

5.2 Análisis Estructural por FEM

El Análisis Estructural para los tres túneles, (1) Daule-Peripa - La Esperanza, (2) La Esperanza - Poza Honda y (3) Poza Honda - Mancha Grande fue efectuado valiéndose del Método de Elementos Finitos (FEM).

(1) Túnel de Derivación Daule-Peripa - La Esperanza

(A) Procedimiento de Análisis

El procedimiento de análisis está compuesto de 2 pasos. El primer paso es un análisis del momento flexor, fuerza cortante y axial para actuar sobre el revestimiento primario que está conformado por hormigón lanzado y pernos de roca. El segundo paso es un análisis del máximo esfuerzo, mínimo esfuerzo, máximo esfuerzo cortante, etc., para que actúe sobre el revestimiento de hormigón. Basándose en este análisis, se determina el espesor del hormigón lanzado y la distribución de los pernos de roca como un revestimiento primario y el espesor del hormigón como revestimiento secundario.

(B) Condiciones del Análisis

El esfuerzo inicial en la ruta de excavación propuesta del túnel se estima en base a la sobrecarga desde la superficie del suelo al techo del túnel. El esfuerzo inicial está clasificado en 3 casos, v.g., Casos A-1, A-2 y A-3 como se muestra en la Figura 5.2.1 y la Tabla 5.2.1.

Los valores de diseño de la roca de cimentación en la ruta propuesta del túnel de derivación Daule - Peripa - La Esperanza se muestran en la Tabla 5.2.1, y los valores de diseño del hormigón lanzado, pernos de roca y revestimiento de hormigón se muestran a continuación.

(i) Revestimiento Primario

- Hormigón lanzado

- Resistencia a la compresión de diseño : 210 kgf/cm²
- Resistencia al corte : 42 kgf/cm²
- Peso específico : 2,40 t/m³
- Módulo de elasticidad : 235.000 kgf/cm² (a 28 días de edad)
- Espesor : 10 cm o 15 cm

- Perno de roca (SD35,D25)

- Resistencia a la tensión : 17,6 t/m²
- Area de la sección transversal : 5,067 cm²
- Módulo de elasticidad : 2'100.000 kgk/cm²
- Longitud : 2 m

(ii) Revestimiento Secundario

- Revestimiento de hormigón

- Resistencia a la compresión de diseño : 210 kgf/cm²
- Peso específico : 2,40 t/m³
- Módulo de elasticidad : 235.000 kgf/cm²
- Relación de Poisson : 0,20
- Espesor : 30 cm

La sección transversal típica del túnel se muestra en la Figura 5.2.2.

(C) Análisis Estructural

El análisis estructural del túnel se llevó a cabo mediante FEM. El ingreso de datos de la malla se realizó para el análisis, como se muestra en la Figura 5.2.5 La roca se considera que es un material viscoelástico.

(D) Resultados del Análisis

Los resultados del análisis estructural del túnel se describen a continuación

(i) Caso A-1: Sobrecarga 60m (700m de longitud, 8% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

Esfuerzo resultante en el hormigón lanzado (espesor de 10 cm) es menor al 50% del permisible del hormigón lanzado transcurrido 12 meses después de la excavación del túnel. La fuerza axial que actúa sobre los pernos de roca es menor que el 50% de la resistencia a la tensión permisible del mismo (referirse a la Tabla 5.2.3)

El incremento de esfuerzo a la compresión y fuerza de tensión las cuales actúan sobre el hormigón lanzado y los pernos de roca transcurridos 12 meses de la construcción del túnel se muestra en la Figura. 5.2.7

Los esfuerzos resultantes en el hormigón lanzado (Caso A-1) inmediatamente hasta 12 meses después de la excavación del túnel se muestran en el Apéndice, Tabla 5.2.3.

- Revestimiento secundario

La resistencia máxima a la compresión, máxima tensión y máximo esfuerzo cortante los cuales actúan sobre el hormigón son menores que la resistencia permisible del hormigón (referirse a la Tabla 5.2.4).

