

Fig. 5-15 Power Flow after Clearing of 1 CCT (corresponding to Fig. 5-10)



ECUADOR 1998-06

P+JQ [% at 100 MVA Base] V $\theta$  [% $\angle$ deg]  
 (After Faults) TOTAL PLOSS 79.42 QLOSS 404.02

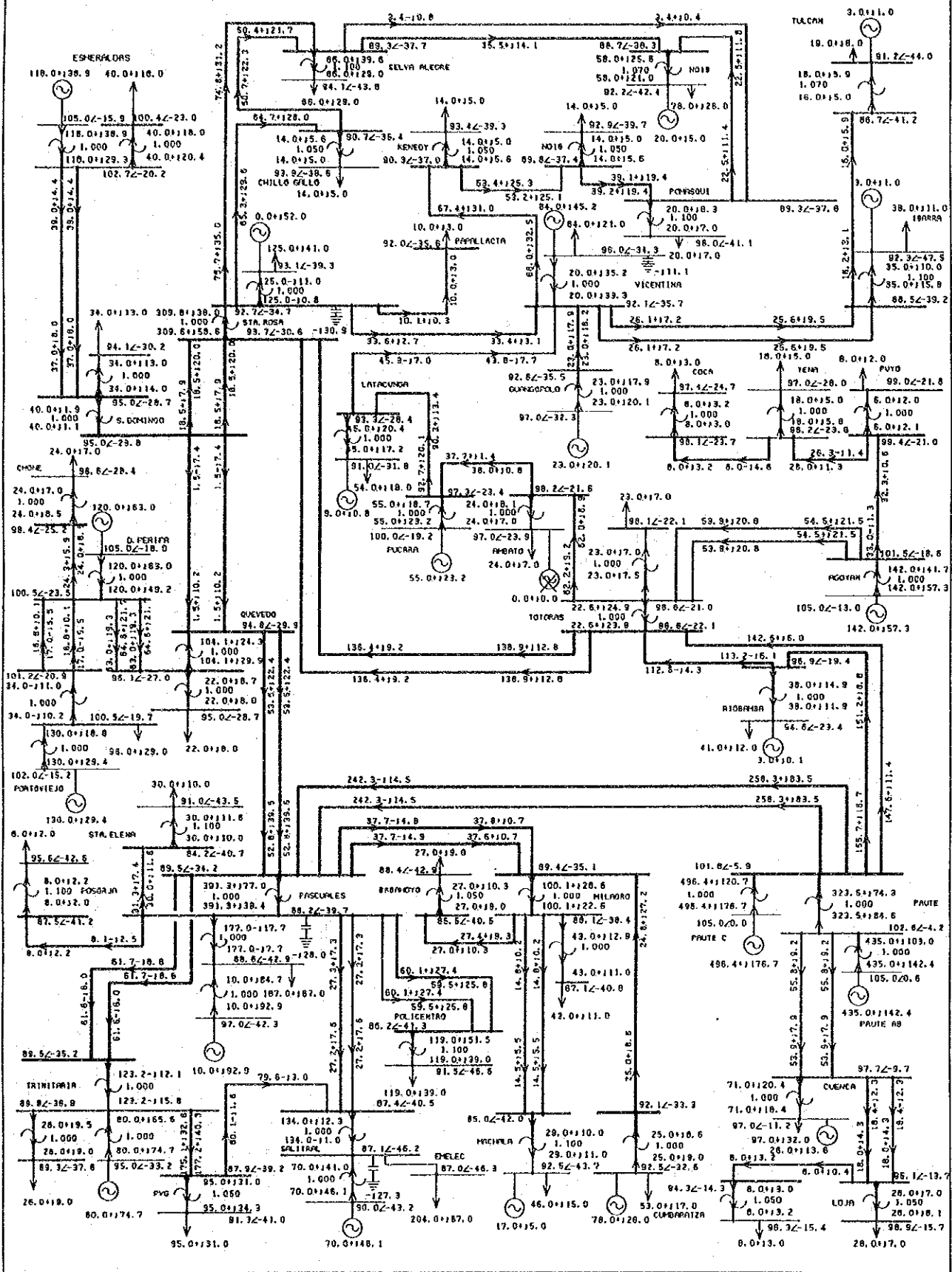
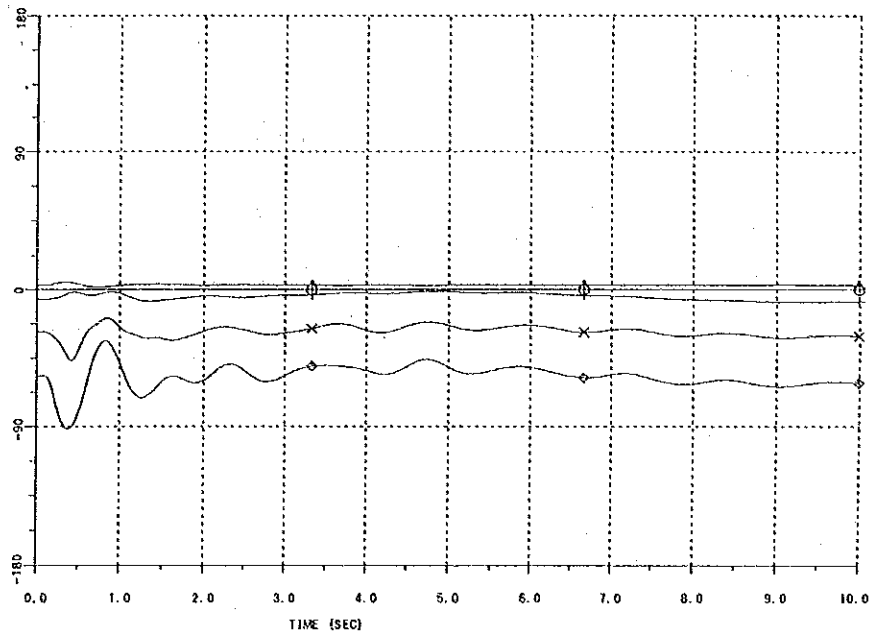


Fig. 5-16 Power Flow after Clearing of 2 CCT (corresponding to Fig. 5-14)





|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min    | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-G  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-09 | ANG  | PAUTE-AB | 5.02   | 1.73   | 2.93    | 3.09   |
| 3 | NDG-11 | ANG  | CUENCA   | -1.05  | -8.21  | -6.18   | -7.97  |
| 4 | ND-60  | ANG  | LATCUNGA | -18.56 | -46.74 | -27.66  | -30.61 |
| 5 | NDG-16 | ANG  | IBARRA   | -33.74 | -91.70 | -56.56  | -61.46 |



|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min    | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-05 | ANG  | SALITRAL | 5.21   | -45.02 | -7.70   | -20.97 |
| 3 | ND-46  | ANG  | RIOSABA  | -25.76 | -50.89 | -32.38  | -34.91 |
| 4 | NDG-01 | ANG  | ESMERALD | 33.05  | -41.07 | 3.62    | 2.65   |
| 5 | NDG-15 | ANG  | GUANGOPL | -20.66 | -45.47 | -30.19  | -33.86 |

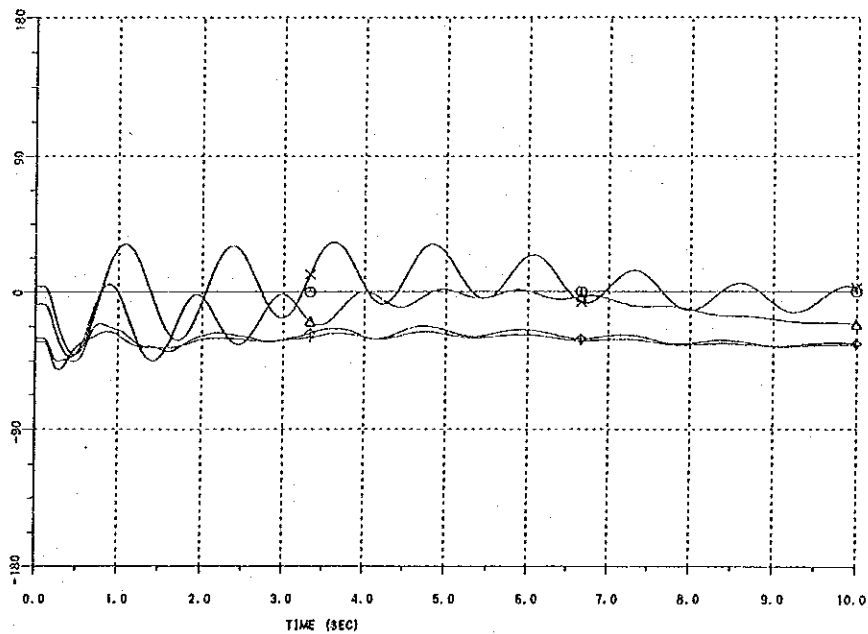
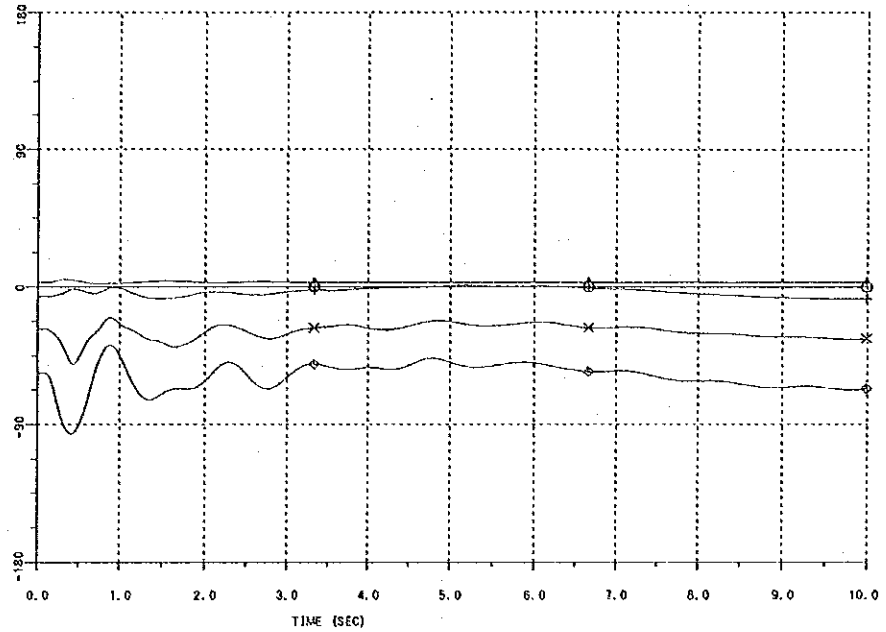


Fig. 5-17 Power System Stability after 1 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-11)



| Code  | Term   | Comment      | Max    | Min    | Initial | Final  |
|-------|--------|--------------|--------|--------|---------|--------|
| 1 -○- | NDG-08 | ANG PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 -△- | NDG-09 | ANG PAUTE-AB | 4.89   | 2.14   | 2.93    | 3.28   |
| 3 -+- | NDG-11 | ANG CUENCA   | 1.01   | -7.85  | -6.18   | -7.77  |
| 4 -x- | ND-60  | ANG LATCUNGA | -20.35 | -50.55 | -27.66  | -33.81 |
| 5 -◇- | NDG-16 | ANG IBARRA   | -38.02 | -96.11 | -56.55  | -66.78 |



| Code  | Term   | Comment      | Max    | Min    | Initial | Final  |
|-------|--------|--------------|--------|--------|---------|--------|
| 1 -○- | NDG-08 | ANG PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 -△- | NDG-05 | ANG SALITRAL | -0.23  | -61.49 | -7.70   | -33.12 |
| 3 -+- | ND-46  | ANG RIOBAMBA | -25.60 | -51.56 | -32.38  | -37.09 |
| 4 -x- | NDG-01 | ANG ESMERALD | 37.41  | -50.56 | 3.62    | -3.03  |
| 5 -◇- | NDG-15 | ANG GUANOPL  | -23.45 | -52.29 | -30.19  | -37.98 |

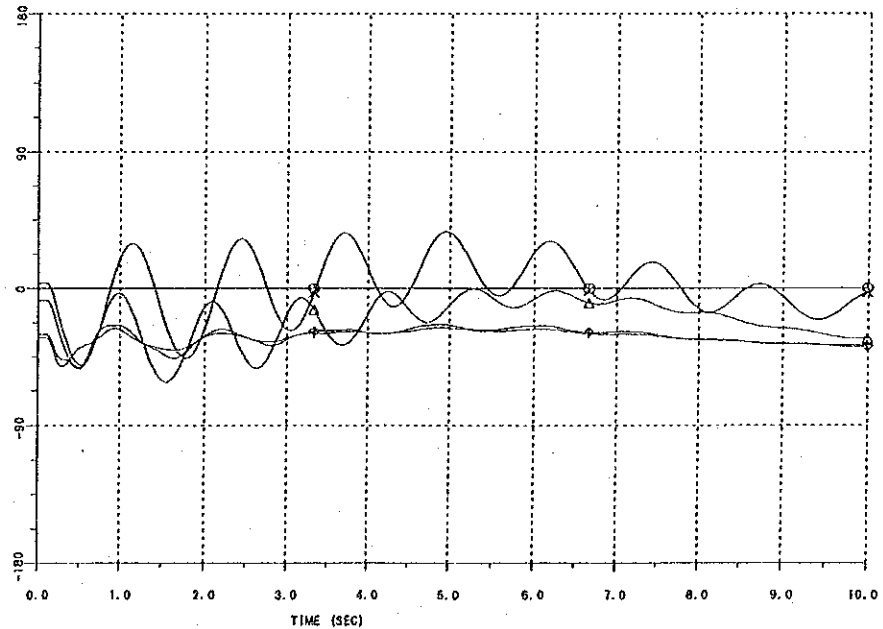


Fig. 5-18 Power System Stability after 2 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-11)





ECUADOR 1998-12 P+JQ [% at 100 MVA Base] V $\angle$  $\theta$  [% $\angle$ deg]  
 (After Fault) (cont) TOTAL PLOSS 53.81 QLOSS 95.70

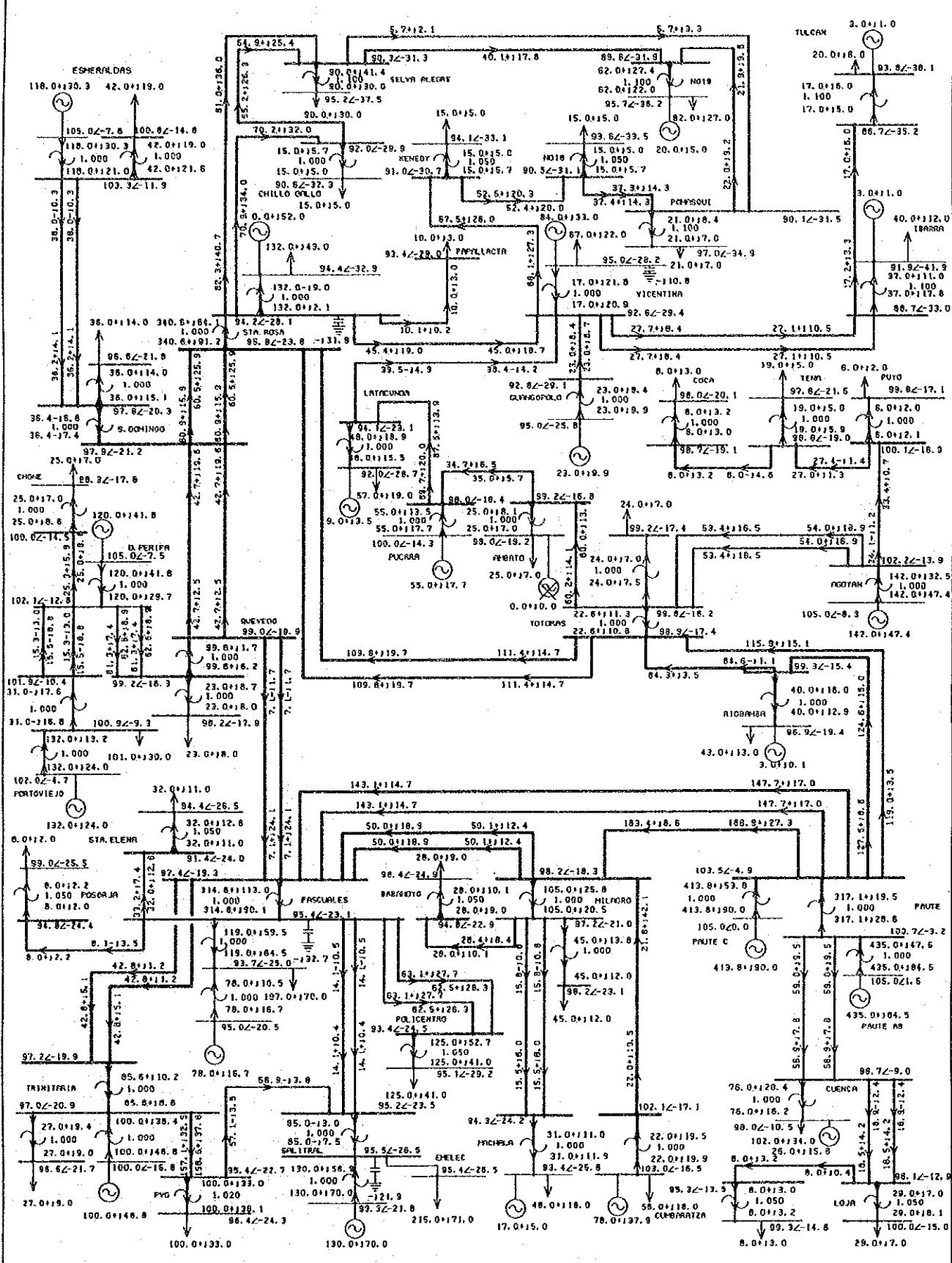


Fig. 5-19 Power Flow after Clearing of 1 CCT in (corresponding to Fig. 5-11)



ECUADOR 1998-12 P+JQ [% at 100 MVA Base] V∠θ [%∠deg]  
 (After Fault Clear) TOTAL PLOSS 66.95 QLOSS 250.70

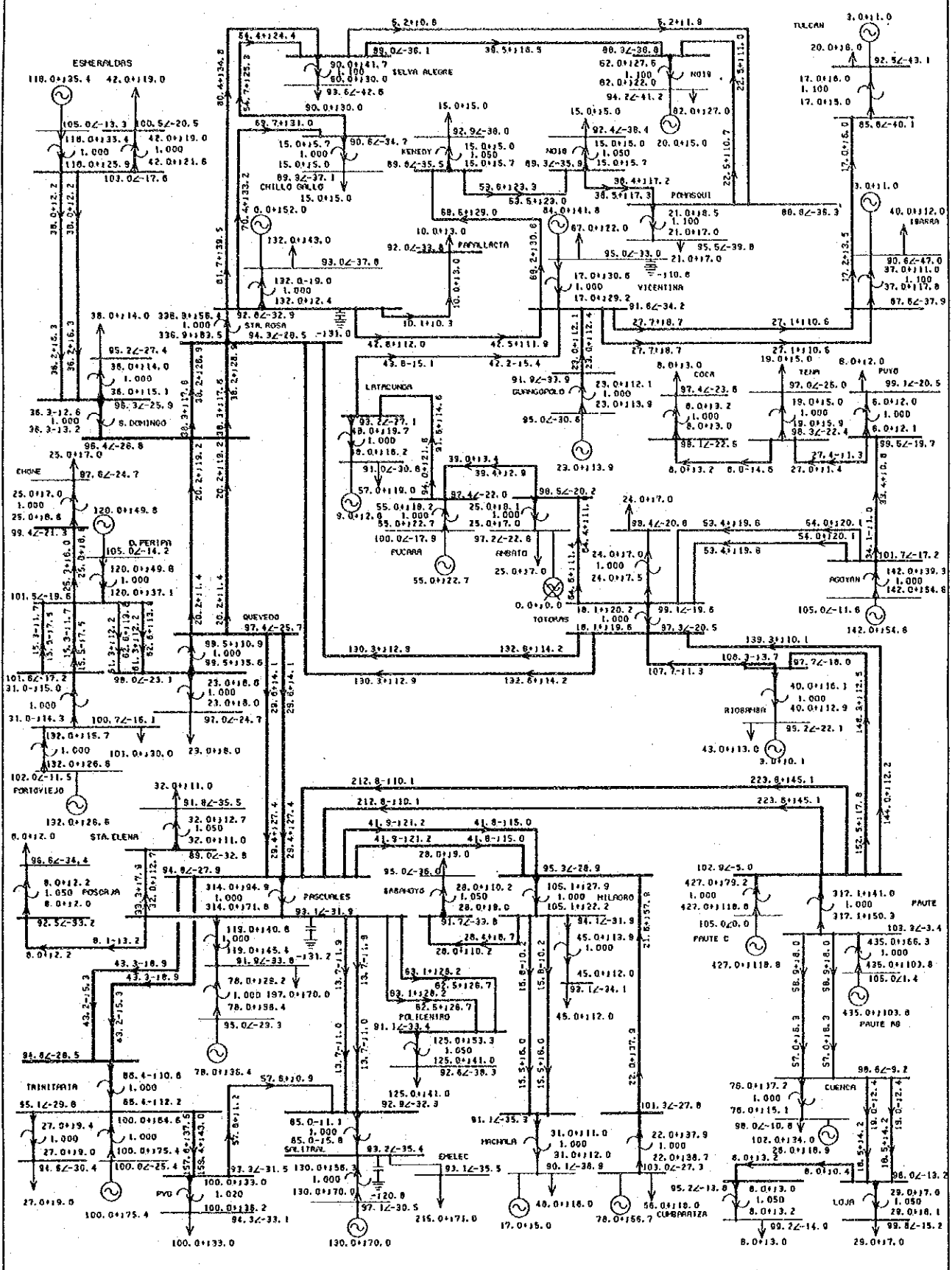


Fig. 5-20 Power Flow after Clearing of 2 CCT Line (corresponding to Fig. 5-11)



