn} \end{vmatrix}$$

Siendo:

- Los coeficientes a de las incógnitas g , valen cero o uno y ocupan k columnas (número de estaciones).
- Los coeficientes b de las incógnitas N , valen cero o uno y ocupan s columnas que corresponden a igual cantidad de días de medición.
- Los coeficientes l , de la incógnita Y son las lecturas y ocupan n columnas que corresponden a igual cantidad de gravímetros.
- Los coeficientes t son los intervalos de tiempo desde la primera lectura del día, también ocupan n columnas.

Las matrices columna de las incógnitas y de las lecturas son:

$$X = \begin{vmatrix} \cdot \\ \cdot \\ g_i \\ \cdot \\ \cdot \\ N \\ \cdot \\ \cdot \\ Y \\ \cdot \\ \cdot \\ D \\ \cdot \\ \cdot \end{vmatrix} \quad L = \begin{vmatrix} l_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ l_m \end{vmatrix}$$

El número de elementos de X será el número total de incógnitas:

$$u = k + s + 2n$$

Por último, se tiene la matriz P , que por tratarse de medidas independientes es una matriz diagonal

$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & & & \\ & \cdot & & \\ & & \cdot & \\ & & & P_{mn} \end{vmatrix}$$

Para obtener el valor absoluto de la gravedad en las k estaciones es necesario realizar mediciones en estaciones de gravedad conocida (puntos de apoyo) a fin de obtener los valores de la escala y del nivel diario, introduciéndose entonces nuevas ecuaciones de error para esas mediciones.

Para cada punto de apoyo se tiene la ecuación de error:

$$v_j = g_j - g'_j$$

Donde g_j son incógnitas según (3) y g'_j los valores correspondientes a los puntos de apoyo. Los pesos p_j se asignan relacionando el error medio de la unidad de peso de las mediciones (m_0) con el error medio del valor de la gravedad conocida (m_j), o sea:

$$P_j = \frac{m_0^2}{m_j^2} \quad (*)$$

Donde m_0 se ha obtenido de un cálculo previo de la línea donde solo intervienen las m ecuaciones (3), sin puntos de apoyo.

Esta última es la condición de una red gravimétrica libre, en la cual no está determinado el factor de escala Y y el nivel diario N . Ello se soluciona introduciendo como valor conocido la escala de uno de los gravímetros utilizados, eliminándose esa incógnita. En cuanto al nivel, se impone la condición de que la suma cuadrática de las incógnitas sea mínima (condición de las redes geodésicas libres) o sea:

$X^T X \rightarrow$ mínimo, en cuyo caso los valores g_i oscilan alrededor de cero.

Según el método de cálculo de observaciones indirectas de (4) se debe cumplir:

$V^T PV \rightarrow$ mínimo (5)

Reemplazando (4) en (5) y haciendo operaciones resulta

$$X = (ATPA)^{-1} AT PL$$

Siendo $(ATPA)^{-1} = Q_{xx}$ que es la matriz de los cofactores de las incógnitas. El error de la unidad de peso está dado por:

$m_0 = \sqrt{V^T P V}$, donde m es el número de observaciones y u el número de incógnitas.

Los errores medios de las incógnitas se calculan por:

$m_x = m_0 \sqrt{q_{xx}}$, donde q_{xx} , son los elementos de la diagonal de la matriz Q_{xx} .

Para la expresión (2) se puede escribir la ecuación de error:

$$V_{ij} = g_j - g_k + Dt - Y (l_i - l_j)$$

o bien:

$$V_{ij} = g_i - g_j + Dt - (Y - 1) (l_i - l_{ij}) - (l_j - l_j)$$

luego, para la estación siguiente resultará:

$$V_{jk} = g_i - g_k + Dt - (Y - 1) (l_j - l_k) - (l_j - l_k)$$

Las lecturas l_i , l_j y l_k son independientes, pero las ecuaciones de error muestran dependencias consecutivas por aparecer en ambas la lectura

Es así que las observaciones, dadas por las diferencias de lecturas, se encuentran correlacionadas y la matriz P de los pesos ahora no es una matriz diagonal como antes, sino una matriz completa cuya inversión es más laboriosa que en el caso de la matriz diagonal anterior.

Programación:

El programa FORTRAN que procesa las mediciones gravimétricas conforme al criterio expuesto fue adaptado al sistema RSX-11MV4.1 que dispone el IGM por el Técnico Geógrafo Matemático DANIEL PIZZINO de la Sección Cálculo Geodésico.

Nota: La denominación de gravedad absoluta utilizada corresponde a la aceleración total de la gravedad en una estación conforme al Glosario de Gravedad del Servicio Geodésico Interamericano (IAGS). Ello se aclara en virtud de la frecuente concepción de ser la gravedad absoluta solo obtenida mediante equipos pendulares o de caída libre, con los cuales evidentemente se la mide, pero también se la calcula a partir de mediciones con gravímetros en las condiciones ya expuestas e incluso sin utilizar valores de gravedad relativa, que es la diferencia de gravedad absoluta entre dos estaciones como la define la prestigiosa entidad geodésica citada.

Tal programa se detalla más adelante, como también los valores de gravedad absoluta obtenidos en las estaciones con mediciones repetidas, ejecutadas durante la Operación BACARA en 1968, apoyadas en seis puntos de la Red Internacional IGSN 71.

Presentación de datos al programa

1. Títulos: dos líneas (6 a 8)
2. En una línea
 - a. Número total de puntos donde se realizaron mediciones (I 3).
 - b. Cantidad de gravímetros de los que se quiere conocer la deriva (I 3).
 - c. Suma de la cantidad de días de medición con cada gravímetro (I 3).
 - d. 000: si la sucesión de los puntos desconocidos es arbitraria o 001: si la sucesión de los puntos desconocidos es dada (I 3).
 - e. 000: si no se quiere imprimir la matriz de los cofactores de las incógnitas; 001: sólo para los puntos desconocidos; 002: para los puntos desconocidos, escala y deriva; 003: la imprime totalmente.
3. En tantas líneas como mediciones en puntos de apoyo
 - a. Denominación de la estación (A7).
 - b. Gravedad absoluta (F10.3).
 - c. Peso, obtenido según la expresión (*) (F6.1)
4. En tantas líneas como mediciones
 - a. Número de gravímetro con que se midió (I 3).
 - b. Fecha (año-mes-día) (I 8).
 - c. Nombre del punto (A7).
 - d. Hora de la medición (F7.2).
 - e. Lectura (F10.3).
 - f. Peso de la medición, si no se coloca lo adopta igual a uno (F6.1).
El orden de las mediciones es por número de gravímetro y en cada uno de ellos por día y hora.
5. Dos líneas en blanco indican la finalización del ingreso de datos. Si los datos 3. no son dados el programa procesa una red libre, de donde se obtiene el error de la unidad de peso m_0 .
6. Se debe dar dimensiones a las matrices ENN (u , u), $X(u)$, AL (u), NAME (u), NMG (n), NTG (n), NR1 (n), ZT (n), EL (n), P (n), IDA (n), NR (n), V (n), NDG (m), ANE (m), XX (u), GNIV (m), NUM (i), TXT (12), SIG (53). Para redes libres EN (u , u) y 0 (u , u) y para redes apoyadas EN (1,1) y 0 (1,1). Las variables significan; u : número total de incógnitas, n : número de observaciones, m : número de días de medición, i : cantidad de gravímetros.
7. Si se calcula una red libre (cálculo previo) debe fijarse la escala de un gravímetro en el

programa, igual a uno. Si la contribución a la suma cuadrática (PVV) de cada gravímetro no es la misma, el valor de peso asignado a las mediciones de los gravímetros debe ser modificado para que ello se cumpla.

Los niveles diarios permiten conocer la deriva diaria y su variación irregular será indicativa de mediciones groseras.