# ECUADOR 2003-06

P+JQ [% at 100 MVA Base] V/θ [%/deg]

TOTAL PLOSS 72.19 QLOSS 304.63

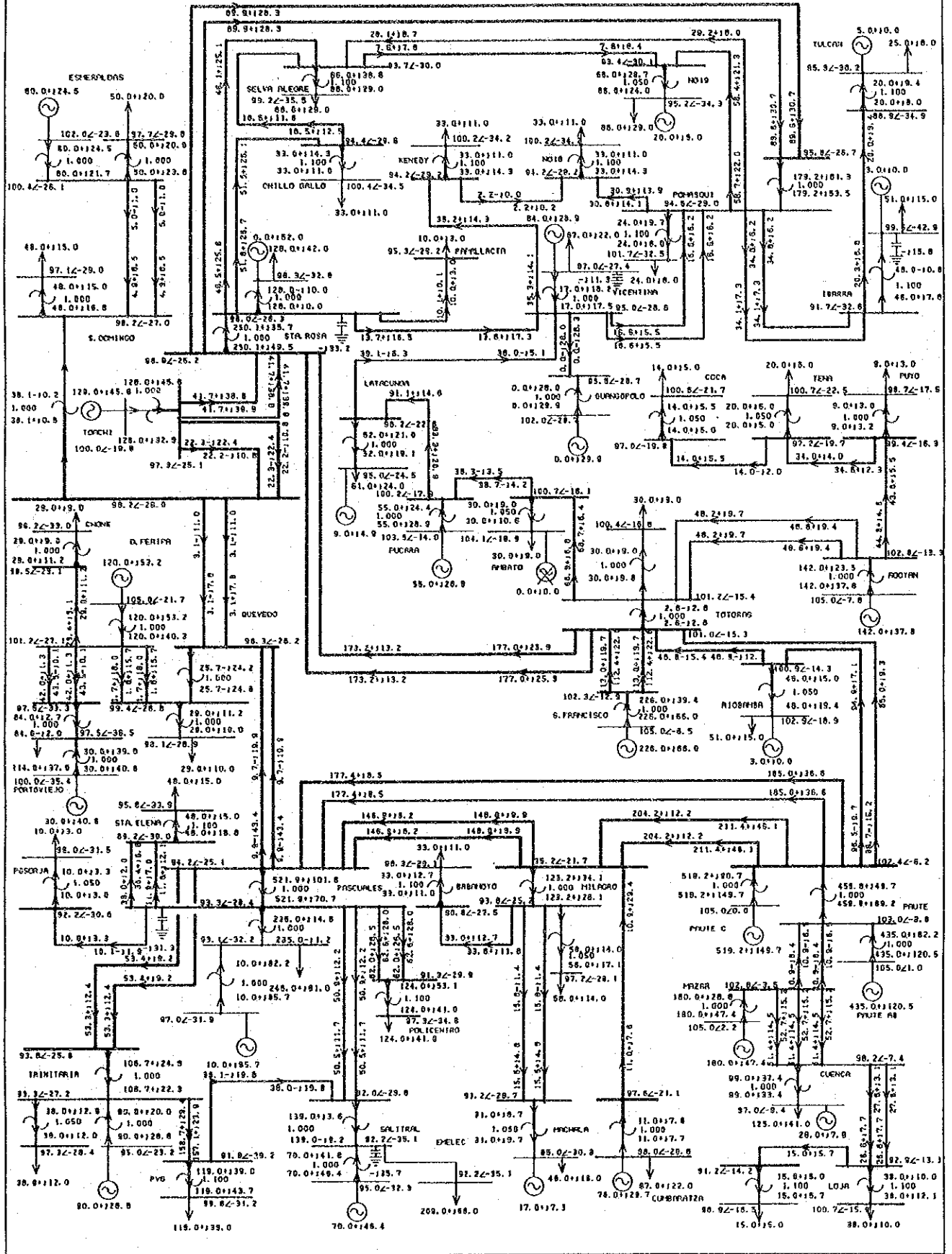


Fig. 5-21 Power Flow in June, 2003



ECUADOR 2003-12 P+JQ [% at 100 MVA Base] V∠θ [%∠deg]  
 TOTAL PLOSS 60.01 QLOSS 168.11

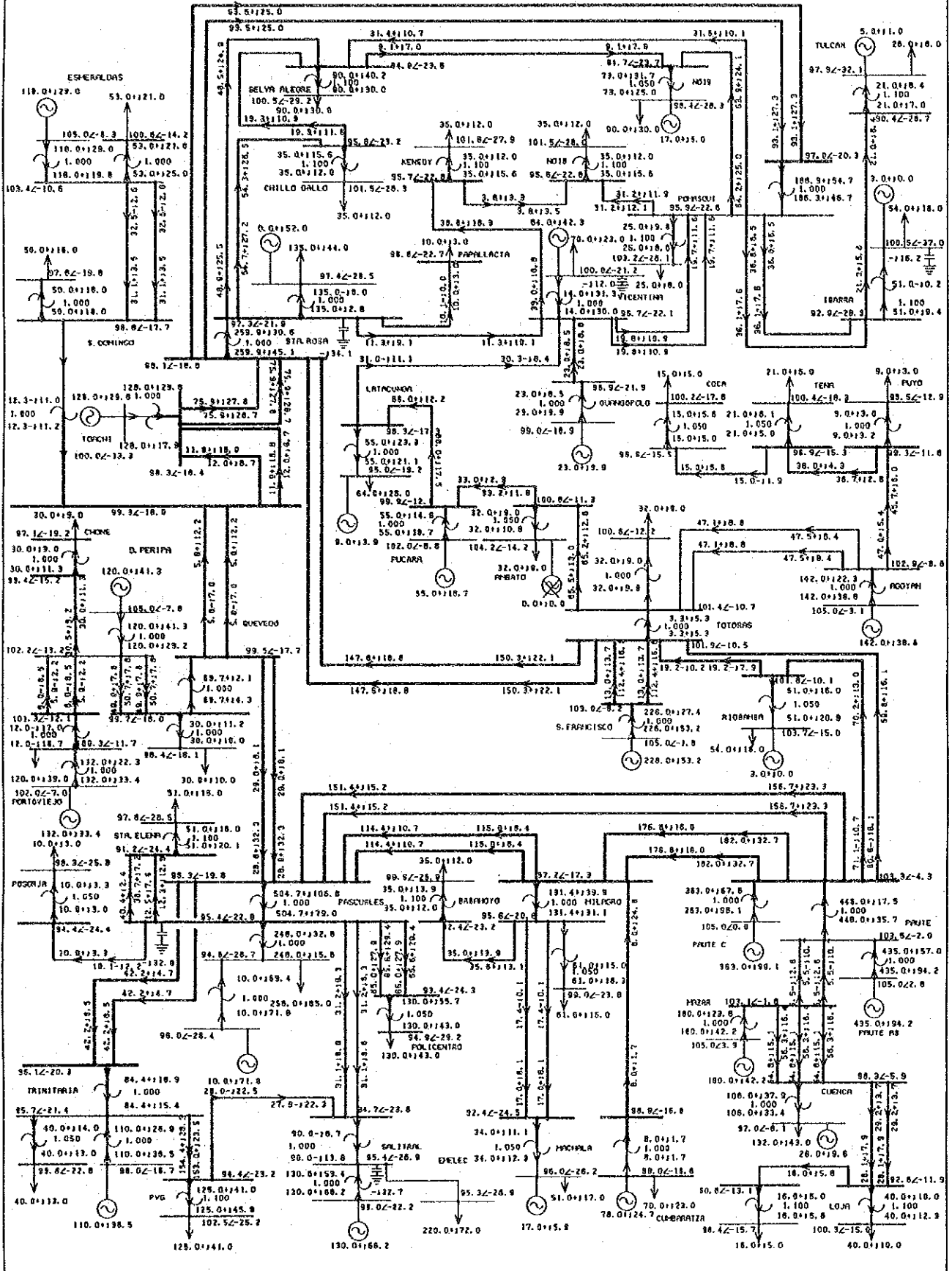


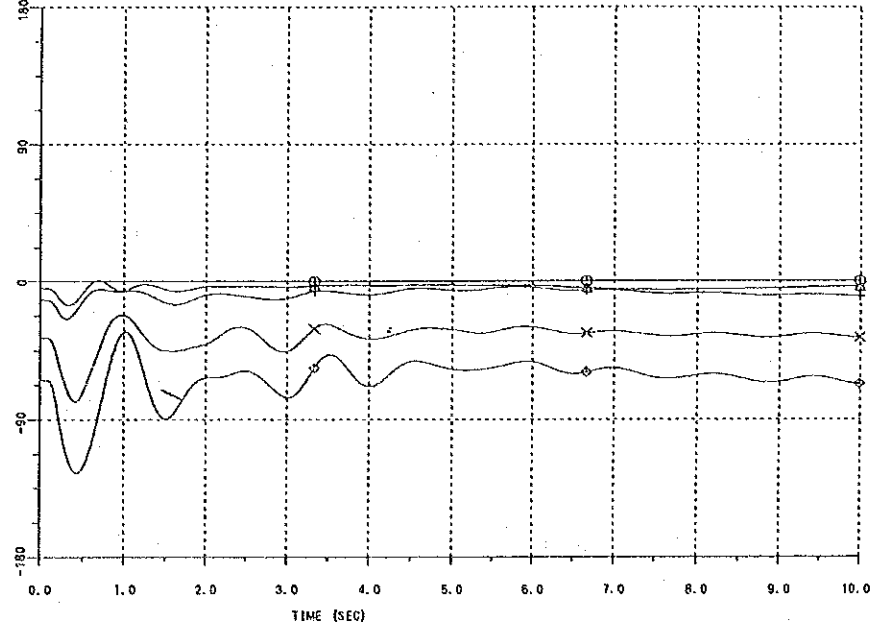
Fig. 5-22 Power Flow in December, 2003







|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min     | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00    | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-09 | ANG  | PAUTE-AB | 0.78   | -15.51  | -4.47   | -3.46  |
| 3 | NDG-11 | ANG  | GUENCA   | -3.74  | -24.60  | -12.10  | -9.93  |
| 4 | ND-60  | ANG  | LATCUNGA | -22.15 | -78.35  | -36.74  | -36.94 |
| 5 | NDG-16 | ANG  | IBARRA   | -33.00 | -125.13 | -64.34  | -66.98 |



|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min     | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00    | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-05 | ANG  | SALITRAL | -15.93 | -147.09 | -68.99  | -78.03 |
| 3 | ND-46  | ANG  | RIOBAMBA | -25.00 | -74.12  | -39.75  | -38.35 |
| 4 | NDG-01 | ANG  | ESMERALD | 32.76  | -82.49  | -9.82   | -5.58  |
| 5 | NDG-15 | ANG  | GUANGUPL | -39.90 | -101.98 | -57.69  | -59.10 |

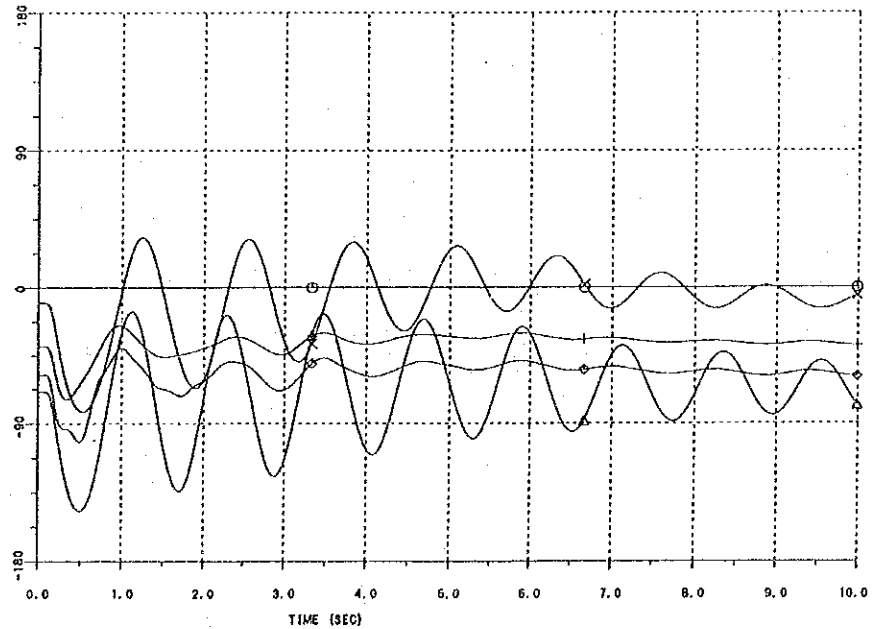
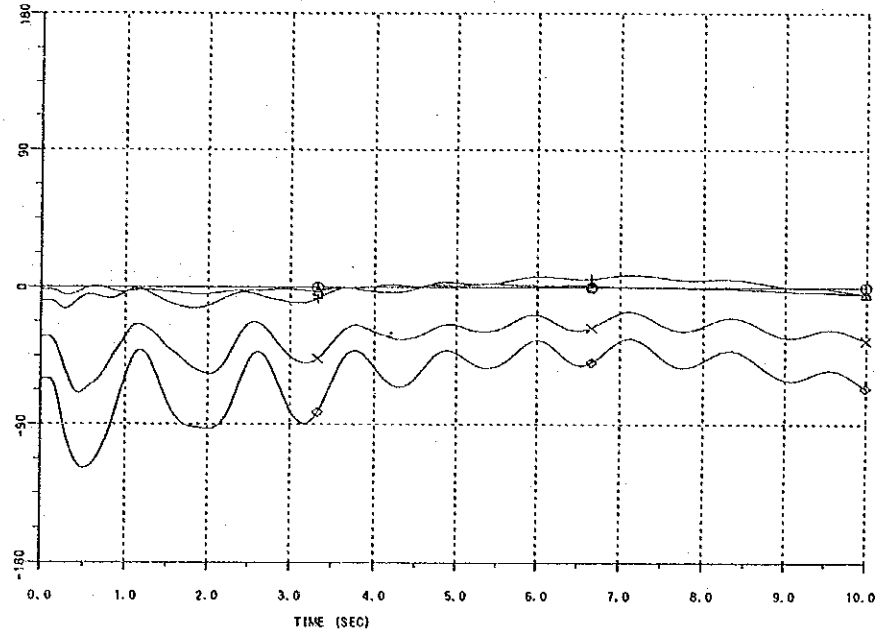


Fig. 5-23 Power System Stability after 1 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-21)



|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min     | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00    | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-09 | ANG  | PAUTE-AB | 2.46   | -4.91   | -1.43   | -3.89  |
| 3 | NDG-11 | ANG  | CUENCA   | 8.17   | -14.00  | -8.72   | -4.27  |
| 4 | ND-60  | ANG  | LATUNGA  | -15.78 | -69.52  | -32.41  | -35.04 |
| 5 | NDG-16 | ANG  | IDARRA   | -33.62 | -118.63 | -59.91  | -66.35 |



|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min     | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|---------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00    | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-05 | ANG  | SALITRAL | 4.98   | -172.21 | -65.03  | -78.53 |
| 3 | ND-46  | ANG  | RIOBAMBA | -16.33 | -61.99  | -35.07  | -35.30 |
| 4 | NDG-D1 | ANG  | ESMERALD | 64.86  | -104.92 | -4.98   | 1.42   |
| 5 | NDG-15 | ANG  | GUANGOPL | -33.16 | -99.57  | -53.29  | -57.68 |

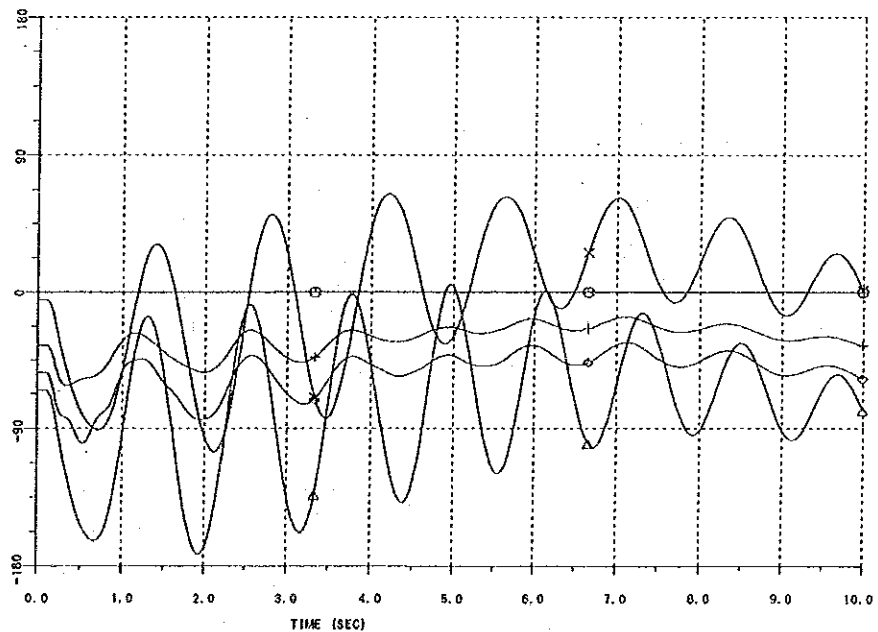


Fig. 5-24 Power System Stability Analysis at 2 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-25)



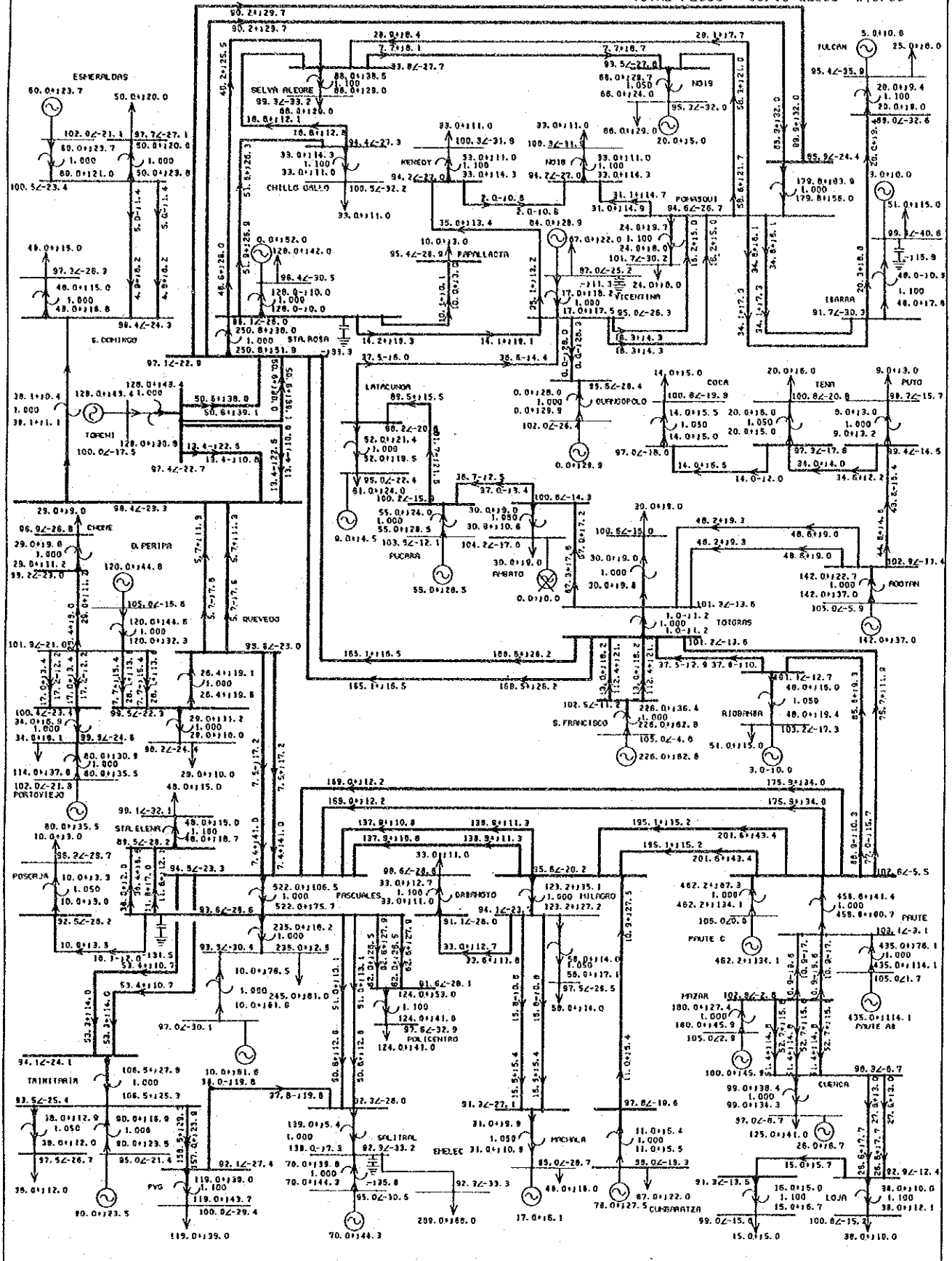


Fig. 5-25 Power Flow in June, 2003 (Case of small output at Paute)