COMPENSACION CON EMPALME A 6 PUNTOS DE APOYO

METODO DREWES

230 ECUACIONES DE ERROR - 33 VALORES DE PUNTOS - 2 VALORES DE CALIBRACION - 2 VALORES DE DERIVA - 80 DIAS DE MEDICION GRAVIMETRO "LACOSTE & ROMBERG" Nros: 145 y 146

INCOGNITAS Y ERRORES MEDIOS CUADRATICOS MO = 0.03950

Nº	INCOGNITA	VALOR	ERROR MEDIO
1	PG038 Ezeiza	979718.035	0.016
2	PG061 Trelew	980438.761	0.019
3	PG065 C. Rivadavia	980648.088	0.020
4	PG109 S. Julián (1)	980997.558	0.029
5	PG073 Río Gallegos	981191.471	0.029
6	PG017 Sgo del Estero	979084.343	0.027
7	PG048 Mar del Plata	979999.794	0.029
8	PG081 Cte. Espora	980056.241	0.022
9	PG057 Viedma	980234.233	0.026
10	PG052 Neuquén	979963.993	0.028
11	PG060 Bariloche	980015.220	0.033
12	PG070 S. Julián (2)	980997.628	0.031
13	PG071 Lago Argentino	981012.327	0.032
14	PG075 Río Grande	981417.124	0.041
15	PG037 Rufino	979640.153	0.032
16	PG045 Santa Rosa	979807.000	0.025
17	PG036 San Luis	979385.999	0.034
18	PG040 San Rafael	979452.022	0.036
19	PG077 El Plumerillo	979217.029	0.035
20	PG079 Pajas Blancas	979312.909	0.024
21	PG026 Monte Caseros	979324.517	0.034
22	PG016 Posadas	979097.444	0.036
23	PG008 Pto. Iguazú	978915.765	0.042
24	PG080 Resistencia	979128.665	0.031
25	PG023 La Rioja	979047.005	0.035
26	PG029 San Juan	979184.776	0.036
27	PG022 Goya	979246.330	0.034
28	PG014 R. Saenz Peña	979058.790	0.036
29	PG019 Catamarca	979019.080	0.041
30	PG011 Formosa	979028.839	0.043
31	PG005 Salta	978483.971	0.050
32	PG001 Tartagal	978579.286	0.055
33	PG111 Nodal 129-Cba.	979337.435	0.045

ERROR PROMEDIO DE LOS PUNTOS: 0.03399

C ** CALCULO Y COMPENSACION DE PUNTOS GRAVIMETRICOS ** C METODO HERMAN DREWES C ADAPTADO AL SISTEMA PDP-11/RSX-M11-V4. C

```

IMPLICIT REAL*8(A-H, O-Z)
REAL*8 NAME, NR1
INTEGER*4 NMG, NTG
VIRTUAL ENN(110, 110), EN(110, 110), O(110, 110),
#X(110), NAME(110)
VIRTUAL AL(110), GNIV(50), NDG(50), NUM(50),
#NMG(415), IDA(415)
VIRTUAL EL(415)
VIRTUAL NR1(415), NTG(415), ZT(415), P(415), V(415)
VIRTUAL NR(415), TXT(12), SIG(53)
VIRTUAL ANE(50), XX(110)
DATA BLAN/1H /, STAR/1H**/, PUNT/1H /, ACHS/1HI/,
#XXX/1HX/
OPEN(UNIT=1, NAME='GRAVI. DAT', TYPE='OLD', DISP=
# 'SAVE')
OPEN(UNIT=2, NAME='GRAVI. SAL', TYPE='NEW', DISP=
# 'SAVE')
DO 888 I=1, 110
DO 888 J=1, 110
ENN(I, J)=0.0
EN(I, J)=0.0
O(I, J)=0.0
CONTINUE
888 DO 889 J=1, 110
X(J)=0.0
XX(J)=0.0
NAME(J)='
V(J)=0.0
CONTINUE
889 DO 900 K=1, 50
GNIV(K)=0.0
NDG(K)=0
NMG(K)=0
NUM(K)=0
ANE(K)=0
CONTINUE
900 I=0
J=0
K=0
L=0
1 READ(1, 5)(TXT(I), I=1, 6)
5 READ(1, 5)(TXT(6+I), I=1, 6)
FORMAT(6A8)
10 READ(1, 10)NP, N, NG, ND, NT, IR, IQ
FORMAT(7I3)
IF(N.EQ.0)GO TO 150
IF(IR.NE.1)GO TO 13
FN=FLOAT(NP)*0.1
NN=DINT(FN)+1
DO 12 I=1, NN
11 READ(1, 11)(NAME((I-1)*10+J), J=1, 10)
12 FORMAT(10(A7, 1X))
CONTINUE
13 NU=NP+NG+ND+NT
DO 15 I=1, NU
AL(I)=0.0
X(I)=0.0
DO 14 J=1, NU
ENN(I, J)=0.0
CONTINUE
14 I=NX=0
NRG=0
NDA=0
MAX=0
DO 30 J=1, N
V(J)=0.0
15 READ(1, 16)NMG(J), NTG(J), NR1(J), ZT(J), EL(J),
#P(J)
16 FORMAT(13, I8, A7, F7.2, F10.3, F6.1)
C
C PARA RED LIBRE FIJAR ESCALA
C
C IF(NMG(J).EG.46)EL(J)=EL(J)*1.
C
C ASIGNAR PESO AL INSTRUMENTO
C
IF(NMG(J).EG.50)P(J)=0.5
IF(NMG(J).EG.401)P(J)=2.3
IF(NMG(J).EG.405)P(J)=2.0
IF(P(J).EG.0.0)P(J)=1.0
IF(IR.NE.1)GO TO 18
NR(J)=0
DO 17 K=1, NP
IF(NR1(J).EG.NAME(K))NR(J)=K
WRITE(5, 3918)K, (NAME(K))
3918 FORMAT(' NAME(K), K=', I2', = ', A7)
CONTINUE
17 IF(NR(J).EG.0)WRITE(2, 34)NR1(J)
CONTINUE
18 IF(NMG(J).EG.0)GO TO 22
IZT=IDINT(ZT(J))
FZT=FLOAT(IZT)
ZT(J)=FZT+((ZT(J)-FZT)/0.6)
IF(J.GT.1)GO TO 19
NRG=1
NDA=1
MAX=1
IF(IR.NE.1)NR(J)=1
ANE(NDA)=ZT(J)
GNIV(NRG)=EL(J)
NUM(NRG)=NMG(J)
NDG(NDA)=NRG
GO TO 24
19 IF(NMG(J).EG.NMG(J-1))GO TO 20
NRG=NRG+1
GNIV(NRG)=EL(J)
NUM(NRG)=NMG(J)
GO TO 21
20 IF(NTG(J).EG.NTG(J-1))GO TO 22
NDA=NDA+1
IF(NDA.GT.NT)WRITE(2, 33)
NDG(NDA)=NRG
ANE(NDA)=ZT(J)
IF(IR.NE.1)NR(J)=MAX+1
DO 23 I=1, J
IF(NR1(I).EG.NR1(I))NR(J)=NR(I)
CONTINUE
23 IF(NR(J).GT.MAX)MAX=MAX+1
IF(NMG(J).EG.0)GO TO 27
DZT=ZT(J)-ANE(NDA)
IDA(J)=NDA
EL(J)=EL(J)-GNIV(NRG)
ELP=EL(J)*P(J)
NN=NU-NT+NDA
ENN(NR(J), NN)=ENN(NR(J), NN)+P(J)
ENN(NN, NN)=ENN(NN, NN)+P(J)
AL(NN)=AL(NN)+ELP
IF(NRG.GT.NG)GO TO 25
ENN((NP+NRG), (NP+NRG))=ENN((NP+NRG), (NP+NRG))
#+EL(J)*ELP