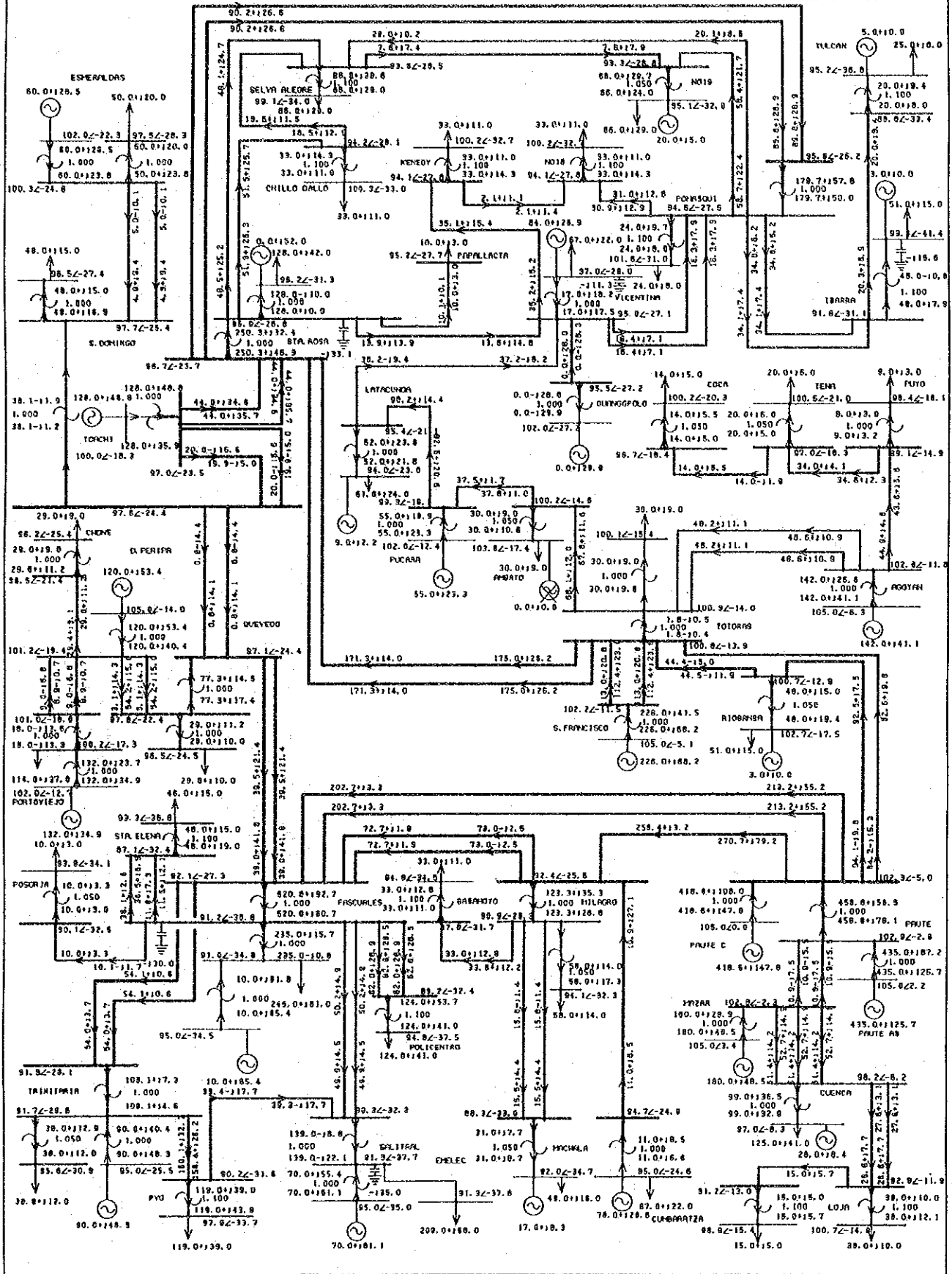


Fig. 5-26 Power Flow after Clearing of 1 CCT Line (corresponding to Fig. 5-21)





# ECUADOR 2003-06

P+JQ [% at 100 MVA Base] VZθ [%/deg]  
 (After Fault Zcut) TOTAL PLOSS 103.92 QLOSS 669.65

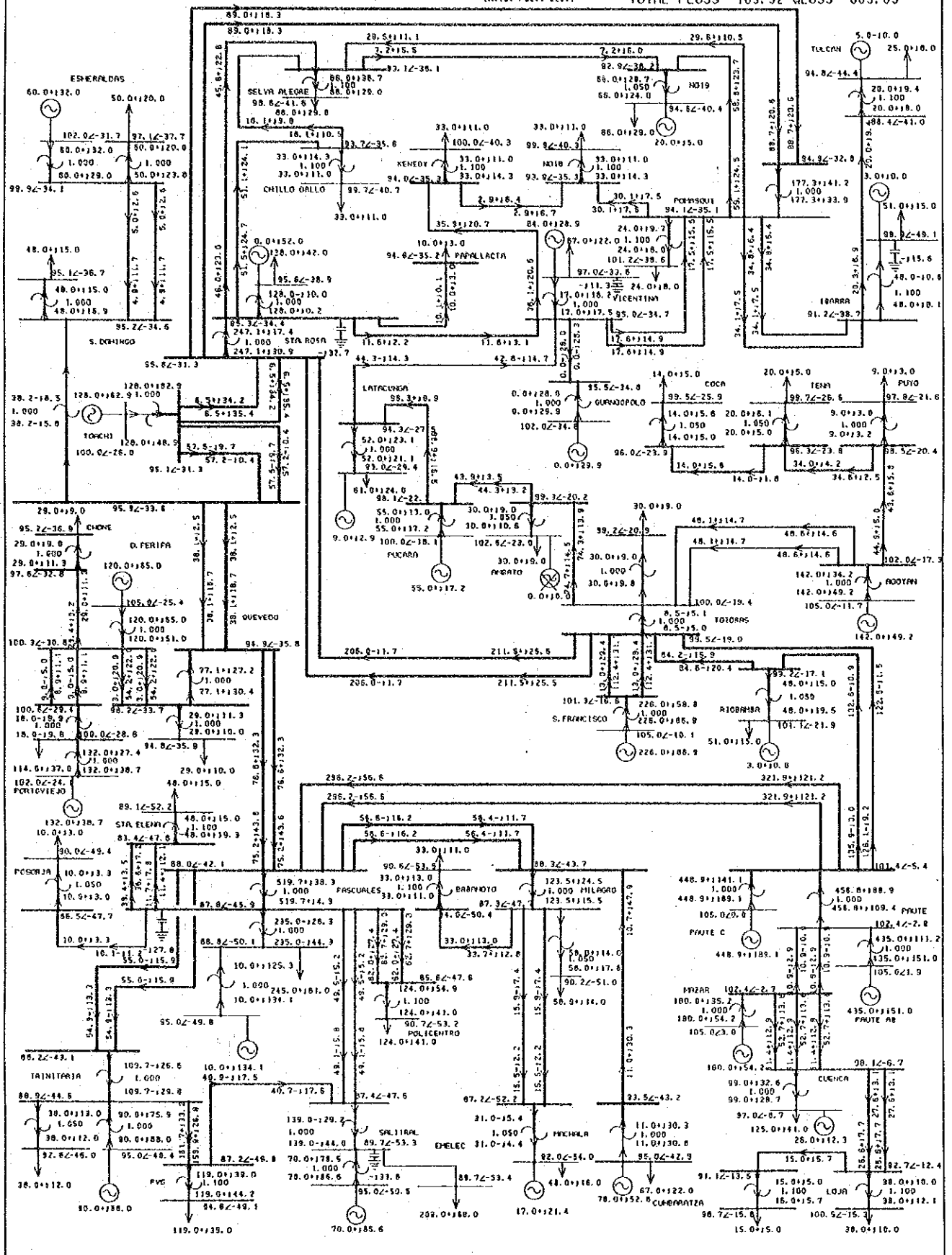


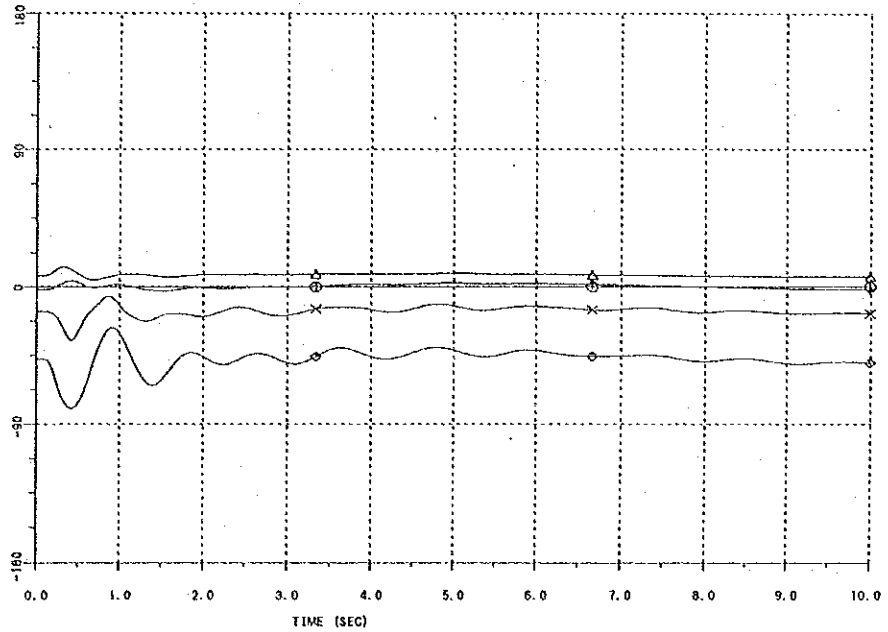
Fig. 5-27 Power Flow after Clearing of 2 CCT Line (corresponding to Fig. 5-25)





ECUADOR 2003-12 BR04-1 (PAUTE-MILAGRO) 3LG-0

| Code  | Term   | Comment      | Max    | Min    | Initial | Final  |
|-------|--------|--------------|--------|--------|---------|--------|
| 1 -○- | NDG-08 | ANG PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 -△- | NDG-09 | ANG PAUTE-AB | 13.21  | 4.69   | 7.58    | 6.82   |
| 3 -+- | NDG-11 | ANG CUENCA   | 4.10   | -2.71  | -1.89   | -1.86  |
| 4 -x- | ND-60  | ANG LATCUNGA | -6.07  | -35.32 | -16.11  | -17.43 |
| 5 -◇- | NDG-16 | ANG IBARRA   | -26.92 | -79.87 | -47.52  | -50.17 |



ECUADOR 2003\_12 BR04-1 (PAUTE-MILAGRO) 3LG-0

| Code  | Term   | Comment      | Max    | Min    | Initial | Final  |
|-------|--------|--------------|--------|--------|---------|--------|
| 1 -○- | NDG-08 | ANG PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 -△- | NDG-05 | ANG SALITRAL | 4.82   | -46.61 | -6.37   | -12.50 |
| 3 -+- | ND-45  | ANG RIOBANDA | -18.11 | -39.58 | -26.09  | -26.97 |
| 4 -x- | NDG-01 | ANG ESMERALD | 29.54  | -33.56 | 6.50    | 6.96   |
| 5 -◇- | NDG-15 | ANG GUANGOPL | -15.40 | -41.54 | -24.26  | -25.83 |

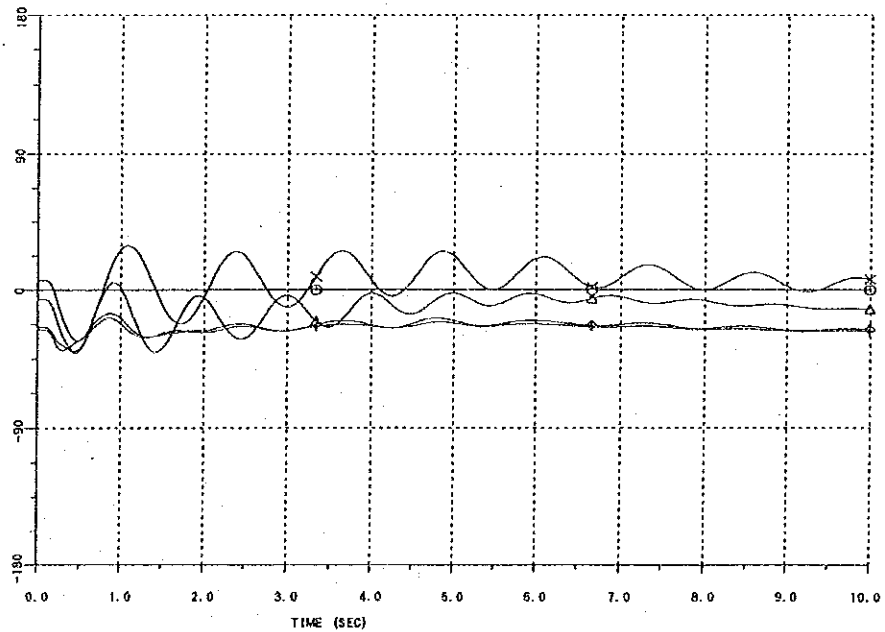


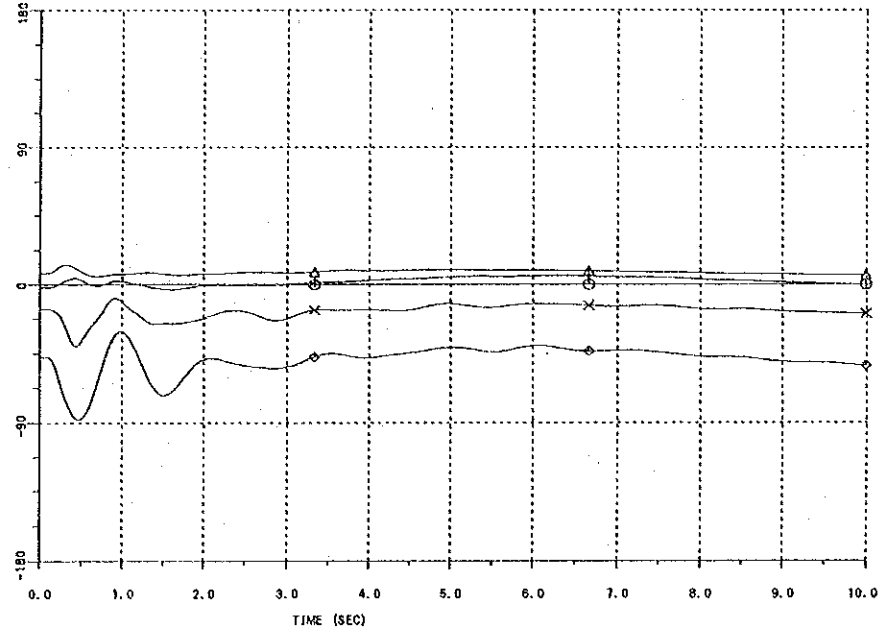
Fig. 5-28 Power System Stability after 1 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-22)





ECUADOR 2003-12 2CCT (PAUTE-MILAGRO) 3LG-0

|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min    | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-09 | ANG  | PAUTE-AB | 12.97  | 5.38   | 7.58    | 6.49   |
| 3 | NDG-11 | ANG  | GUENCA   | 5.90   | -3.26  | -1.89   | 0.03   |
| 4 | ND-80  | ANG  | LATCUNGA | -8.85  | -40.28 | -16.11  | -19.19 |
| 5 | NDG-16 | ANG  | IBARRA   | -30.73 | -87.78 | -47.52  | -53.10 |



ECUADOR 2003-12 2CCT (PAUTE-MILAGRO) 3LG-0

|   | Code   | Term | Comment  | Max    | Min    | Initial | Final  |
|---|--------|------|----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | NDG-08 | ANG  | PAUTE-C  | 0.00   | 0.00   | 0.00    | 0.00   |
| 2 | NDG-05 | ANG  | SALITRAL | -5.35  | -64.22 | -6.37   | -23.41 |
| 3 | ND-46  | ANG  | RIOBANBA | -19.45 | -40.26 | -26.09  | -27.29 |
| 4 | NDG-01 | ANG  | ESMERALD | 29.00  | -46.50 | 6.50    | 6.99   |
| 5 | NDG-15 | ANG  | GUANGOPL | -17.64 | -49.53 | -24.26  | -27.92 |

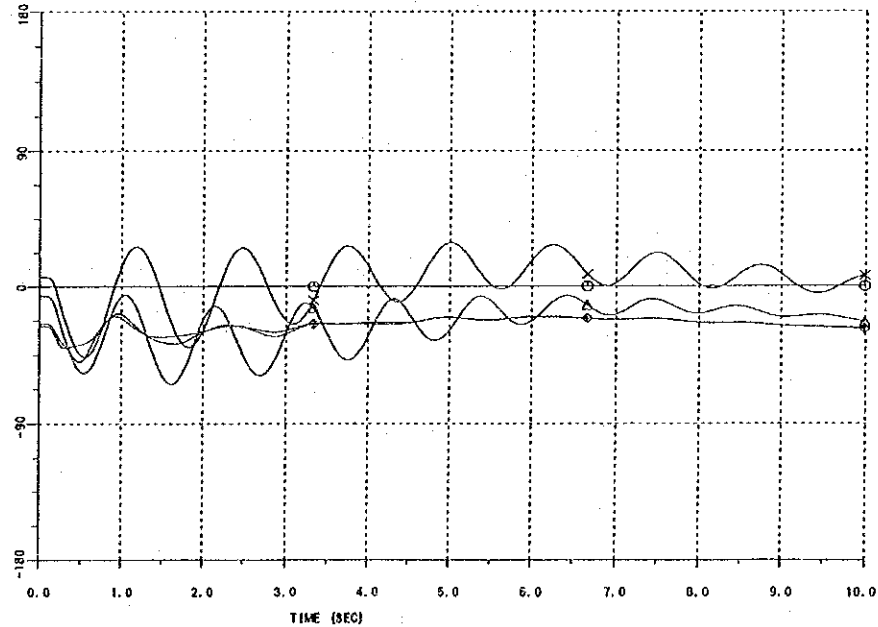


Fig. 5-29 Power System Stability after 2 CCT Line Fault (under power flow condition of Fig. 5-22)



ECUADOR 2003-12 P+JQ [% at 100 MVA Base] VZ0 [%/deg] TOTAL PLOSS 62.99 QLOSS 209.60