```

```

ENN((NP+NRQ), (NP+NRQ))=ENN((NP+NRQ), (NP+NRQ))
*+EL(J)*ELP
ENN(NR(J), (NP+NRQ))=ENN(NR(J), (NP+NRQ))+ELP
ENN((NP+NRQ), NN)=ENN((NP+NRQ), NN)+ELP
AL(NP+NRQ)=AL(NP+NRQ)+EL(J)*ELP
IF(NRQ.GT.ND)GO TO 28
IJ=NP+NRQ+NRQ
ENN(IJ, IJ)=ENN(IJ, IJ)+DZT*DZT*P(J)
ENN(NR(J), IJ)=ENN(NR(J), IJ)+DZT*P(J)
ENN(IJ, NN)=ENN(IJ, NN)+DZT*P(J)
IF(NRQ.GT.ND)GO TO 26
ENN((NP+NRQ), IJ)=ENN((NP+NRQ), IJ)+DZT*ELP
AL(IJ)=AL(IJ)+DZT*ELP
GO TO 28
IVNX=IVNX+1
NAME(NR(J))=NR1(J)
IF(NR(J).GT.NP)WRITE(2,32)
ENN(NR(J), NR(J))=ENN(NR(J), NR(J))+P(J)
AL(NR(J))=AL(NR(J))+EL(J)*P(J)
CONTINUE
DO 37 J=1, NU
DO 37 K=J, NU
ENN(K, J)=ENN(J, K)
CONTINUE
IF(IVNX.EQ.0)GO TO 375
NN=NU
IK=1
GO TO 391
NN=NU-1
IK=0
DO 377 J=1, NU
DO 377 K=1, NU
EN(J, K)=ENN(J, K)
ENN(J, K)=0.0
DO 39 I=1, NU
DO 39 J=1, NU
DO 38 K=1, NU
ENN(I, J)=ENN(I, J)+EN(I, K)*EN(K, J)
KIJ=KIJ+1
IF(I.EG.1.OR.J.EG.1)GO TO 39
L=I-1
M=J-1
ENN(L, M)=ENN(I, J)
CONTINUE
DO 42 J=1, NN
DO 40 K=J, NN
DO 40 L=1, NN
IF(L.GE.J)GO TO 40
ENN(J, K)=ENN(J, K)+ENN(J, L)*ENN(L, K)
KKJ=KKJ+1
CONTINUE
DO 42 L=J, NN
IF(L.EG.J)GO TO 42
IF(DABS(ENN(J, J)).GT.(1.E-10))GO TO 41
WRITE(2,33)
IF(J.LT.(NP+IK))WRITE(2,31)
IF(J.GE.(NP+IK).AND.J.LE.(NN-NT))WRITE(2,36)
IF(J.GT.(NN-NT))WRITE(2,33)
ENN(L, J)=-ENN(J, L)/ENN(J, J)
CONTINUE
DO 44 J=1, NN
DO 44 K=J, NN
IF(J.EG.K)GO TO 43
ENN(J, K)=0.0
GO TO 44
ENN(J, K)=1.0/ENN(J, K)
CONTINUE
DO 50 J=1, NN
IJ=NN-J+1
DO 50 K=1, IJ
IK=IJ-K+1
IF(IK.EG.IJ)GO TO 46
DO 45 L=1, NN
IF(L.GT.(NN-IK))GO TO 50
IL=NN-L+1
ENN(IK, IJ)=ENN(IK, IJ)+ENN(IL, IK)*ENN(IL, IJ)
GO TO 50
DO 47 L=1, NN
IF(L.GT.(NN-IK))GO TO 48
IL=NN-L+1
ENN(IK, IJ)=ENN(IK, IJ)+ENN(IL, IK)*ENN(IJ, IL)
DO 49 L=2, J
IL=NN-L+2
ENN(IL, IJ)=ENN(IJ, IL)
CONTINUE
IF(IVNX.GT.0)GO TO 57
DO 52 J=1, NU
DO 52 K=1, NU
IF(J.NE.1.AND.K.NE.1)GO TO 51
O(J, K)=0.0
GO TO 52
O(J, K)=ENN(J-1, K-1)
CONTINUE
DO 54 I=1, NU
DO 54 J=1, NU
ENN(I, J)=0.0
DO 56 I=1, NU
DO 56 J=1, NU
DO 56 K=1, NU
ENN(I, J)=ENN(I, J)+EN(I, K)*O(K, J)
DO 58 J=1, NU
DO 58 K=1, NU
X(J)=X(J)+ENN(J, K)*AL(K)
CONTINUE
VV=0.0
DO 60 J=1, N
V(J)=X(NR(J))-EL(J)
IF(NMG(J).EQ.0)GO TO 59
K=NU-NT+IDA(J)
V(J)=V(J)+X(K)
IF(NDG(IDA(J)).GT.NG)GO TO 585
V(J)=V(J)+X(NP+NDG(IDA(J)))*EL(J)
IF(NDG(IDA(J)).GT.ND)GO TO 59
V(J)=V(J)+X(NP+NG+NDG(IDA(J)))*(ZT(J)
*-ANE(IDA(J)))
IF(J.EG.1)GO TO 60
IF(NMG(J).NE.NMG(J-1))AL(IDA(J))=VV
VV=VV+V(J)*V(J)*P(J)
EMO=VV/FLOAT(N-NU)
EMO=DSQRT(EMO)
IF(IVNX.EG.0)WRITE(2,62)
IF(IVNX.GT.0)WRITE(2,63)IVNX
WRITE(2,65)(TXT(I), I=1, 12), N, NP, NG, ND, NT, EMO
IF(IVNX.GT.0)GO TO 74
DO 67 I=1, NU
DO 67 J=1, NU
O(I, J)=0.0
DO 70 I=1, NU
DO 70 J=1, NU
DO 70 K=1, NU
O(I, J)=O(I, J)+ENN(I, K)*ENN(K, J)
DO 72 I=1, NU
DO 72 J=1, NU
ENN(I, J)=0.0
DO 73 I=1, NU
DO 73 J=1, NU
DO 73 K=1, NU
ENN(I, J)=ENN(I, J)+O(I, K)*EN(K, J)
ELP=0.0

```

```

DO 76 J=1, NU
ELP=ELP+ENN(J, J)
IF(J.GT.NP.AND.(J-NP).LE.NG)X(J)=1.0-X(J)
NDA=J-NP-NG-ND
IF(NDA.LE.0)GO TO 745
XM=1.0
NRQ=NDG(NDA)
IF(NRQ.GT.NG)GO TO 744
XM=X(NP+NRQ)
X(J)=X(J)+GNIV(NRQ)*XM
XM=0.0
IF(ENN(J, J).EQ.0.0)GO TO 75
AEN=DABS(ENN(J, J))
XM=ENN(J, J)/AEN*DSQRT(AEN)*EMO
IF(J.LE.NP)WRITE(2,78)J, NAME(J), X(J), XM
IF(J.GT.NP.AND.(J-NP).LE.NG)WRITE(2,79)
*J, NUM(J-NP), X(J), XM
NPG=NP+NG
IF(J.GT.NPG.AND.J.LE.(NPG+ND))WRITE(2,80)
*J, NUM(J-NPG), X(J), XM
IF(NDA.GT.0)WRITE(2,81)J, NDA, NUM(NRQ), X(J), XM
IF(J.NE.NP)GO TO 76
ELP=ELP/FLOAT(NP)
ELP=DSQRT(ELP)*EMO
WRITE(2,77)ELP
CONTINUE
IF(IG.EG.0)GO TO 666
WRITE(2,83)
NN=N
IF(IG.EG.1)NN=NP
IF(IG.EG.2)NN=NU-NT
FORMAT(' COLUMNAS', 10I10)
FORMAT(' FILAS', 14, 1X, 10F10.1)
FORMAT(' ', 19, 1X, 10F10.1)
FORMAT(//)
NZ=1
NY=10
IF(NN.LT.10)NY=NN
WRITE(2,4444)(I, I=NZ, NY)
DO 1118 I=1, NN
IF(NN.EG.1)WRITE(2,5555)I, (ENN(I, J), J=NZ, NY)
IF(NN.NE.1)WRITE(2,6666)I, (ENN(I, J), J=NZ, NY)
CONTINUE
IF(NN.EG.NY)GO TO 666
NZ=NY+1
NY=NY+10
WRITE(2,7777)
IF(NN.GT.NY)GO TO 1010
GO TO 1010
WRITE(2,90)
DO 100 J=1, N
NN=0
DO 95 K=1, NRQ
IF(NMG(J).EQ.NUM(K))NN=K
CONTINUE
IF(NN.GT.0)EL(J)=EL(J)+GNIV(NN)
DO 97 K=1, 53
SIG(K)=BLAN
SIG(27)=ACHS
IF(V(J).GE.0.0)K=IDINT(V(J)*500.+27.75)
IF(V(J).LT.0.0)K=IDINT(V(J)*500.+27.25)
IF(K.GE.54)K=53
IF(K.LT.1)K=1
SIG(K)=STAR
SIG(1)=PUNT
SIG(53)=PUNT
IF(K.EG.1.OR.K.EG.53)SIG(K)=XXX
IF(J.EG.1)GO TO 100
IF(NMG(J).NE.NMG(J-1))WRITE(2,98)AL(IDA(J))
IF(NTG(J).NE.NTG(J-1).OR.NMG(J).NE.NMG(J-1))
*WRITE(2,99)
WRITE(2,110)NMG(J), NR1(J), NTG(J), ZT(J), EL(J),
*P(J), V(J),
1(SIG(L), L=1, 53)
WRITE(2,115)VV
GO TO 1
FORMAT(' SE MIDIERON MENOS PUNTOS. .... ')
FORMAT(' SE MIDIERON MAS PUNTOS. .... ')