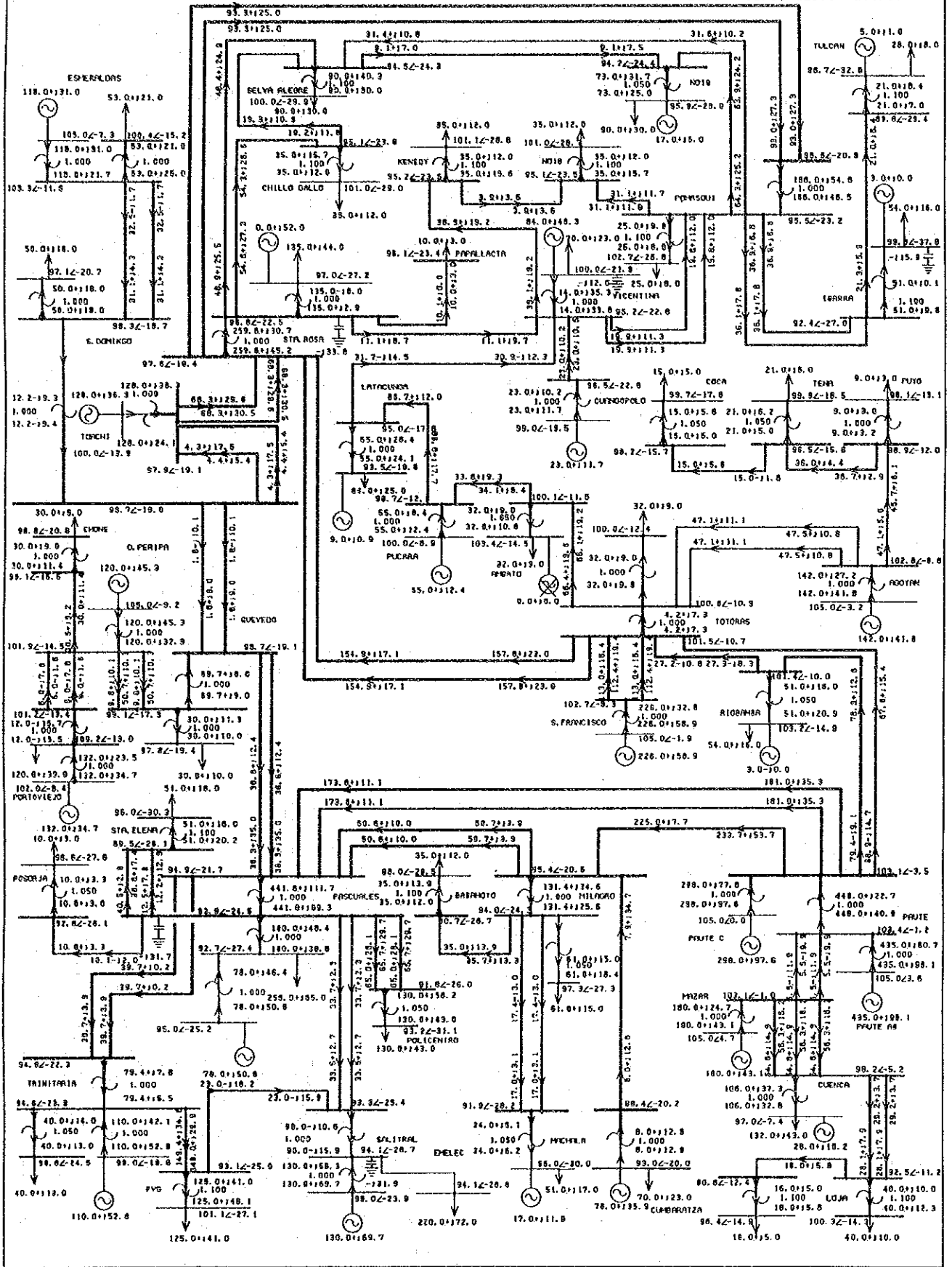


Fig. 5-30 Power Flow after Clearing of 1 CCT Line (corresponding to Fig. 5-22)





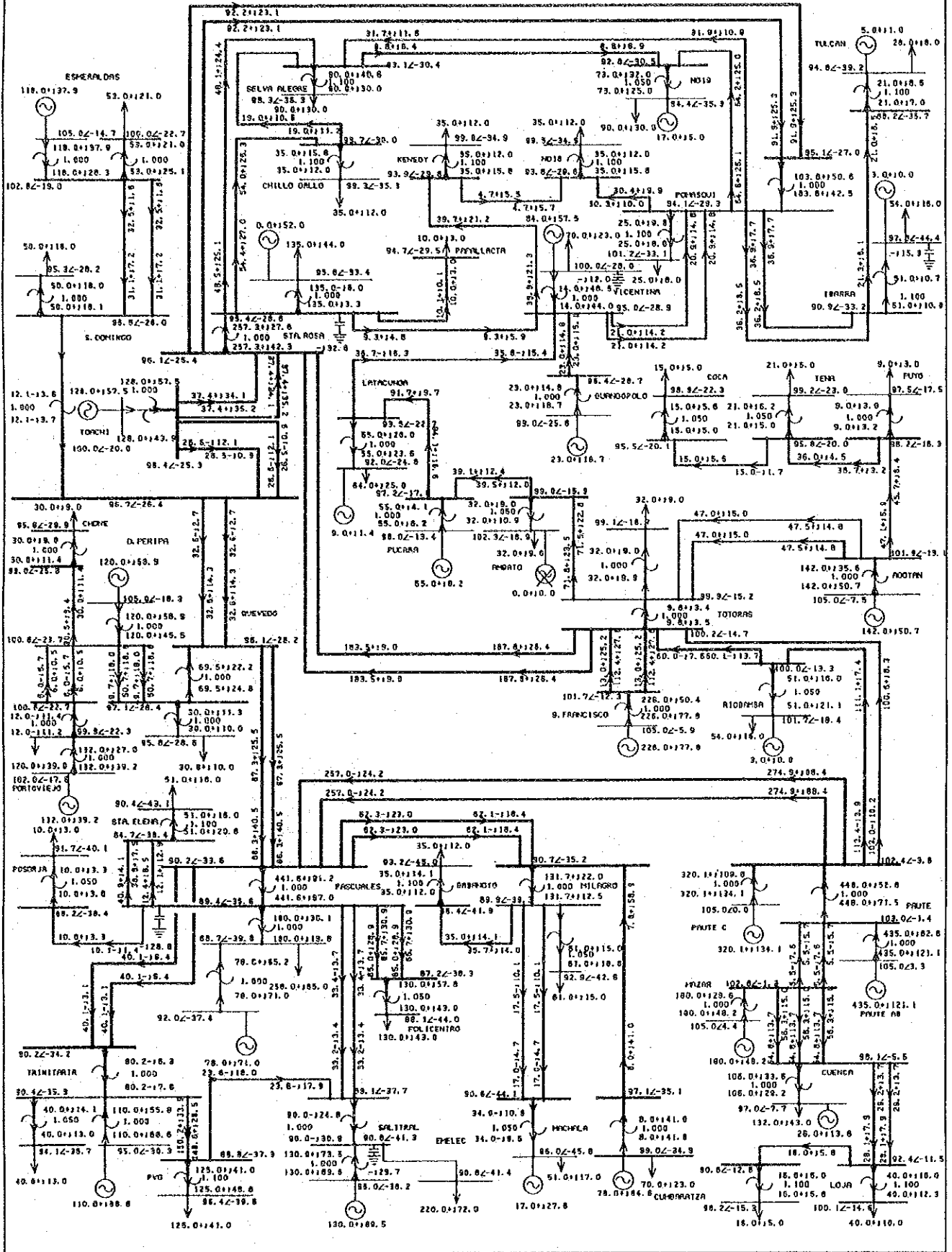


Fig. 5-31 Power Flow after Clearing of 2 CCT Line (corresponding to Fig. 5-22)



Table 5-1 Peak Loads at Substations (MW + jMVar) (1/2)

| Substation    | Mar. 1993<br>(Actual) | 1998    |          | 2003    |          |
|---------------|-----------------------|---------|----------|---------|----------|
|               |                       | June    | December | June    | December |
| Sata Roas     | 111+j50               | 125+j41 | 132+j43  | 128+j42 | 135+j44  |
| Vicentina     | 51+j18                | 64+j21  | 67+j22   | 67+j22  | 70+j23   |
| Pomasqui      | -                     | 20+j7   | 21+j7    | 24+j8   | 25+j8    |
| Selva Alegre  | 88+j40                | 86+j29  | 90+j30   | 86+j29  | 90+j30   |
| S/E No. 19    | 55+j14                | 78+j26  | 82+j27   | 86+j29  | 90+j30   |
| S/E No. 18    | -                     | 14+j5   | 15+j5    | 33+j11  | 35+j12   |
| Kennedy       | -                     | 14+j5   | 15+j5    | 33+j11  | 35+j12   |
| Chillo Gallo  | -                     | 14+j5   | 15+j5    | 33+j11  | 35+j12   |
| Papallacta    | 5+j0                  | 10+j3   | 10+j3    | 10+j3   | 10+j3    |
| Iberra        | 44+j13*               | 38+j11  | 40+j12   | 51+j15  | 54+j16   |
| Tulcán        | -                     | 19+j6   | 20+j6    | 25+j8   | 26+j8    |
| Santo Domingo | 22+j14                | 34+j13  | 36+j14   | 48+j15  | 50+j16   |
| Esmeraldas    | 22+j8                 | 40+j18  | 42+j19   | 50+j20  | 53+j21   |
| Quevedo       | 16+j6                 | 22+j8   | 23+j8    | 29+j10  | 30+j10   |
| Portoviejo    | 67+j17                | 96+j29  | 110+j30  | 114+j37 | 120+j39  |
| Chone         | -                     | 24+j7   | 25+j7    | 29+j9   | 30+j9    |
| Totoras       | 28+j7                 | 23+j7   | 24+j7    | 30+j9   | 32+j9    |
| Ambato        | 23+j7                 | 24+j7   | 25+j7    | 30+j9   | 32+j9    |

\* including Tulcán



Table S-1 Peak Loads at Substations (MW + jMVar) (2/2)

| Substation       | Mar. 1993<br>(Actual) | 1998       |            | 2003       |            |
|------------------|-----------------------|------------|------------|------------|------------|
|                  |                       | June       | December   | June       | December   |
| Latacunga        | -                     | 54+j18     | 57+j19     | 61+j24     | 64+j25     |
| Riobamba         | 30+j12                | 41+j12     | 43+j13     | 51+j15     | 54+j16     |
| Puyo             | -                     | 6+j2       | 6+j2       | 9+j3       | 9+j3       |
| Tena             | -                     | 18+j5      | 19+j5      | 20+j5      | 21+j5      |
| Coca             | -                     | 8+j3       | 8+j3       | 14+j5      | 15+j5      |
| Cuenca           | 37+j14                | 97+j32     | 102+j34    | 125+j41    | 132+j43    |
| Loja             | 19+j5                 | 28+j7      | 29+j7      | 38+j10     | 40+j10     |
| Cumbaratza       | -                     | 8+j3       | 8+j3       | 15+j5      | 16+j5      |
| Machala (230 kV) | -                     | 53+j17     | 56+j18     | 67+j22     | 70+j23     |
| Machala (138 kV) | 48+j16                | 46+j15     | 48+j16     | 48+j16     | 51+j17     |
| Milagro          | 26+j7                 | 43+j11     | 45+j12     | 58+j14     | 61+j15     |
| Babahoyo         | 21+j7                 | 27+j19     | 28+j9      | 33+j11     | 35+j12     |
| Pascuales        | 96+j34                | 187+j67    | 197+j70    | 245+j81    | 258+j85    |
| Policentro       | 114+j40               | 119+j39    | 125+j41    | 124+j41    | 130+j43    |
| Salitral         | 202+j74               | 204+j67    | 215+j71    | 209+j68    | 220+j72    |
| PVG              | -                     | 95+j31     | 100+j33    | 119+j39    | 125+j41    |
| Trinitaria       | -                     | 26+j9      | 27+j9      | 38+j12     | 40+j13     |
| Posorja          | 6+j1                  | 8+j2       | 8+j2       | 10+j3      | 10+j3      |
| Sta. Elena       | 20+j7                 | 30+j10     | 32+j11     | 48+j15     | 51+j16     |
| Total            | 1,151+j411            | 1,843+j607 | 1,936+j635 | 2,238+j728 | 2,354+j763 |



Table 5-2 Machine Constant for Main Generators (2003)

|               | Capacity<br>(MVA) | M<br>(Sec) | Xd<br>(%) | Xd'<br>(%) | Xd"<br>(%) | Xq<br>(%) | Xq"<br>(%) | Xe<br>(%) | Tdo"<br>(sec) | Tqo'<br>(sec) |
|---------------|-------------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|-----------|---------------|---------------|
| Paute-AB      | 550               | 6.6        | 109       | 35         | 19.5       | 74        | 19.5       | 10        | 0.05          | 0.14          |
| Paute-C       | 639               | 6.6        | 109       | 35         | 19.5       | 74        | 19.5       | 10        | 0.05          | 0.14          |
| Cuenca        | 30                | 5.8        | 128       | 28         | 22         | 80        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Latacunga     | 6                 | 5.2        | 91        | 40         | 22         | 58        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Ibarra        | 12                | 13.4       | 107       | 40         | 22         | 66        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Písayanbo     | 80                | 5.8        | 97.8      | 35         | 20.4       | 59        | 20.4       | 10        | 0.05          | 0.05          |
| Riobamba      | 9                 | 5.2        | 91.1      | 40.8       | 22         | 58        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Agoyán        | 170               | 6.3        | 105       | 32         | 22         | 67        | 22         | 10        | 0.05          | 0.1           |
| Tulcán        | 9                 | 5.2        | 91        | 40         | 22         | 58        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Vicentina     | 77.8              | 7.8        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Salitral      | 196               | 11.9       | 163       | 24         | 14.2       | 141       | 14.1       | 10        | 0.05          | 0.05          |
| Esmeraldas    | 156               | 15.6       | 122       | 26.2       | 20         | 109       | 20         | 10        | 0.05          | 0.05          |
| Guangopolo    | 30.2              | 2.6        | 95        | 27         | 20         | 57        | 20         | 10        | 0.05          | 0.05          |
| Santa Rosa    | 96                | 15.1       | 206       | 16         | 13         | 156       | 13         | 10        | 0.05          | 0.05          |
| Pascuales     | 177.8             | 8.0        | 155       | 25         | 20         | 155       | 20         | 18        | 0.05          | 0.07          |
| D. Peripa     | 144.4             | 7.5        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| San Francisco | 282.2             | 7.5        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Mazar         | 200               | 7.5        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Portoviejo    | 156               | 8.0        | 155       | 25         | 20         | 155       | 20         | 18        | 0.05          | 0.07          |
| Trinitaria    | 138.9             | 8.0        | 155       | 25         | 20         | 155       | 20         | 18        | 0.05          | 0.07          |
| Toachi        | 166               | 7.5        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| No. 19        | 20                | 7.5        | 100       | 30         | 22         | 60        | 22         | 14        | 0.04          | 0.1           |
| Machala       | 77.8              | 8.0        | 155       | 25         | 20         | 155       | 20         | 18        | 0.05          | 0.07          |





Table 5-3 Short-circuit Current (kA) (1/2)

(1) 230 kV busbars

|              | Mar. 1993<br>(Actual) | 1998 | 2003 |
|--------------|-----------------------|------|------|
| S. Rosa      | 5.1                   | 5.6  | 7.7  |
| S. Domingo   | 4.1                   | 4.9  | 5.7  |
| Quevedo      | 3.5                   | 5.1  | 5.5  |
| Pascuales    | 4.7                   | 8.0  | 9.0  |
| Milagro      | 4.9                   | 6.9  | 7.5  |
| Paute        | 10.8                  | 11.9 | 13.4 |
| Totoras      | 4.8                   | 5.1  | 7.2  |
| Riobamba     | 3.7                   | 3.8  | 4.5  |
| Trinitaria   | -                     | 6.6  | 7.2  |
| Machala      | -                     | 2.4  | 2.4  |
| S. Fransisco | -                     | -    | 5.7  |
| Pomasqui     | -                     | -    | 6.2  |
| Toachi       | -                     | -    | 7.5  |

(2) 138 kV busbars

|            | Mar. 1993<br>(Actual) | 1998 | 2003 |
|------------|-----------------------|------|------|
| Ambato     | 5.0                   | 5.1  | 5.4  |
| Pisayambo  | 4.1                   | 4.2  | 4.4  |
| Latacunga  | -                     | 3.2  | 3.3  |
| Vicentina  | 5.7                   | 6.9  | 9.3  |
| Guangopolo | 4.5                   | 5.5  | 6.8  |
| Pomasqui   | -                     | 5.5  | 9.7  |
| Ibarra     | 1.4                   | 2.8  | 3.5  |
| Pascuales  | 7.1                   | 10.6 | 13.2 |
| Salitral   | 6.7                   | 9.7  | 10.8 |
| S. Rosa    | 8.3                   | 8.9  | 10.7 |
| D. Peripa  | -                     | 5.4  | 5.5  |
| Quevedo    | 3.6                   | 6.0  | 6.3  |
| Portoviejo | 1.6                   | 3.4  | 3.5  |
| Esmeraldas | 3.4                   | 3.4  | 3.4  |
| Paute      | 16.6                  | 17.9 | 20.7 |
| Mazar      | -                     | -    | 12.5 |



Table 5-3 Short-circuit Current (kA) (2/2)

(2) 138 kV busbars

|             | Mar. 1993<br>(Actual) | 1988 | 2003 |
|-------------|-----------------------|------|------|
| Cuenca      | 3.4                   | 3.9  | 5.3  |
| Milagro     | 4.6                   | 5.5  | 5.7  |
| Babahoyo    | 2.0                   | 2.1  | 2.1  |
| Agoyán      | 4.8                   | 4.8  | 5.1  |
| Puyo        | -                     | 1.8  | 1.8  |
| Loja        | 0.8                   | 1.4  | 1.5  |
| S. Elena    | 1.2                   | 2.9  | 3.7  |
| Posorja     | 1.3                   | 1.4  | 1.4  |
| Machala     | 2.0                   | 2.0  | 2.0  |
| Totoras     | 5.6                   | 5.7  | 6.2  |
| Policentro  | 5.2                   | 6.9  | 7.9  |
| Tena        | -                     | 1.0  | 1.0  |
| Tulcán      | -                     | 1.3  | 1.5  |
| Cumbaratza  | -                     | 0.9  | 1.0  |
| Chone       | -                     | 1.9  | 1.9  |
| Torinitaria | -                     | 9.8  | 10.5 |
| PVG         | -                     | 8.9  | 9.5  |
| S. Alegre   | 5.5                   | 6.0  | 8.1  |
| C. Gallo    | -                     | 5.8  | 6.8  |
| No. 18      | -                     | 5.5  | 7.9  |
| No. 19      | 4.9                   | 5.3  | 7.5  |
| Kennedy     | -                     | 5.6  | 7.5  |
| Papallacta  | 2.1                   | 2.1  | 2.2  |
| Coca        | -                     | 0.9  | 1.0  |
| S. Domingo  | 4.6                   | 5.1  | 5.5  |



Table 5-4 Frequency Drop and Load Shedding at Peak Time on March 3, 1993

| Name of Electric Power Co., Ltd. |              | Steps of Load Shedding In %/MW*1 |         |         |          |          |         |         |
|----------------------------------|--------------|----------------------------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|
|                                  |              | 1                                | 2       | 3       | 4        | 5        | 6       | 7       |
| Emelec                           | Guayaquil    | 7.2/30                           | 9.6/37  | 9.0/31  | 20.1/67  | 41.2/103 | 26.7/40 | 42.8/46 |
| EE. Quito S.A.                   | Quito        | 7.0/23                           | 10.0/30 | 10.0/27 | 20.0/49  | 14.9/29  |         | 19.5/33 |
| Emelmanabi                       | Portoviejo   | 5.3/4                            | 22.8/15 | 8.4/4   | 5.3/2    |          |         |         |
| Emelgur                          | Quevedo      | 7.1/1                            | 15.0/2  | 8.8/1   | 22.8/3   |          |         |         |
| EER Centro Sus                   | Cuenca       | 7.0/4                            | 10.0/6  | 10.0/5  | 20.0/9   |          |         |         |
| Emeloro                          | Machala      |                                  |         | 25.0/13 |          | 100.0/37 |         |         |
| EE Ambato                        | Ambato       | 7.0/4                            | 10.0/5  | 10.0/4  | 20.0/8   |          |         |         |
| Emelnorte                        | Ibarra       |                                  | 14.5/7  | 12.0/5  | 19.0/6   |          |         |         |
| Emersa                           | Esmeralda    |                                  | 9.0/2   | 8.5/2   | 27.9/5   |          |         |         |
| EE Milagro                       | Milagro      |                                  |         | 6.2/2   | 16.2/4   | 100.0/22 |         |         |
| EE Riobamba                      | Riobamba     | 7.0/2                            | 10.0/2  | 10.0/2  | 20.0/4   |          |         |         |
| EEP Sta. Elena                   | Sta. Elena   |                                  | 13.0/5  | 10.8/3  | 21.0/6   |          |         |         |
| EE Sto. Domingo                  | Sto. Domingo |                                  | 5.0/1   | 7.2/2   | 9.3/2    |          |         |         |
| EER-Sur                          | Loja         |                                  |         |         |          |          |         |         |
| Emelrios                         | Babahoyo     |                                  |         |         |          | 100.0/22 |         |         |
| EE Cotopaxi                      | Latacunga    |                                  | 9.0/6   | 2.6/2   | 18.4/12  |          |         |         |
| EE Bolivar                       | Guaranda     |                                  |         |         |          |          |         |         |
| EE Azoques                       | Cuenca       |                                  |         |         | 100.0/11 |          |         |         |
| Conditions                       |              |                                  |         |         |          |          |         |         |
| Frequency drop                   | (Hz)         | 59.2                             | 59.0    | 58.8    | 58.6     | 58.4     | 58.2    | 58.0    |
| Load shedding                    | (MW)         | 68                               | 118     | 103     | 188      | 213      | 40      | 79      |
| Σ Load shedding                  | (MW)         | 68                               | 186     | 289     | 477      | 690      | 730     | 809     |
| Estimated frequency*2            | (Hz)         | 59.5                             | 59.9    | 60.1    | 60.8     | 61.6     | 61.6    | 61.7    |