FORMAT(' NUMERO INCORRECTO DE DIAS ')
FORMAT(' EL PUNTO ', A7, ' NO ESTA ORDENADO. .... ')
FORMAT(' OCURRIO UN ERROR INDETERMINADO. .... ')
FORMAT(' NUMERO DADO PARA DRIF, .... ')
FORMAT(' ,20X, COMPENSACION DE UNA RED
* GRAVIMETRICA LIBRE '
FORMAT(' ,20X, COMPENSACION CON EMPALME
*# ' 13, ' PUNTOS '
FORMAT(' ,25X,6AB, ' ,25X,6AB, '///
1 ' ,10X,13, ' ECUACIONES DE ERROR ' ,13,
* ' VALORES DE PUNTOS ' ,/
1 ' ,10X,13, ' VALORES DE CALIBRACION ' ,13,
* ' VALORES DE DERIVA ' ,/
1 ' ,10X,13, ' DIAS DE MEDICION ' ,/
1 ' ,15X, ' GRAVIMETRO "LACOSTE & ROMBERG" ,///
1 ' ' ' INCOGNITAS Y ERRORES MEDIOS
* CUADRATICOS ' ,/ MO= ' ,FB,5, '///
1 ' ' ' NRO. INCOGNITA ' ,4X, ' VALOR
* ERROR MEDIO ' //
77 FORMAT(//) ERROR PROMEDIO DE LOS PUNTOS :
* ,FB,5//
78 FORMAT(' ,17,5X,A7,F15.3,F12.3)
79 FORMAT(' ,17,7X,14Y,14,F15.6,F12.6)
80 FORMAT(' ,17,3X, ' DRIFT ' ,14,F15.6,F12.6)
81 FORMAT(' ,17,3X, ' NIV ' ,12,14,F14.3,F12.3)
82 FORMAT(' 1 ' , ' ' MATRIZ DE COFACTORES ' ,//)
83 FORMAT(' 1 ' , ' ' ,10X, ' ECUACIONES DE ERROR Y
*RESIDUOS ' ,/
1 ' ,10X, ' VY=G(P)+NIV+DELTA T*DRIF-L*Y, //
2 ' , INSTR. PUNTO FECHA HORA LECTURA
*PESO ' VY,
39X, GRAFICA DE LOS RESIDUOS (1 SIGNO DE
*IMPRESION=0.002) ,//)
98 FORMAT(//) SUMA INTERMEDIA DE VVP = ' ,F15.6)
99 FORMAT(//)
110 FORMAT(' ,15,2X,A7,17,F6.2,F10.3,F6.1,F7.3,
*7X,53A1)
115 FORMAT(//) SUMA ENTERA DE VVP = ' ,F15.6)
150 WRITE(2,5)(TXT(I), I=1, 6)
WRITE(2,5)(TXT(I+6), I=1, 6)
WRITE(3,3000)
FORMAT(' FIN DEL CALCULO')
END

```

C
C NOTA: Por razones de imprenta, cuando se encuentre
C un "#" como caracter de continuacion; debe
C interpretarse que la instruccion o format
C es continuacion de la linea superior.-