\*1 Load shedding at each step will be done by frequency relays within 12 Hz  
 \*2 Calculated by the power system frequency constant for SNI K=1.38% MW/0.1 Hz

## 第 6 章 供給信頼度解析

## 第6章 供給信頼度解析

### 目 次

|                               | 頁   |
|-------------------------------|-----|
| 6.1 供給信頼度の解析方法 .....          | 6-1 |
| 6.2 供給信頼度の現状と将来の予想 .....      | 6-2 |
| 6.2.1 1991年12月における供給信頼度 ..... | 6-3 |
| 6.2.2 1998年12月における供給信頼度 ..... | 6-3 |
| 6.2.3 2003年12月における供給信頼度 ..... | 6-3 |
| 6.3 供給信頼度の評価と代替案の検討 .....     | 6-4 |
| 6.3.1 1998年12月における供給信頼度 ..... | 6-4 |
| 6.3.2 2003年12月における供給信頼度 ..... | 6-4 |
| 6.4 定格電圧維持の必要性 .....          | 6-4 |
| 6.5 定格周波数維持の必要性 .....         | 6-5 |
| 6.6 供給信頼度解析からみた推奨案 .....      | 6-5 |



## List of Figures

- Fig. 6-1 Border of South & North Zone -SNI-  
Fig. 6-2 Flow Diagram of Interconnected System Reliability  
Fig. 6-3 Record of Frequency

## List of Tables

- Table 6-1 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1991  
Table 6-2 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1991  
Table 6-3 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1998  
Table 6-4 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998  
Table 6-5 Data of Power Station (North Zone) as of December 2003  
Table 6-6 Data of Power Station (South Zone) as of December, 2003  
Table 6-7 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1998  
(Alternative Plan)  
Table 6-8 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998  
(Alternative Plan)  
Table 6-9 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003  
(Alternative Plan)  
Table 6-10 Data of Power Station (South Zone) as of December, 2003  
(Alternative Plan)  
Table 6-11 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1998  
(Recommendable Plan)  
Table 6-12 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998  
(Recommendable Plan)  
Table 6-13 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003  
(Recommendable Plan)  
Table 6-14 Data of Power Station (South Zone) as of December, 2003  
(Recommendable Plan)

## 第 6 章 供給信頼度解析

第 1 章 1.3 調査の範囲で述べたとおり、本章で取扱う供給信頼度は電気事業者である供給者側からみた供給信頼度であり、発電所事故、電力需要予測誤差、流れ込み式水力発電所の出水変動等の要素を考慮した S N I (230kV、138kV 系統に加え、69kV に連系されるすべての電源を含む) の供給信頼度 (電力供給見込み不足日数、以下「LOLP」 という。) である。すなわち、需要家に対する停電の原因となる事故は、電力系統の発電部分、送変電部分、さらに配電部分があるが、本章で取り扱っているのは、発電部分のみである。また、広義の意味での電力系統の信頼度としては、供給信頼度 (LOLP もしくは停電確率) の外に、定格電圧および定格周波数に対する変動の問題がある。これらは、いずれも電力需要家に対する、電力の質の問題であるので、供給信頼度とは別に記述する。

### 6.1 供給信頼度の解析方法

INCECEL は、Fig. 6-1 に示すとおり、S N I を北部と南部の 2 つの地域に分け、各々の需給バランスを考慮しながら、全国大における電力系統を構成することにより、供給信頼度を多少犠牲にしても全体で最小コストに抑えることを第一目標に掲げて、電力開発計画を策定してきた。そのため、北部と南部とでは、需給のアンバランスが拡大する傾向が生じてきており、1998 年で、北部に、約 220MW の供給力不足が、逆に、南部に約 670MW の供給力余剰が予想される。

従って、本調査においては、S N I を Quito 市を中心とする北部と、Guayaquil 市を中心とする南部の 2 つの地域に分け、INCECEL が所有しているデータ及び EMBLEC、EEQ の 2 つの地方電力会社が提出したデータに基づいて北部、南部の各単独系統について解析し、その後両者を連系して、信頼度解析を行うこととする。そして、この解析には、Fig. 6-2 「連系系統信頼度解析プログラムのフロー図」に示す解析プログラムを使用することとする。

プログラムは、発電所の事故分布、需要変動分布を北部と南部の各単独系統別に合成した各単独系統の供給信頼度およびそれに対応する必要予備力を算出する単独系統合成確率分布計算プログラムと、系統連係を考慮して、供給率の変動、需要の変動等をモンテカルロ法によりサンプリングして、連系系統の供給信頼度およびそれに対応する必要予備力を算出する連系系統信頼度計算プログラムから構成される。

単独系統合成確率分布計算プログラムでは、水力および火力の各発電所ユニット別の事故率をそれぞれポアソン分布、二項分布として、需要変動分布は予測値の回りの正規分布として取り扱い、各単独系統の所要の信頼度を満たすために必要となる供給予備力を算出するものである。

連系系統信頼度計算プログラムでは、モンテカルロ法により南・北各系統の事故需要変動MWをサンプリングし、南・北各系統の供給力過不足量を求めて、もし供給過不足系統があれば各系統間の連系容量を考慮して系統間応受電力の計算を行い、需要持続曲線により受電力の不足MWに対するLOLPを計算する。以上のサンプリングを多数回行うことにより、その平均値が所要のLOLPになるよう各系統の予備力を変化させ、連系系統における各系統の供給予備力を算出するものである。

今回は、データの不備により、気温による需要変動、需要の不等時量、出水変動は考慮していない。また、南・北間の応援ルールは下記によることとし、サンプリング回数は5,000回とした。

- (a) 余力系統の余力量総和が不足系統の不足量総和より大きい場合、余力系統の余力率の比で応援する。
- (b) 不足系統の不足量総和が余力系統の余力量総和より大きい場合、不足率の比で応援を受ける。
- (c) 全系統の供給力過不足量が全て余力の場合、余力の範囲内で全系統が余力率一定となるように応援する。
- (d) 全系統の供給力過不足量が全て不足の場合、全系統が不足率一定となるように応援する。
- (e) ただし、連系容量ネックが生じた場合は連系容量の範囲内で、上記(a), (b), (c), (d)を満たすような応援を行う。

## 6.2 供給信頼度の現状と将来の予想

エクアドルにおける電力需給状況は、12月が最も厳しいものとなる。それは、12月に、電力需要が最大となり、かつ河川の出水が、最も少なくなるからである。1992年12月時点の信頼度が現状を表わすものとなるが、1992年12月の電力需要は、10月に電力料金が値上げされたことなどの理由により、異常に低かったため、INECBLと協議して、1991年

12月における信頼度を以って現状とすることとする。更に、将来の予想としては、1998年12月と、2003年12月について、検討することとする。

#### 6.2.1 1991年12月における供給信頼度

過去3年間の発電所事故実績及び10年間の電力需要予測誤差等を勘案した、1991年12月における供給信頼度を計算する。

INBCELのデータによれば、1991年12月における最大電力需要は、北部が536MW、南部が804MWであり、発電所の出力と事故率等の供給力の内訳はTable 6-1 とTable 6-2 に示すとおりである。

計算の結果、1ヵ月当りのLOLPは、北部単独系統では20日、南部単独系統では10日となっているが、連系されたSNIでは、北部が10日、南部が4.9日となっている。

#### 6.2.2 1998年12月における供給信頼度

INBCELの電力需要想定によれば、1998年12月の予想最大電力は、全国大で1,991MWとなっており、北部が753MW、南部が1,238MWである。

一方、INBCELが策定した電力マスタープランによれば、1998年12月時点の供給力の内訳は、Table 6-3 及びTable 6-4 に示すとおりとなっている。

これらのデータを基に、LOLPを計算すると、北部単独系統では20日、南部単独系統では0日となっており、連系されたSNIで計算すると、北部で0.05日、南部で0日と、極めて高い供給信頼度が得られる。

#### 6.2.3 2003年12月における供給信頼度

INBCELの電力需要想定によれば、2003年12月の予想最大電力は、全国大で2,595MWとなっており、北部が986MW、南部が1,609MWである。

一方、INBCELが策定した電力マスタープランによれば、2003年12月時点の供給力の内訳は、Table 6-5 及びTable 6-6 に示すとおりとなっている。

これらのデータを基に、LOLPを計算すると、北部単独系統では15.2日、南部単独系統では0.086日となっており、連系されたSNIで計算すると、北部で0.33日、南部で0.058日と、高い供給信頼度が得られる。

### 6.3 供給信頼度の評価と代替案の検討

#### 6.3.1 1998年12月における供給信頼度

6.2.2 に述べたとおり、連系された状態では、北部、南部とも全く問題のない信頼度を確保しているものの、北部単独では、LOLPが20日と、異常なものとなっている。それに引き換え、南部は供給力過剰となってLOLPが0日となっている。

この北部と南部のアンバランスを是正するために、南部に開発を計画している、New T. Vapor (1995年運開予定) 125MWとNew T. Vapor (1997年運開予定) 140MWを、北部に移す案をAlternative Planとして検討した。この場合の、供給力の内訳は、Table 6-7 とTable 6-8 に示す。

計算結果は、北部単独系統で、LOLP14日、南部単独系統で0.02日となり、連系されたSNIでは、北部が0.05日、南部0.006日となった。

#### 6.3.2 2003年12月における供給信頼度

INECBLの計画によると2003年までには、北部にも新規電源を組み入れるため、上記の代替を行うと、逆に北部に開発予定のNew T. Gas (2001年運開予定) 80MWを南部へ移す必要があり、この案をAlternative Planとして検討した。この場合の供給力の内訳は、Table 6-9 とTable 6-10に示す。

計算結果は、北部単独系統で、LOLP1.26日、南部単独系統で1.86日となり、連系されたSNIでは、北部が0.11日、南部が0.24日となった。

### 6.4 定格電圧維持の必要性

系統につながっている各種の電気機器(電灯、動力などの需要家側の機器ならびに変圧器、発電機などの供給側の機器)は、定格電圧で用いられることを前提にして設計されており、これと異なる電圧で用いた場合には満足すべき性能を得ることは出来ない。

電圧が高い場合は変圧器の励磁電流が増えて鉄心が飽和し、変圧器の効率の低下をもたらす、又、電圧が低い場合は変圧器3次側に接続された調相設備が定格出力で運転されない等の問題が生じる。

INECBLは、230kV、138kV系では±5%、地方電力会社への受渡し点(69kV)で、±3%を目標に、電圧の維持に努めている。

## 6.5 定格周波数維持の必要性

定格周波数の維持については、電力を利用する需要家側および電力を供給する電気事業者の両者からみて必要である。すなわち、

- (a) 計算器を含むオートメーションシステムにとっては供給電力の安定化が極めて重大な問題である。普通は専用の安定化装置を設けるが、この装置の責務を軽減するためにも定格周波数を維持することが必要である。
- (b) 電動機負荷は周波数の変化によって回転数が変化する。ことに高速度のポットモーターを用いる繊維工業や製紙工業では、製品にむらが生じることから、特に周波数を一定に保つことが要求される。
- (c) 電気時計の狂いはとりもなおさず周波数変動の結果である。  
この場合には瞬間的な周波数の偏差よりもむしろその積分値をゼロにすることが重要である。
- (d) 周波数の安定化は発電機出力変化制御の責務を軽減する。蒸気タービンの場合は、頻繁な出力調整はボイラー、タービン系の蒸気の流れを乱し、熱応力の問題が生ずる。
- (e) SNI に連系する地方電力会社との連系点の汐流は周波数変化に応じて敏感に変動する。したがって安定な連系を保つためには、規定値 (60Hz) の周辺の変動を極力押さえることが必要である。
- (f) 周波数が変動すれば同時に系統の各所の電圧も変化するので、周波数を規定値に維持すれば電圧制御の責務も軽減され、また安定度も改善される。

このような理由により、周波数の許容変動幅は $\pm 0.1$ Hz程度を目標にすべきであるが、JICA調査団が現地調査時に入手した2日分の周波数チャートによれば Fig. 6-3 に示すように $\pm 0.1$ Hzを逸脱した記録は1993年2月18日(木)において3.83時間、翌週の2月22日(月)において1.75時間であった。

## 6.6 供給信頼度解析からみた推奨案

Fig. 5-13に示す1998年12月における電力潮流を見ると、Daule Peripa水力発電所130MW (1996/12運開予定) とMantaのNew T. Vapor 140MW (1997/12運開予定) の電

力は、大半が北向きの流れとなっている。従って、この両発電所は、南部地域に位置してはいるが、需給的には北地域の電源とみなすことができる。また、南部には2004年に125MWのNew T. Vaporが新設予定であることから、2003年における南部の信頼度が、北部より若干低くなるが、北部のNew T. Gas (2001年運開予定) 80MWは、INBCELの計画通りとする。この案をRecommendable Planとし、この場合の供給力の内訳は、Table 6-11～14に示す。

計算結果は、1998年が、北部単独系統でLOLP16.4日、南部単独系統で0.01日となり、連系されたSNIでは、北部が0.05日、南部が0.003日である。また、2003年が、北部単独系統で、LOLP0.37日、南部単独系統で3.23日となり、連系されたSNIでは、北部が0.04日、南部が0.27日である。従って、供給信頼度解析からみるならば、INBCELの電力開発計画は妥当であり、南北の格差を減らすという観点から、Daule Peripa水力とMantaの火力を北地域の電源とみなすことを推奨する。

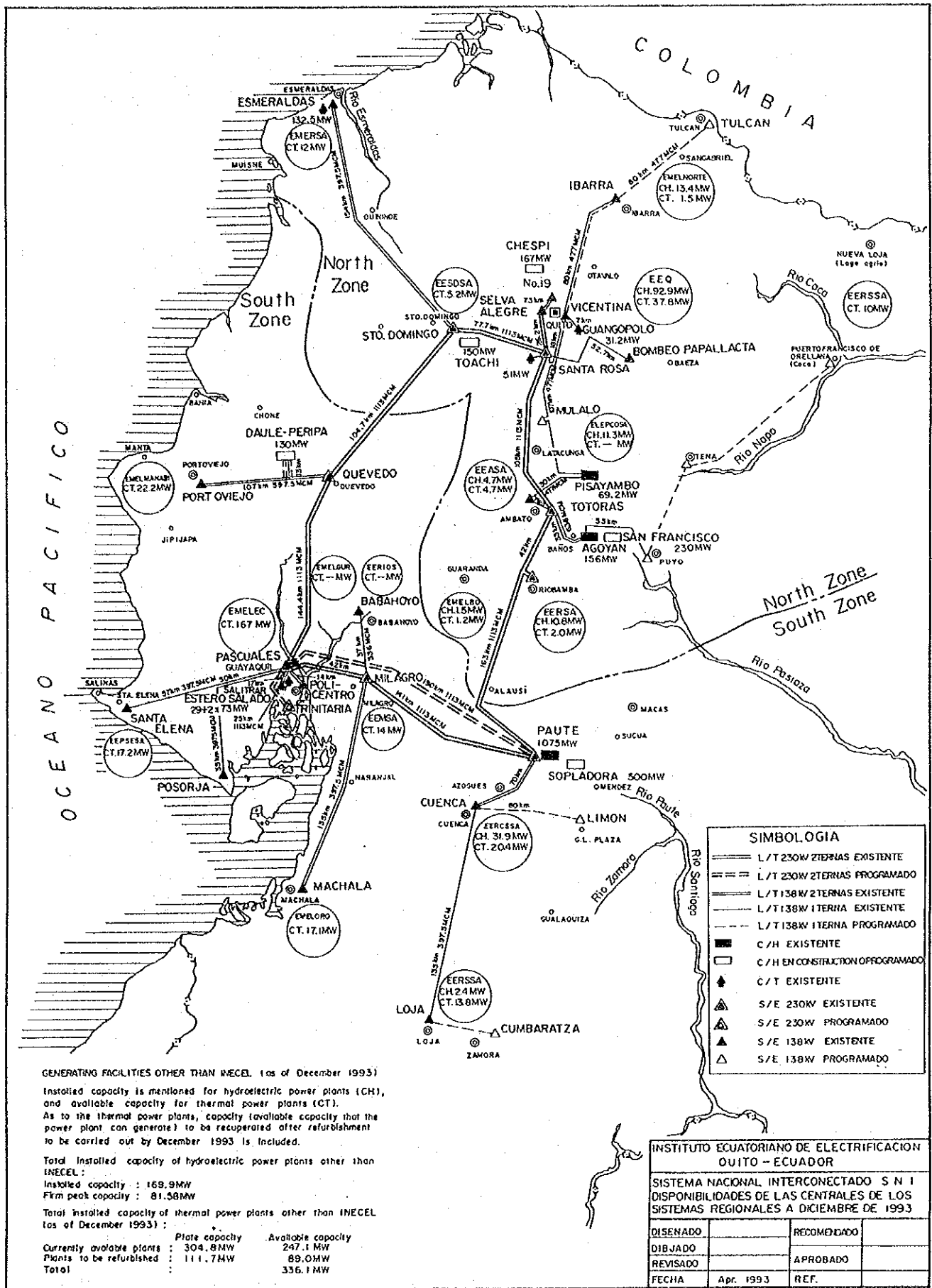
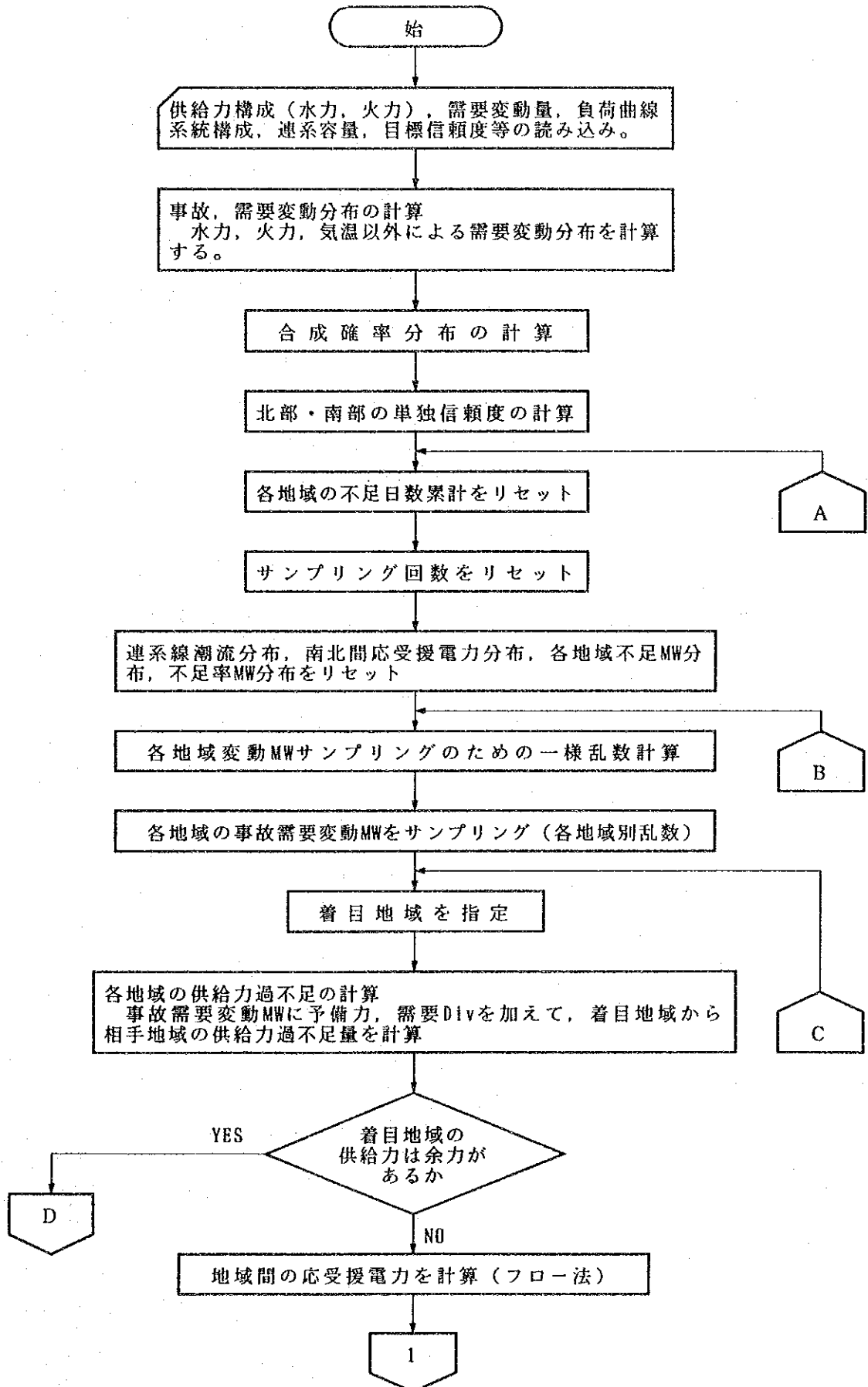


Fig 6-1 Border of South & North Zone - SNI-

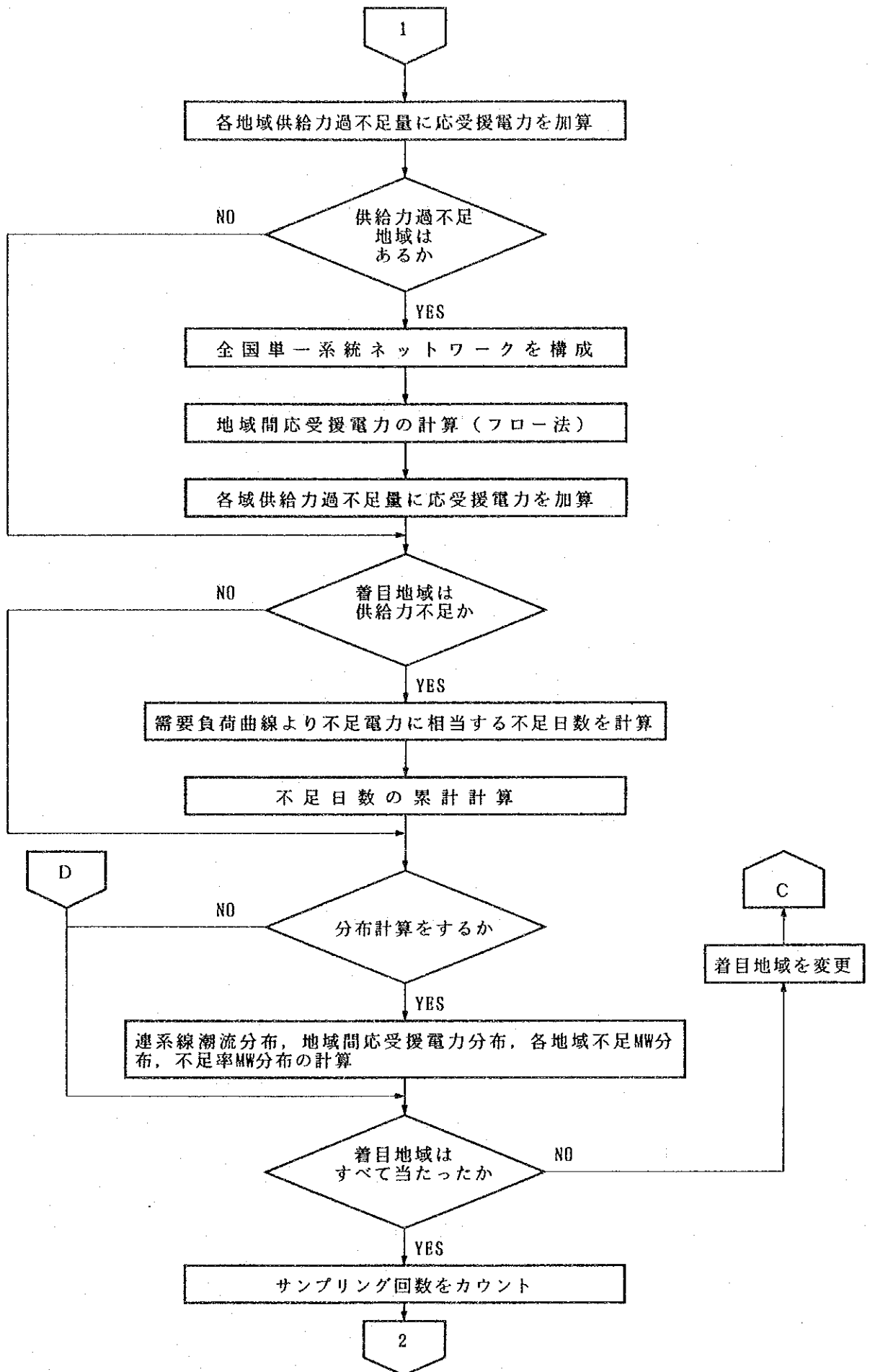




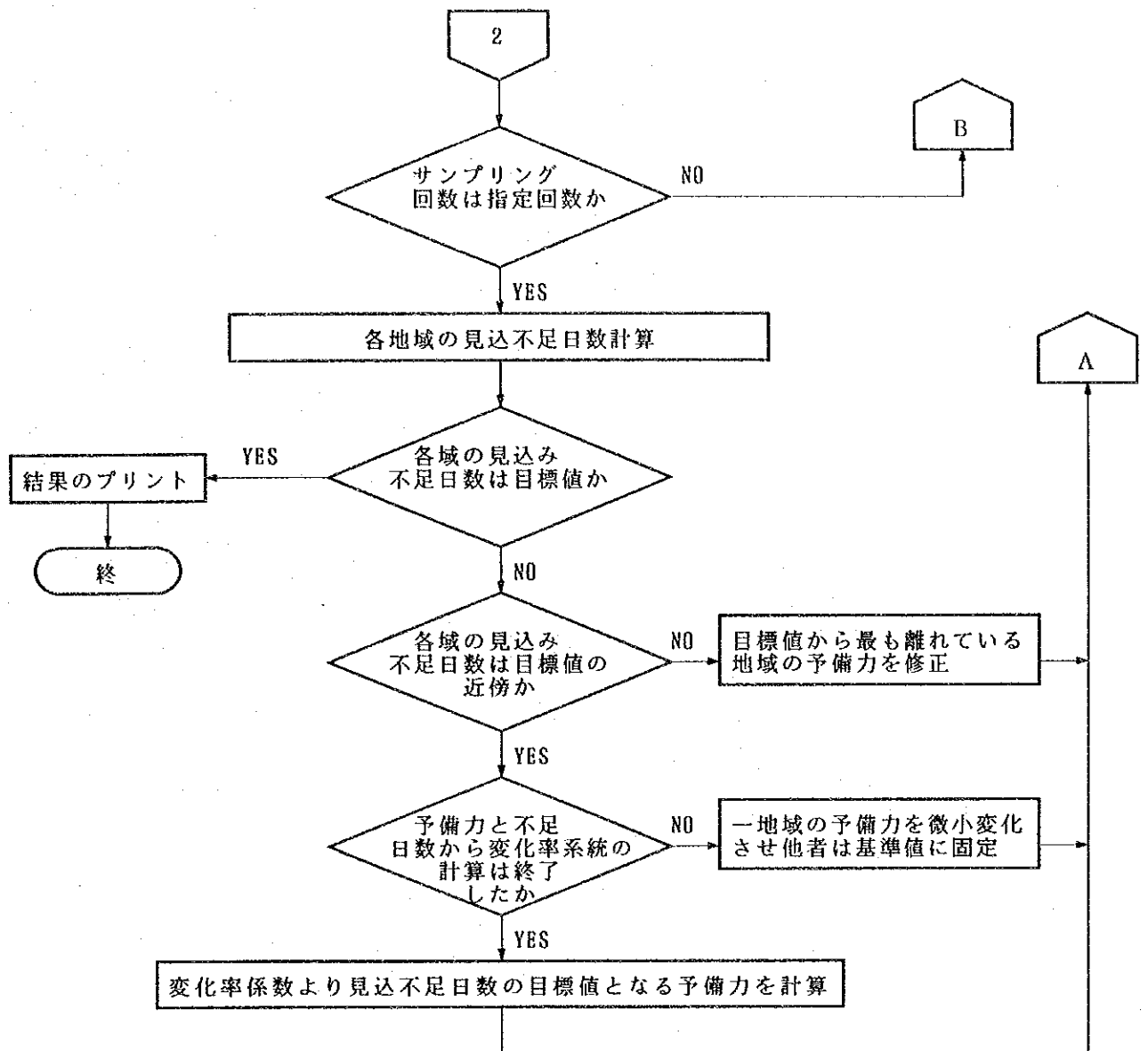
Fig. 6-2 連系系統信頼度解析プログラムのフロー図













NO. 193 LEEDS & NEPTUNE CO., PHILA.

58 58.5 59 59.5 60 60.5 61 61.5 62

CYCLES

11:11:00

MADE IN U.S.A.

(3783 Hz) 236 Minutes

10:11:00

58 58.5 59 59.5 60 60.5 61 61.5 62

CYCLES

9:11:00

NO. 193 LEEDS & NEPTUNE CO., PHILA.

58 58.5 59 59.5 60 60.5 61 61.5 62

CYCLES

8:16:00  
18 FEB 1993

MADE IN U.S.A.

7:11:00

Fig. 6-3 Record of Frequency (1/2)





NO. 128 LEER & MORTIMER CO. PHILA.

00:00 22 FEB. 1999

US 8

58 58.5 59 59.5 60.5 61 61.5 62

8 minutes

CYCLES

22:100

58 58.5 59 59.5 60 60.5 61 61.5 62

CYCLES

22:100

NO. 128 LEER & MORTIMER CO. PHILA.

(175 Minutes)

105 minutes

CYCLES

22:100

58 58.5 59 59.5 60 60.5 61 61.5 62

Fig. 6-3 Record of Frequency (2/2)



Table 6-1 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1991

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.14                              |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.66                              |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 3.84                              |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 3.13                              |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.36                              |
| Los Chillos          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 2.65                              |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.624            | 3.84 <sup>*1</sup>                |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 20.23                             |
| Diesel Guangopolo    | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 17.54                             |
| S. Regionales Diesel | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 20.23 <sup>*3</sup>               |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.44                   | 10.00            | 2              | 5.00             | 17.54 <sup>*4</sup>               |
| Total                |     |                         | 497.90           | 49             |                  |                                   |

Table 6-2 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1991

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 1.87                              |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 3.84 <sup>*1</sup>                |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.48                              |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| Guayaquil Vapor #1     | T   | 10.00                   | 9.40             | 2              | 4.70             | 30.30                             |
| Guayaquil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 6.20                              |
| Guayaquil Gas          | T   | 13.50                   | 12.00            | 1              | 12.00            | 14.00                             |
| Guayaquil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 5.10                              |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 8.05                              |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 10.73                             |
| S. Regionales Diesel   | T   | 48.59                   | 32.30            | 23             | 1.40             | 20.23 <sup>*3</sup>               |
| S. Regionales Bunker   | T   | 45.78                   | 31.40            | 10             | 3.14             | 17.54 <sup>*4</sup>               |
| Total                  |     |                         | 856.43           | 58             |                  |                                   |

Note: \*1 Assumed the largest value in hydropower plants.  
 \*2 Assumed by JICA.  
 \*3,\*4 Assumed the largest value in thermal plants.



Table 6-3 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1998

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.154 <sup>*1</sup>               |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.726 <sup>*1</sup>               |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 4.22125 <sup>*1</sup>             |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 3.4375 <sup>*1</sup>              |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.396 <sup>*1</sup>               |
| Los Chillos          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 2.915 <sup>*1</sup>               |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.624            | 4.22125 <sup>*1</sup>             |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 0.88 <sup>*1</sup>                |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 22.253 <sup>*1</sup>              |
| Gangopolo (Diesel)   | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 19.294 <sup>*1</sup>              |
| S. Regionales Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 22.253 <sup>*1</sup>              |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 19.294 <sup>*1</sup>              |
| S.R. Rehab. Diesel   | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 22.253 <sup>*1</sup>              |
| S.R. Rehab. Bunker   | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 19.294 <sup>*1</sup>              |
| Total                |     |                         | 534.30           | 63             |                  |                                   |

Note: \*1 10% up of 1991's data



Table 6-4 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.057 <sup>*1</sup>               |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 459.40           | 5              | 91.88            | 2.057 <sup>*2</sup>               |
| Daule Peripa           | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.500 <sup>*2</sup>               |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 0.500 <sup>*2</sup>               |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.528 <sup>*1</sup>               |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 0.88 <sup>*1</sup>                |
| Guayaquil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 6.82 <sup>*1</sup>                |
| Guayaquil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 5.610 <sup>*1</sup>               |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 8.885 <sup>*1</sup>               |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 11.803 <sup>*1</sup>              |
| S. Regionales, Diesel  | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 22.253 <sup>*1</sup>              |
| S. Regionales, Bunker  | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 19.294 <sup>*1</sup>              |
| S.R. Rehab. Diesel     | T   | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 22.253 <sup>*2</sup>              |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 19.294 <sup>*2</sup>              |
| Electro Quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 14.00 <sup>*2</sup>               |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 2              | 16.00            | 14.00 <sup>*3</sup>               |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| New T. Vapor (1995)    | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| New T. Vapor (1997)    | T   | 140.00                  | 132.00           | 2              | 66.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| Total                  |     |                         | 1,905.23         | 81             |                  |                                   |

Note: \*1 10% up of 1991's data  
 \*2 Assumed by JICA  
 \*3 Assumed by INECEL





Table 6-5 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.1848 <sup>*1</sup>              |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.8712 <sup>*1</sup>              |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 5.0655 <sup>*1</sup>              |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 4.1250 <sup>*1</sup>              |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.4752 <sup>*1</sup>              |
| Los Chillos          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 3.498 <sup>*1</sup>               |
| S. Francisco         | H   | 230.00                  | 226.00           | 2              | 113.00           | 0.50 <sup>*2</sup>                |
| Toachi               | H   | 150.00                  | 128.80           | 2              | 64.40            | 0.50 <sup>*2</sup>                |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.62             | 5.0655 <sup>*1</sup>              |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 1.06 <sup>*1</sup>                |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 26.7036 <sup>*1</sup>             |
| Guangopolo (Diesel)  | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 23.1528 <sup>*1</sup>             |
| S. Regionales Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 26.7036 <sup>*1</sup>             |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 23.1528 <sup>*1</sup>             |
| S.R. Rehab. Diesel   | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 23.3657 <sup>*3</sup>             |
| S.R. Rehab. Bunker   | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 20.2587 <sup>*3</sup>             |
| New T. Gas (2001)    | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| New T. Gas (2003)    | T   | 30.00                   | 27.00            | 1              | 27.00            | 0.80 <sup>*2</sup>                |
| Total                |     |                         | 994.10           | 69             |                  |                                   |

Note: \*1 20% up of 1991's data  
 \*2 Assumed by JICA  
 \*3 5% up of 1998's data



Table 6-6 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.4684 <sup>*1</sup>              |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 459.40           | 5              | 91.88            | 2.4684 <sup>*1</sup>              |
| Daule Peripa           | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.525 <sup>*1</sup>               |
| Mazar                  | H   | 180.00                  | 107.80           | 2              | 53.90            | 0.50 <sup>*2</sup>                |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 5.0688 <sup>*1</sup>              |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.6336 <sup>*1</sup>              |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 1.056 <sup>*1</sup>               |
| Guayaguil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 8.184 <sup>*1</sup>               |
| Guayaguil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 6.732 <sup>*1</sup>               |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 10.626 <sup>*1</sup>              |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 14.1636 <sup>*1</sup>             |
| S. Regionales Diesel   | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 26.7036 <sup>*1</sup>             |
| S. Regionales Bunker   | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 23.1528 <sup>*1</sup>             |
| S.R. Rehab. Diesel     | T   | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 20.2587 <sup>*3</sup>             |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 21.22 <sup>*3</sup>               |
| Electro Quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 15.40 <sup>*3</sup>               |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 1              | 32.00            | 15.40 <sup>*3</sup>               |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84 <sup>*3</sup>                |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84 <sup>*3</sup>                |
| New T. Vapor (1995)    | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.84 <sup>*3</sup>                |
| New T. Vapor (1997)    | T   | 140.00                  | 132.00           | 2              | 66.00            | 0.84 <sup>*3</sup>                |
| Total                  |     |                         | 2,013.03         | 82             |                  |                                   |

Note: \*1 20% up of 1991's data  
 \*2 Assumed by JICA  
 \*3 5% up of 1998's data



**Table 6-7 Data of Power Station (North Zone) as of December, 1998 (Alternative Plan)**

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.154                             |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.726                             |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 4.22125                           |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 3.4375                            |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.396                             |
| Los Chillos          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 2.915                             |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.62             | 4.22125                           |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 0.88                              |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 22.253                            |
| Gangopolo (Diesel)   | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 19.294                            |
| S. Regionales Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 22.253                            |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 19.294                            |
| S.R. Rehab. Diesel   | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 22.253                            |
| S.R. Rehab. Bunker   | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 19.294                            |
| New T. Vapor (1995)* | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.80                              |
| New T. Vapor (1997)* | T   | 140.00                  | 132.00           | 1              | 66.00            | 0.80                              |
| Total                |     |                         | 783.80           | 66             |                  |                                   |

Note: \* Originally planned in the South Zone



Table 6-8 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998 (Alternative Plan)

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.057                             |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 459.40           | 5              | 91.88            | 2.057                             |
| Daule Peripa           | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.500                             |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 4.224                             |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.528                             |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 0.88                              |
| Guayaquil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 6.82                              |
| Guayaquil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 5.610                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 8.855                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 11.803                            |
| S. Regionales Diesel   | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 22.253                            |
| S. Regionales Bunker   | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 19.294                            |
| S.R. Rehab. Diesel     | T   | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 22.253                            |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 19.294                            |
| Electro Quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 0.80                              |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 2              | 16.00            | 0.80                              |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| Total                  |     |                         | 1,655.73         | 78             |                  |                                   |





**Table 6-9 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003 (Alternative Plan)**

| Power Station         | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|-----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán                | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.1848                            |
| Pisayambo             | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.8712                            |
| Cumbayá               | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 5.0655                            |
| Nayón                 | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 4.1250                            |
| Pasochoa              | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.4752                            |
| Los Chillos           | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 3.498                             |
| S. Francisco          | H   | 230.00                  | 226.00           | 2              | 113.00           | 0.50                              |
| Toachi                | H   | 150.00                  | 128.80           | 2              | 64.40            | 0.50                              |
| Others (18)           | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.62             | 5.0655                            |
| Esmeraldas (Vapor)    | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 1.06                              |
| Santa Rosa (Gas)      | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 26.7036                           |
| Guangopolo (Diesel)   | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 23.158                            |
| S. Regionales, Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 26.7036                           |
| S. Regionales, Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 23.1528                           |
| S.R. Rehab. Diesel    | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 23.3657                           |
| S.R. Rehab. Bunker    | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 20.2587                           |
| New T. Gas (2003)     | T   | 30.00                   | 27.00            | 1              | 27.00            | 0.80                              |
| New T. Vapor (1995)*  | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.84                              |
| New T. Vapor (1997)*  | T   | 140.00                  | 132.00           | 2              | 66.00            | 0.84                              |
| <b>Total</b>          |     |                         | <b>1,165.60</b>  | <b>71</b>      |                  |                                   |

Note: \* Originally planned in the South Zone



Table 6-10 Data of Power Station (South Zone) as of December, 2003 (Alternative Plan)

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.4684                            |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 459.40           | 5              | 91.88            | 2.4684                            |
| Daule Peripa           | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.525                             |
| Mazar                  | H   | 180.00                  | 107.80           | 2              | 53.90            | 0.50                              |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 5.0688                            |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.6336                            |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 1.056                             |
| Guayaquil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 8.184                             |
| Guayaquil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 6.732                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 10.626                            |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 14.1636                           |
| S. Regionales Diesel   | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 26.7036                           |
| S. Regionales Bunker   | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 23.1528                           |
| S.R. Rehab. Diesel     | T   | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 20.2587                           |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 21.220                            |
| Electro Quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 15.40                             |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 2              | 16.00            | 15.40                             |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84                              |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84                              |
| New T. Gas (2001)*     | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| Total                  |     |                         | 1,841.53         | 81             |                  |                                   |

Note: \* Originally planned in the North Zone



Table 6-11 Data of Power Station (North Zone) as of December 1998 (Recommendable Plan)

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.154                             |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.726                             |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 4.22125                           |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 3.4375                            |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.396                             |
| Los Chillos          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 2.915                             |
| Daule Peripa*        | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.500                             |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.621            | 4.22125                           |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 0.80                              |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 22.253                            |
| Guangopolo (Diesel)  | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 19.294                            |
| S. Regionales Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 22.253                            |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 22.253                            |
| S.R. Rehab. Diesel   | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 22.253                            |
| S.R. Rehab. Bunker   | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 19.294                            |
| New T. Vapor (1997)* | T   | 140.00                  | 132.00           | 2              | 66.00            | 0.80                              |
| Total                |     |                         | 752.30           | 67             |                  |                                   |

Note: \*Originally planned in the South Zone



Table 6-12 Data of Power Station (South Zone) as of December, 1998 (Recommendable Plan)

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.057                             |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 459.40           | 5              | 91.88            | 2.057                             |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 4.224                             |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.528                             |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 0.88                              |
| Guayaguil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 6.82                              |
| Guayaguil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 5.610                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 8.855                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 11.803                            |
| S. Regionales, Diesel  | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 22.253                            |
| S. Regionales, Bunker  | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 19.294                            |
| S.R. Rehab. Diesel     |     | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 22.253                            |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 19.294                            |
| Electro quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 14.00                             |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 2              | 16.00            | 14.00                             |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| New T. Vapor (1995)    | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.80                              |
| Total                  |     |                         | 1,687.23         | 77             |                  |                                   |





**Table 6-13 Data of Power Station (North Zone) as of December, 2003 (Recommendable Plan)**

| Power Station        | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|----------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Agoyán               | H   | 156.00                  | 154.90           | 2              | 78.00            | 0.1848                            |
| Pisayambo            | H   | 69.20                   | 65.40            | 2              | 32.70            | 0.8712                            |
| Cumbayá              | H   | 40.00                   | 17.65            | 4              | 4.4125           | 5.0655                            |
| Nayón                | H   | 29.70                   | 14.00            | 2              | 7.00             | 4.1250                            |
| Pasochoa             | H   | 4.50                    | 2.25             | 2              | 1.125            | 0.4752                            |
| Los Chillós          | H   | 1.76                    | 0.86             | 2              | 0.430            | 3.498                             |
| Daule Peripa*        | H   | 130.00                  | 86.00            | 2              | 43.00            | 0.525                             |
| S. Francisco         | H   | 230.00                  | 226.00           | 2              | 113.00           | 0.50                              |
| Toachi               | H   | 150.00                  | 128.80           | 2              | 64.40            | 0.50                              |
| Others (18)          | H   | 59.59                   | 29.24            | 18             | 1.62             | 5.0655                            |
| Esmeraldas (Vapor)   | T   | 132.50                  | 125.00           | 1              | 125.00           | 1.06                              |
| Santa Rosa (Gas)     | T   | 51.00                   | 45.00            | 3              | 15.00            | 26.7036                           |
| Guangopolo (Diesel)  | T   | 31.20                   | 24.30            | 6              | 4.05             | 23.1528                           |
| S. Regionales Diesel | T   | 2.98                    | 2.20             | 1              | 2.20             | 26.7036                           |
| S. Regionales Bunker | T   | 11.23                   | 8.20             | 5              | 1.64             | 23.1528                           |
| S.R. Rehab. Diesel   | T   | 13.15                   | 10.40            | 6              | 1.733            | 23.3657                           |
| S.R. Rehab. Bunker   | T   | 41.00                   | 33.80            | 9              | 3.756            | 20.2587                           |
| New T. Vapor (1997)* | T   | 140.00                  | 132.00           | 2              | 66.00            | 0.84                              |
| New T. Gas (2001)    | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.80                              |
| New T. Gas (2003)    | T   | 30.00                   | 27.00            | 1              | 27.00            | 0.80                              |
| <b>Total</b>         |     |                         | 1,212.10         | 73             |                  |                                   |

Note: \* Originally planned in the South Zone



Table 6-14 Data of Power Station (South Zone) as of December, 2003 (Recommendable Plan)

| Power Station          | H/T | Installed Capacity (MW) | Firm Output (MW) | Number of Unit | Unit Output (MW) | Average Rate of Forced Outage (%) |
|------------------------|-----|-------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------------------------|
| Paute (A,B)            | H   | 500.00                  | 438.50           | 5              | 87.70            | 2.4684                            |
| Paute (C)              | H   | 575.00                  | 495.40           | 5              | 91.88            | 2.4684                            |
| Mazar                  | H   | 180.00                  | 107.80           | 2              | 53.90            | 0.50                              |
| Others (6)             | H   | 34.32                   | 27.23            | 6              | 4.54             | 5.0688                            |
| Estero Salado (Vapor)  | T   | 146.00                  | 140.00           | 2              | 70.00            | 0.6336                            |
| Estero Salado (Gas)    | T   | 30.94                   | 20.00            | 1              | 20.00            | 1.056                             |
| Guayaquil Vapor #2     | T   | 20.00                   | 19.00            | 2              | 9.50             | 8.184                             |
| Guayaquil Vapor        | T   | 33.00                   | 31.60            | 1              | 31.60            | 6.732                             |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 21.25                   | 15.00            | 1              | 15.00            | 10.626                            |
| Estero Salado (EMELEC) | T   | 90.00                   | 80.00            | 4              | 20.00            | 14.1636                           |
| S. Regionales Diesel   | T   | 33.84                   | 22.80            | 17             | 1.3411           | 26.7036                           |
| S. Regionales Bunker   | T   | 21.58                   | 11.40            | 4              | 2.85             | 23.1528                           |
| S.R. Rehab. Diesel     | T   | 41.895                  | 36.80            | 20             | 1.84             | 20.2587                           |
| S.R. Rehab. Bunker     | T   | 8.176                   | 6.00             | 2              | 3.00             | 21.220                            |
| Electro Quil (Gas)     | T   | 75.00                   | 74.00            | 2              | 37.00            | 15.40                             |
| Electro Quito (Gas)    | T   | 33.00                   | 32.00            | 2              | 16.00            | 15.40                             |
| New T. Gas (1993)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84                              |
| New T. Gas (1994)      | T   | 80.00                   | 78.00            | 1              | 78.00            | 0.84                              |
| New T. Gas (1995)      | T   | 125.00                  | 117.50           | 1              | 117.50           | 0.84                              |
| Total                  |     |                         | 1,795.03         | 78             |                  |                                   |

## 第7章 給電指令業務と保護継電設備

## 第7章 給電指令業務と保護継電設備

### 目 次

|                          | 頁    |
|--------------------------|------|
| 7.1 給電指令業務と電力系統運用 .....  | 7-1  |
| 7.1.1 SNIの現状 .....       | 7-1  |
| 7.1.2 給電指令業務の現状 .....    | 7-3  |
| 7.2 新給電指令設備と給電業務 .....   | 7-7  |
| 7.2.1 新給電指令設備 .....      | 7-7  |
| 7.2.2 給電設備における将来計画 ..... | 7-9  |
| 7.2.3 通信設備の現状と将来計画 ..... | 7-11 |
| 7.2.4 需要予想と発電計画 .....    | 7-14 |
| 7.2.5 事故時の復旧操作 .....     | 7-15 |
| 7.3 保護継電設備 .....         | 7-16 |
| 7.3.1 保護継電設備の現状 .....    | 7-16 |
| 7.3.2 保護継電方式 .....       | 7-19 |

### List of Figures

- Fig. 7-1 INECEL National Energy Control Center Central System
- Fig. 7-2 Protective Relay System
- Fig. 7-3 230 kV SNI Primary Protection
- Fig. 7-4 230 kV SNI Secondary Protection
- Fig. 7-5 230 kV SNI Secondary Protection Coordination
- Fig. 7-6 138 kV SNI Protection

### List of Tables

- Table 7-1 Number of Faults
- Table 7-2 Causes of Faults
- Table 7-3 Characteristics for Protective Relay System

## 第7章 給電指令業務と保護継電設備

### 7.1 給電指令業務と電力系統運用

給電指令業務は、電力系統を構成する発・変電所を監視しながら、時々刻々変動する電力系統を統一的、経済的に円滑運用する業務で、電力系統の運用業務と言い換える事が出来る。

また、電力系統の運用を大別すると、需給運用と系統運用の二つに分けられる。需給運用とは、時々刻々変動する電力需要に対して電力供給を確保し、バランスを取る事によって安定な周波数を維持し、水力や火力発電所の電源を効率的かつ経済的に組み合わせ運用することといえる。

一方、系統運用とは、発電所で発生した電力を消費地まで円滑に輸送するとともに、適正電圧を維持できるように送電・変電設備を制御し、電力系統を総合的、経済的に運用することで、このために給電指令組織が形成され、給電所と発・変電所間の専用電話回線や各種給電情報の伝送授受が必要となる。

なお、電力系統を運用するうえで、主幹電力系統である230kVおよび138kV送電線の保護設備は重要な意味を持つ。

特に、230kV系統は、Loop-inを前提に保護継電方式が確立されており、また送電線事故時の復旧操作は、供給信頼度（停電時間の短縮）に関係する。

#### 7.1.1 SNIの現状

##### (1) 電力系統構成

SNIに含まれる総発電設備出力は、1993年1月現在 2,278.2MWで、このうち水力は 1,470.1MW、火力は808.1MWである。

SNIは、230kV 2回線、総延長 820kmでループ状に構成されており、この230kV主系統に138kV、69kV送電系統が放射状に接続されている。

SNIの主要電源は、Paute水力発電所(1,075MW)であり、総設備出力の47%を占める。

SNIに接続される発電端総需要は、1992年末において 1,372MW、年間発電々力量は7,002GWhを記録した。

1992年におけるPaute水力発電所の最大発電は851MW、年間発生電力量は



3, 295GWhであるので、SNIの中に占める比率は、それぞれ62%及び47%である。

火力発電設備は、INECELが所有するEstero Salado (73MW×2)およびEsmeraldas(132.5MW)がスチーム火力発電設備として大きな比率を占めるが、現状では、予備力として休止する場合が多い。しかし、水力の供給力が落ちる渇水期には、電源としてSNIに並列される。

ガスタービンやディーゼル発電設備は、非常用電源として位置づけられているが、同時に電力系統の電圧を保持するための無効電力設備としての役割も分担している。

一方、230kVおよび138kV送電線は、方向比較のキャリアリレーが採用されており、230kV系統は単相および3相再閉路可能となっているが、現状では再閉路装置はロックされており、送電線事故時には3相遮断が行われている。

なお、SNIに接続されている地方電力会社は、EMBLBCおよびBBQを含めて合計19社ある。

## (2) 周波数制御

電力系統の周波数は、電力の供給力と需要のバランスで安定するが、現状のエクアドルでは、短周期で供給力のバランスを大きく崩す大容量変動負荷が少ないので、水力発電所のガバナーフリー運転により、周波数の変動要因を吸収し、比較的安定した状況にあるが、将来的には、次の点からAPC装置などを設置してさらに変動幅を小さくすることが望ましい。

- (a) 経済的發展に伴い、各種工業製品が国内生産されることが予想されるため、電動機の回転ムラを少なくし、製品品質の均一化を図る。
- (b) 電気時計、電子機器等がさらに広範に使用されることが予想されるため、これらの機器の精度維持を図る。
- (c) 系統電圧の維持と、系統安定度の向上を図る。
- (d) SNIの潮流の安定化を図る。

周波数の許容偏差は、上記の必要性と周波数調整能力との関係から決まってくるが、日本では±0.1Hzを一応の目標値としている。

### (3) 電圧・無効電力制御

電気機器には、機器それぞれに定格電圧があり、定格電圧で使用することは、機器の効率上、また寿命の上でも重要なことである。

また、電力系統においても電圧・無効電力制御は、電力系統内の機器の正常な運用、送電損失の軽減、系統の安定度維持などの重要な役割を担っている。

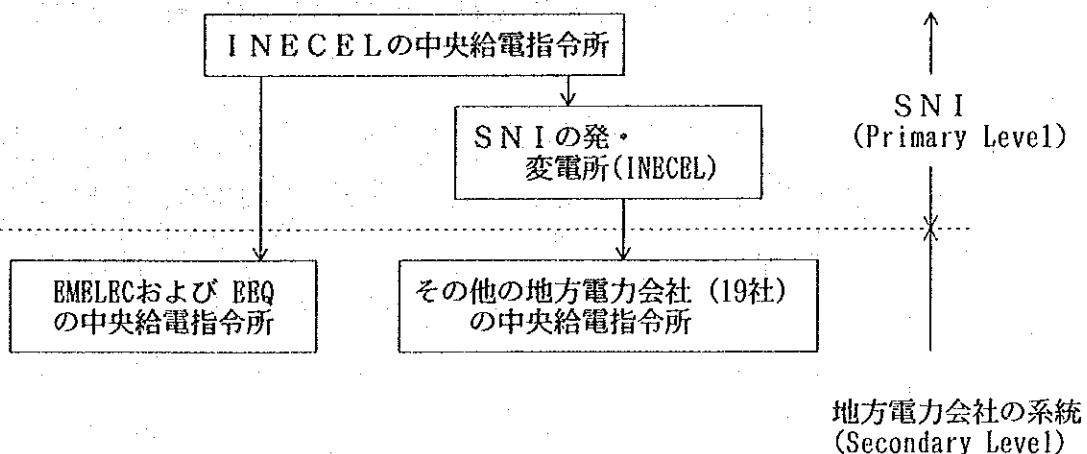
一方、エクアドルにおけるSNIの電圧・無効電力制御の現状は、水力発電所の発電機による制御、主要変電所の調相用コンデンサ、分路リアクトル並びに主要変圧器の負荷時タップ切換器、Santa Rosaのガスタービン発電機による調相機運転制御等と適正電圧の維持にかなりの努力がうかがえるが、供給電源の偏在化に加え、調相設備容量の不足、給電所での全国連系系統の電圧監視の困難さなどから、必ずしも適正電圧に維持されていないケースもあり、今後の改善が望まれる。

なお、日本における電圧偏差の許容範囲は、需要端において $101V \pm 6V$ および $202V \pm 20V$ と電気事業法に定められているが、エクアドルにおいても電圧偏差の許容範囲を設定し、良質な電気の供給を心掛けることが肝要である。

#### 7.1.2 給電指令業務の現状

電力系統を円滑に運用するためには、関連する電力系統内の各電気所を組織的、統一的に運用を行う給電指令組織が必要であり、このためには電力系統全体の状況を的確に把握するための情報を給電指令組織に集約する必要がある。

1993年3月現在におけるSNIの現状の給電指令業務の組織図は、次の如くなっている。



すなわち、大電力需要地である Guayaquil と Quito に対しては、INECEL の中央給電指令所から直接給電指令業務を行い、その他の地方電力会社への給電指令業務は、連系する INECEL の発・変電所の給電指令ユニット (Operative Unit) をとおして地方電力会社の給電指令所にその内容が伝達されている。

#### (1) 給電設備の現状

エクアドルにおける 1993 年 3 月時点での給電指令組織は、SNI を組織的、統一的に運用するために、Santa Rosa 変電所構内に中央給電指令所が設置されているが、給電設備面から見るとその設備は、電力線搬送を利用した電話回線のための給電所で、テレメーター、しゃ断器等の状態表示 (On 又は Off) 情報は全く伝送されていない。

一方、給電記録等の運用情報は、各電気所より電話で約 25 分程かけて聴取し、給電所に設置しているパーソナルコンピューターに運転員が手動入力して管理、保管している。

また、給電指令業務に重要な役割を担う電話については、給電専用の直通電話ではないため、事故発生電気所からの第一報を受けてから一般の電話を制限して対応しているのが現状であり、電話回線の混雑時、不通時には、事故発生の連絡が遅れ復旧操作等の給電指令業務に支障を及ぼす恐れがある。

#### (2) 給電所の監視業務

給電指令組織は、電力系統の実体に合った適切な給電システムがあって初めて有効、迅速に機能させることができるが、本給電所においては、前述の通りシステム的な設備がないため、本来給電所で行うべき監視業務、有効電力の調整業務等一部の業務を電気所側に委任しており、異常気象時、事故時等における対応の遅れが懸念される。

給電所の業務は、電力系統を統一的、経済的に運用し、停電のない良質な電気を使用者に供給することであり、この使命は、経済的発展と電化率の向上に伴い益々重要度を持つことになる。

### (3) 需要変動と予想

一般に需要の変動には、季節的変動、一週間内の曜日変動、日間の周期的変動と冷暖房需要などの気象的変動、サッカー等スポーツ番組のテレビ放映などの社会的変動が考えられるが、エクアドルにおける現状の需要変動は、年間を通して外気温の変動が小さいこと、工場等の大口変動負荷が少ないことから、季節的変動、日間の周期的変動は小さく、需要予想に対する実績供給力のズレが少ないため、短期的には、ほぼ正確な需要想定がなされている。

なお、INCECLにおいては、SNIに接続されている地方電力会社の受電希望電力量を聴取し、翌日の発電計画を作成しており、地方電力会社の受電電力を監視し守らせることにより、供給力のバランスを保っている。

### (4) 事故時の復旧操作

SNIの事故が電力系統全体に及ぼす影響を考慮し、INCECLは次の3つの事故を最も重大な事故と位置づけている。

- (a) Paute 水力発電所のユニット事故
- (b) 230kV主幹送電線の事故
- (c) 2大電力消費地である GuayaquilおよびQuito市への電力を供給する EMELECおよびEBQ電力系統との連系点における事故

Paute水力発電所はフェーズCの完成により、設備出力は1,075MWとなったが、同時に230kV電力系統はPaute電源の偏在により、Paute水力発電所近傍での送電線事故やユニット事故により、全系統が壊滅するという弱点を持っている。

したがって、全電力系統の壊滅を避けるために周波数継電器による7ステップの負荷しゃ断が考慮されている。(5.4.1 参照)

電力系統事故時の復旧の基本的な考方および順序は、つぎの如くなっている。

- (a) 単独系統となって、電圧が残っている系統は電圧調整を行うこと。
- (b) 電力系統が全停となった系統は、SNIの連系点のしゃ断器を開放するとともに、自系統内の発電設備を起動させ電力系統の復旧を計る。

- (c) BMBLBC電力系統を中心とする南部電力系統は、BMBLBCの発電設備と INECBLの Estero Salado (73MW×2台) のスチーム火力発電所を中心に電力系統を復旧させる。
- (d) BEQを中心とした北部電力系統は、BEQの発電設備と INECBLのPisayambo水力発電所 (34.6MW×2) およびAgoyán水力発電所 (78MW×2) を中心に230kV系統を除く電力系統を復旧する。
- (e) 230kV電力系統の復旧は、Paute水力発電所(C)から南部電力系統に1回線充電を行い、南部電力系統との連系を終了後Santa Rosa変電所までの充電を実施して北部電力系統の復旧を行う。
- なお、南北両電力系統の並列は、Santa Rosa変電所で行う。
- (f) 南部および北部電力系統が230kV連系送電線をとおして連系されたことが確認された後、残りの地方電力系統を順次復旧するものとする。
- (g) 最後に230kV送電線の2回線目をPaute発電所側から充電し、正常な電力系統に復旧する。

## 7.2 新給電指令設備と給電業務

電力システムを運用するための給電組織は、中央給電指令所を頂点とした階層構造となるが、各層の給電所はそれぞれの機能に応じた運用業務を、系統一貫性の観点から相互に緊密な連系を保ちつつ、迅速かつ円滑に遂行する必要がある。

したがって、給電情報の迅速・正確な伝送方式の採用と各種情報の自動処理のための電子計算機システムの導入が不可欠となる。

### 7.2.1 新給電指令設備

新給電システムは、次の事項を考慮して設計することが望ましい。

- (a) 系統監視機能の高度化を目的として、系統監視状態の的確かつ迅速な把握を計るため、各種データの高速かつ大量伝送を指向する。
- (b) 電力システムの拡大に伴う給電運用業務の増大、複雑化を吸収し、定型的単純業務の自動化を計るために必要な十分な処理能力を有した計算機システムを導入する。
- (c) 運用者の技能向上と熟練度維持のため、シミュレーション機能を考慮したシステムとする。

Fig. 7-1 に INECBL の新設給電システムを示す。

#### (1) 新給電システムの機能

新給電所の計算機システムとして、以下の機能が望まれる。

##### (a) 監視業務

###### 1) 需給監視

需給バランスの確保、規定周波数および規定時差の維持並びに発電所出力の経済的分担を行うために、系統周波数、連系線の電力および電力量偏差（予想値との差）並びに、発電所の調整余力等を短時間周期で自動監視し、予め設定した監視目標値を逸脱した場合に警報する機能。

###### 2) 電圧監視

規定電圧の維持、無効電力の適正配分を行うために、SNI の発・変電所の母線電圧と無効電力潮流および、電圧・無効電力調整器の調整余力を常時監視する機能。

### 3) 信頼度監視

事故に発展すると予想される系統状況の変化に対する適切な対応と、事故時の迅速かつ適切な復旧措置を行うために、SNIの運用目標潮流の監視と、全系およびブロック単位の運転予備力監視、しゃ断器の状態変化、周波数および連系線電力潮流の異常変化監視を行い、事故発生を検出する機能。

#### (b) 計画業務

国内の経済状況、気象状況等からの確かな需要予測を行い、水力、火力発電所の経済的な運用計画を演算、作成する機能。

#### (c) 記録、統計業務

オンラインで収集した給電運用データを、定められた様式に整理し、製表・印字する機能。

#### (d) 運用者の教育、訓練

計算機システムを二重化し、デュプレックス（2台の計算機をオンライン機とスタンバイ機とに分けて運転する方式）方式で運用する場合、スタンバイ機を利用し、事故復旧または、事故に発展する可能性のある系統情報を模擬入力して運用者の教育、訓練を行うことのできるシミュレーション機能。

## (2) 情報伝送システム

INBCELの新給電システムとして現在計画中の情報伝送システムは、発・変電所等の子側にデータロガー的な端末装置を設置し、この装置と中央給電指令所の計算機とをモデム（変復調器）で結合する方式であり、この方式は定周期伝送と随時割り込み伝送の併用が可能であるが、定周期伝送の時間間隔を短くする（伝送回数を増やす）と装置に負担がかかりすぎ、他の処理に支障を及ぼすため、必然的に伝送回数が制約され、連続的に変化する周波数などのテレメータの伝送用としては適用困難である。従って、系統周波数、連系線潮流、系統電圧などの運用値を記録計または、指示計器に常時指示させるとともに、計算機システムによるきめ細かな運用監視を行うためには、常時伝送が可能なCDT（サイクルティック デジタル トランスミッター）等の情報伝送システムの採用が必要である。

### (3) 給電専用電話

給電指令業務は、時々刻々と変動する電力系統を組織的、統一的に運用するための統率業務であり、どのような状況下にあっても指令、連絡ができることが原則である。特に、電話回線の使用が輻輳する異常気象時、系統事故時等緊急時には、給電指令も頻繁に行われるのが通例であり、電話の不通による指令業務の停滞、遅れは供給信頼度の低下につながる恐れもあり、直接指令する発・変電所並びに地方給電指令所間の直通給電専用電話の設置は不可欠である。

## 7.2.2 給電設備における将来計画

### (1) 給電設備

給電設備とは、一般的に次の装置で構成された設備を言う。

- 給電盤又は、監視盤

給電所において、電力系統の現状を把握するために、電力系統の接続状態・需給状況及び気象状況などを表示した盤。

- 給電指令台

関係箇所に対する電話、CRT表示装置及び諸制御スイッチ類など給電指令と系統監視に必要な装置を収めた机。

- 自動給電システム

電子計算機などを用いて給電業務を分担し、処理するシステムの総称。

- 負荷周波数制御装置

電力系統の周波数調整のために、自動的に周波数調整発電所の発電力を調整する装置。

- テレメータ

電力、電圧、ダム水位などの計測値を電気信号に変換して通信回線により遠隔地に伝送し、受信側で計測指示、あるいは記録処理を行う装置。

- スーパービジョン

しゃ断器の開閉状態などの2値情報を通信回線により遠隔地に伝送し、受信側で表示する装置で、通常は給電盤に組み込まれる。

- サイクリック・デジタル情報伝送装置

1発電所等の多数の情報をデジタル信号に変換し、これをある定まった順序



に配列して一定周期で繰り返し伝送する装置。(CDT装置)

- 遠隔監視制御装置  
発・変電所、開閉所を通信回線を介して遠隔地から監視制御するための装置。
- 電力系統訓練シミュレータ  
電子計算機などを用いて電力系統を模擬し、電力系統運用者を訓練する装置。
- CRT表示装置  
計算機入出力装置の一種で、計算からの情報をブラウン管上に表示したり、逆に計算機へデータを入力したりするための装置。
- その他装置  
ファクシミリ、気象観測システムなど。  
上記各装置について、94年に運用を開始する予定の新給電指令所自動給電システム (Fig. 7-1 参照) を念頭において、将来さらに巨大化・複雑化が予想される電力系統の円滑な運用を行うために必要な給電設備について検討することとした。

(a) 給電盤 (テレメータ、スーパービジョンを含む。)

給電盤は、電力系統の状況をマクロ的に監視することを目的に設置され、電子計算機に何らかの異常が発生し、停止しても給電盤での監視で最低限の給電運用が可能に構成している。このことは、情報伝送装置で受信した監視情報を、給電盤用と計算機用に分岐し、配信する必要があり、今回運転開始する通信方式 (MODEM方式) では実現困難であり、給電運用の信頼度低下にもつながるため、将来的には、情報伝送方式の変更とテレメータ及びスーパービジョンを取り込んだ給電盤の設置を推奨する。

(b) 給電指令台

給電指令台には、最低限給電所並びに発・変電所に1対1で対応するワンタッチ方式の給電専用電話を設け、事故時等の緊急時には迅速な給電対応を行い、電力系統運用の信頼度向上を図るべきである。このことは、7-2-3項でも述べるが、エクアドルにおける現状の通信方式では、回線の確保が困難である。

(c) 負荷周波数制御装置

通常の電力系統では、中央給電指令所に全電力系統を対象とした負荷周波数制御装置を設置し、事故等で電力系統が分離した場合には、単独系統となった発電

所で単独負荷周波数制御装置又はガバナーフリーで周波数調整を行う。

SNIでも、中央給電指令所の計算機で負荷周波数制御を行い、全系統の適正周波数の維持と時差の改善を心掛ける必要があるが、今回の自動給電システムの情報伝送方式では数秒単位での周期的制御信号の送信は困難である。

(d) サイクリック・デジタル情報伝送装置 (CDT)

今回の自動給電システムでは採用されていないが、将来給電盤の設置、中央給電指令所からの負荷周波数制御を行うならば、サイクリック・デジタル情報伝送装置の導入が必要となるが、新通信方式の採用が不可欠となる。

(e) 電力系統訓練シミュレータ

給電運用者の技術力向上のために有効であり、定期的に繰り返し行うことが必要である。

今回エクアドルで採用した自動給電システムは、通信回線数及び通信方式からくる制約から、給電情報の高速度・大量伝送ができないため、給電運用者からみると若干の不自由さは推察されるが、今後の電力系統の巨大化・複雑化に伴い、給電運用情報の高速度・大量伝送化は避けられないと思われるため、なるべく早い時期に、通信回線の確保・通信方式の改善による新情報伝送方式の採用が望まれる。

また、電子計算機を中心とした自動給電システムは、通常、電力系統の巨大化・複雑化に伴い、増大する給電運用情報に対する処理能力の低下と設備の老朽化、陳腐化等により10～15年周期で電子計算機とその周辺装置を更新し、円滑な給電運用を図る必要がある。

### 7.2.3 通信設備の現状と将来計画

現状におけるエクアドルの電力保安通信設備は、電力線搬送方式 (PLC) による回線のみで、マイクロ波通信などによる無線通信設備がないため、給電専用電話回線の確保、高速度常時伝送が可能な情報伝送回線の確保並びにINECBL本部等、企画・保守管理部門との社内電話回線の確保が出来ない状況にある。

電力事業用通信設備は巨大化、複雑化する電力系統を安定かつ経済的に運用するためには不可欠であり、将来的には、中央給電指令所に集中する情報も飛躍的に増加するとともに、系統信頼度確保のために保護継電方式をマイクロキャリア方式にするな

どの必要性が生じるものと思われ、マイクロ波無線網等の第二の通信方式の採用が絶対条件となることが予想される。

また、電力事業用通信設備を構成する要件としては、以下の項目を満足することが必要となる。

(a) 情報伝送回線の確保

監視、制御対象発・変電所ごとに、高速かつ大量常時伝送が可能な方式と、通信回線を構成する。

(b) 電話回線の確保

・ 給電指令用回線

給電指令組織に組み込まれた給電所、発・変電所ごとに専用回線を構成する。

・ 保守用電話回線

ダイヤル式社内電話回線を構成し、本店と保守機関、保守機関相互間等との連絡を密にし、業務の円滑化を計る。

・ 保守用移動通信回線

送電線保守、河川管理などのパトロール連絡用として、移動通信回線を構成する。

・ その他回線

発・変電所の構内対応、無人電気所のパトロール員の呼び出し用として、ページング回線を構成する。

(c) 系統保護用回線の確保

送電線の保護方式と送電回線数に応じたチャンネル数を確保する。

(d) 通信用電源装置の確保

電気所の事故で所内電源が喪失しても、通信設備は機能することが必要なので、専用の電源装置を設置する。

(1) 通信方式の種類

(a) 電力線搬送方式 (PLC)

送電線を伝送路として使用することから、風水害に対しては安定しており、送電線は必ず発変電所・開閉所を経由していることから、発変電所、開閉所間の通

通信方式としては有効な方式であるが、送電線の経由していない本部建屋等との通信は出来ない。通信回線数が最大12回線程度しかとれないなどの問題がある。

(b) 通信線搬送方式、通信ケーブル方式

通信専用ケーブルを布設する方式であり、架空線方式と地中線方式がある。電磁誘導や雑音の影響を受けやすく、道路沿いなどの電柱に布設されるため災害に弱いが建設コストは安い。

比較的短距離の通信方式として採用される。

(c) マイクロ波無線方式

信頼度が高く、山岳地帯や海上など有線では不可能なルートでも布設でき、回線容量もアナログ方式では一般的に60~960チャンネルを確保可能で、伝送距離も50km程度まで無中継で伝送が可能である。

一方、建設コストは、他の通信方式に比べ高額となるが、回線容量が大きいいためチャンネル当たりのコストは安くなる。

(d) 光ファイバー通信方式

光ファイバー通信は、従来の通信ケーブルに比べ無誘導、低損失、広伝送帯域などの多くの優れた特徴を持っており、高信頼度の確保と大容量伝送に適した方式である。電力用としては、送電線ルートを利用して架空地線芯部に光ファイバーを挿入した光ファイバー複合架空地線が採用されつつあり、これからの高速度、高信頼度通信方式の主流となるものと思われる。

(2) 将来計画として推奨する通信方式

エクアドルは国の中央部にアンデス山脈が南北に走り、東部のアマゾン源流部の大規模電源と、大規模電力消費地が離れているため、長距離伝送が可能で、急峻な山岳地帯にも適用可能なマイクロ波無線通信方式を採用し、既設のPLC方式と併用することを推奨する。

#### 7.2.4 需要予想と発電計画

短期需要予想は、最終的には一日単位であり、そこに至るには一般的に次の手順が考えられる。

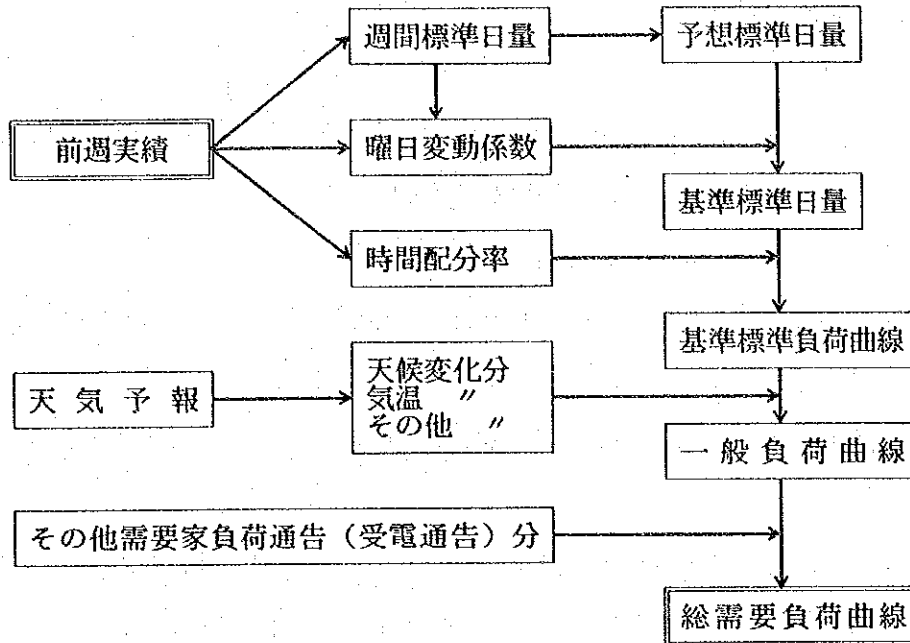
- ① 年間需要計画（年度供給力計画）
- ② 下期需要予想（年間需要計画の見直し）
- ③ 月間需要予想
- ④ 週間需要予想
- ⑤ 翌日需要予想

年間需要計画は、年間停止計画・貯水池運用計画・火力発電所の燃料供給計画等その年の主要計画を策定するために重要であり、下期需要予想は上期の経済動向、需要実績、気象実績などから年間需要計画を見直したものである。

また、月間需要予想、週間需要予想はそれぞれ年間需要計画で策定された年間停止計画、貯水池運用計画、燃料供給計画の方針に沿いながら、前々月、前月等の実績を加味して修正した実運用に則した計画であり、これにより翌日の需要予想が立案され、発電計画が決められる。

なお、一般的な翌日需要の予想方法は、次図の通りであるが、翌日予想を作成するうえで気象状況による変動要因が重要となり、天気予報に細心の注意を払う必要がある。

(翌日予想方法例)



### 7.2.5 事故時の復旧操作

新給電システムが導入され、各種給電情報がオンラインで処理出来るようになって、基本的な事故復旧方針は、現状の方針と変わらないが、新システムの自動監視機能を十分に活用し、監視警報が発生した場合には、送電線潮流や電圧を調整して系統事故の未然防止を図るとともに、主要電源送電線の事故対策として、事故の拡大防止を図るため、火力発電所などの都市近傍電源による適正な瞬動予備力を確保することが必要である。

また、事故復旧は、自主操作（中央給電指令所の指令を待たずに、電気所が責任を持って行う操作）により事故発生前の系統状態に復旧することを原則として、予め電気所で行う操作の範囲を定め、事故復旧の迅速化を計ることも有効である。

電気所側に委任する操作の範囲としては、次の項目が想定される。

- (a) 送電線の片端開放事故時（無負荷充電状態）における開放しゃ断器の併用操作
- (b) 送電線事故時（再閉路失敗時）の第一回目の再送電操作（再送電失敗の場合は直ちに中央給電指令所に報告し、以降の操作は給電指令とする。）

また、受電端では健全電圧を確認し、送電線の併用操作を行う。

- (c) 全停時事故時における未開放しゃ断器の開放操作
- (d) 事故拡大防止のための緊急操作

## 7.3 保護継電設備

### 7.3.1 保護継電設備の現状

#### (1) 230kV送電系統

230kV送電系統の保護継電設備は、発電所または変電所間を結ぶ送電線の両端に設けられており系統構成より平行2回線が6区間(24端子)、 $\pi$ 構成区間が1区間(6端子)の計7区間で設備総数30端子である。

保護継電方式は、電力線搬送を使用した方向比較継電方式を採用し、系統再閉路装置を有している。

保護継電設備の製作者は、GBC社製：26台、ABB社製：2台、GB社製：2台である。

このうち、Totoras-Paute間と $\pi$ 構成のRiobamba変電所間では、対応する保護継電装置の製作者がそれぞれTotoras [GBC社製] -Paute [ABB社製]、Totoras [GBC社製] -Riobamba [GB社製]、Riobamba [GB社製] -Paute [ABB社製] と相違している。

#### (2) 138kV送電系統

138kV送電系統の保護継電設備は、発電所または変電所間を結ぶ送電線の両端に設けられており系統構成より平行2回線が8区間(32端子)、1回線区間が11区間(22端子)の計19区間であるが以下の4区間(6端子)には保護継電設備が設けられていない、若しくは不明となっており設備総数は48端子である。

保護継電設備のない3区間は、Milagro-Babahoyo間(Babahoyo：1端)、Pascuales-Posorja間(Posorja：1端)、S.Rosa-Selva Alegre間(Selva Alegre：2端)の4端子である。

保護継電設備は、主に距離継電方式が採用され一部には方向比較継電方式や過電流継電方式も使用されている。

保護継電設備の製作者は、GBC社製：14台、GB社製：18台、MITSUBISHI社製：16台である。

このうち、保護継電装置の製作者が違う組合せは、平行2回線区間で5区間(片端装置なし含む)、1回線区間で3区間あり以下のとおりである。

平行2回線区間（5区間）

|               |                              |                |
|---------------|------------------------------|----------------|
| (a) Pascuales | [GB社製] -Salitral             | [MITSUBISHI社製] |
| (b) Pascuales | [GB社製] -Policentro           | [GBC社製]        |
| (c) Quevedo   | [MITSUBISHI社製] -Portoviejo   | [GBC社製]        |
| (d) S. Rosa   | [MITSUBISHI社製] -Selva Alegre | [不明]           |
| (e) Totoras   | [MITSUBISHI社製] -Agoyan       | [GBC社製]        |

1回線区間（3区間）

|               |                           |         |
|---------------|---------------------------|---------|
| (a) Pascuales | [MITSUBISHI社製] -Posorja   | [なし]    |
| (b) S. Rosa   | [MITSUBISHI社製] -Vicentina | [GB社製]  |
| (c) Ambato    | [GB社製] -Totoras           | [GBC社製] |

(3) S N I の事故統計

(a) 系統事故件数の推移

S N I の事故統計（1991年及び1992年）における事故件数を Table 7-1 に示す。

事故件数は、1991年から1992年では119件から175件（前年比47%）と増加し、負荷遮断を伴った事故件数は、1991年から1992年では77件から87件（前年比12%）に増加している。

この系統事故件数の要因または原因別詳細は、Table 7-2 に示すように14項目に分類されている。

- すなわち、
- 1) 保護継電器によるもの
  - 2) 制御方式によるもの
  - 3) 継電器の整定によるもの
  - 4) 主保護によるもの
  - 5) 機械的トラブルによるもの
  - 6) 送電線下の植生によるもの
  - 7) 絶縁距離によるもの
  - 8) 天候条件によるもの
  - 9) 干害によるもの
  - 10) 電力動揺によるもの
  - 11) サボタージュによるもの
  - 12) 人間的ミスによるもの
  - 13) その他の要因によるもの
  - 14) 報告なし

である。



次に系統事故の傾向を述べる。

(b) 系統事故に占める送電線事故件数

系統事故のうち送電線事故は、230kV送電線が1991年15件から1992年35件（前年比38%）と増加し、138kV送電線では1991年47件から1992年59件（前年比25%）と増加している。

送電線事故が系統事故全体に占める割合は、1991年は119件中62件で全体の52%、1992年は175件中94件で全体の53.71%となっており、送電線事故の全体に占める割合が大きい。

(c) 保護継電設備関連事故件数

送電線事故のうち保護継電設備に起因する事故は、上記原因分類14項目のうち1)～4)であり1991年は230kV送電線で0件、138kV送電線で1件発生しているが原因は、3)「継電器の整定によるもの」である。

また、1992年は230kV送電線で0件、138kV送電線で8件発生しているが、原因は、1)「保護継電器によるもの」が6件、同一区間（STO. Domingo-Remeraldas）で発生している。

残り2件の原因は、4)「主保護によるもの」でこれも同一区間（Pascuales-Policentro）で発生している。

(d) 系統事故統計からの考察

1) 系統事故現象の把握

系統事故統計では事故原因を分類して統計がとられているものの系統事故の現象については統計がとられていない。

このため、系統事故の現象を事故前・事故時の電圧・電流・保護継電器の要素等で記録ができる系統自動記録装置(OSC)等を利用して系統事故現象の把握に努めることが大切である。

系統事故の現象を把握することで保護継電設備の設備評価や送電線等の電力設備の事故防止に利用する事も可能となる。

## 2) 保護継電設備事故の再発防止対策

SNIの系統事故のうち保護継電設備に起因する事故件数は、前記(c)の通り少ないが事故原因として「保護継電器によるもの」や「主保護によるもの」が同一区間で多発している。

事故原因の詳細は不明であるが、保護継電設備の不具合による事故が多発していることから保護継電器の事故原因を調査し、類似事故の再発防止対策を施す必要がある。

## 3) 保護継電設備の保守管理

保護継電設備は、電力系統の事故除去や系統の安定度の維持等の目的に設置されている。

保護継電設備の不具合や運用整定値管理の不備によりその責務が果たせない場合には、電力系統に与える影響は大きい。

そのため、日常巡視により保護継電設備の運用状況を把握することや、定期的に保護継電器の動作特性試験、シーケンス試験などを行い保護継電設備の機能確認、機能維持に務め、保護継電設備の不具合による事故を未然に防ぐことが重要である。

### 7.3.2 保護継電方式

#### (1) 保護装置の回路構成

SNIの代表的な保護継電設備の回路構成を Fig. 7-2 に示す。

(a) 230kV送電系統では、主保護・後備保護とも計器用変成器を含め独立した回路を構成している。(但し、一部には主保護回路の構成で計器用変流器 (CT) 回路が遮断器のLINE側となっており保護上盲点となることがある。)

(b) 138kV送電系統では、大別して二つの構成となっており一つは、(a)と同様の回路構成となっている。また、もう一つの回路構成は主保護のみとなっている。

#### (2) 保護継電方式

(a) 230kV送電線系統では、主保護に方向比較継電方式、後備保護に距離継電方式が採用されている。