(ii) Caso A-2: Sobrecarga 140 m (2.000m de longitud, 24% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

$\sqrt{f - \rho}$

El esfuerzo resultante en el hormigón lanzado de 10 cm de espesor es menor al 60% del permisible del hormigón transcurrido 12 meses de la excavación del túnel.

El incremento de la resistencia a la compresión y fuerza de tensión las cuales actúan sobre el hormigón lanzado y los pernos de roca se muestran en la Figura. 5.2.8.

- Revestimiento secundario

Los esfuerzos máximos a la compresión, a la tensión y al corte que actúan sobre el revestimiento de hormigón son $1,32 \text{ kgf/cm}^2$, $0,3 \text{ kgf/cm}^2$ y $6,4 \text{ kgf/cm}^2$, respectivamente. Estos valores muestran que el revestimiento de hormigón es seguro debido a que la resistencia del hormigón es mucho mayor que aquellos valores.

Varios esfuerzos actuando sobre el hormigón son inferiores que los esfuerzos permisibles (referirse a la Tabla 5.2.3)

(iii) Caso A-3: Sobrecarga 250m (4.800m de longitud, 58% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

El esfuerzo de compresión en el hormigón lanzado excede su resistencia a un tiempo de 4 o 5 meses después de la excavación del túnel. Por otra parte, la fuerza de tensión en los pernos de roca es alrededor del 95% de la permisible después de 12 meses de excavación del túnel (referirse a la Tabla 5.2.3)

El incremento de la resistencia a la compresión y fuerzas de tensión las cuales actúan sobre el hormigón lanzado y los pernos de roca se muestran la Figura. 5.2.9.

Los resultados del análisis sugieren que el revestimiento secundario debe colocarse 3 meses después de la excavación del túnel.

Ya que la longitud del túnel del Case A-3 es más de la mitad del total, el cronograma de construcción para este túnel debe prepararse de manera tal que el revestimiento del hormigón se inicie dentro de 3 meses después de iniciar la excavación del mismo.

- Revestimiento secundario

La resistencia máxima a la compresión es de $19,6 \text{ kgf/cm}^2$, el esfuerzo máximo de tensión es de $0,5 \text{ kgf/cm}^2$ y el máximo esfuerzo cortante es de $9,5 \text{ kgf/cm}^2$, como se ilustra en la Tabla 5.2.4. De estos esfuerzos, el esfuerzo máximo cortante está sobre el esfuerzo permisible ($8,5 \text{ kgf/cm}^2$), pero su acción está en una porción limitada y el promedio de esfuerzo máximo cortante es de $8,4 \text{ kgf/cm}^2$. Por lo que, básicamente, el revestimiento de hormigón puede diseñarse como hormigón sin refuerzos.

Los datos detallados obtenidos mediante el FEM se muestran en el Informe de Cálculos de Diseño.

El tipo de túnel a aplicarse para el túnel de derivación Daule - Peripa - La Esperanza se muestra en la Figura 5.2.13.

(2) Túnel de Derivación La Esperanza - Poza Honda

(A) Análisis Estructural del Túnel

El análisis estructural del túnel se realizó utilizando el método FEM de la misma manera que para el túnel de derivación Daule-Peripa-La Esperanza. Debido a que el diámetro del túnel de derivación La Esperanza-Poza Honda es de 3,50 m el cual es menor con solo 0,20 m que el túnel de Daule-Peripa-La Esperanza. De esta manera, el análisis estructural se hizo aplicando la misma malla de datos como se muestra en la Figura 5.2.5.

El procedimiento de análisis es completamente el mismo que para el túnel de derivación Daule-Peripa-La Esperanza.

(B) Condiciones de Análisis

Basándose en las condiciones topográficas y geológicas, el túnel fue clasificado en los 4 casos de análisis siguientes.

	Sobrecarga (m)	Longitud del Túnel (m)
Caso A-1	60	400 (4%)
Caso A-2	140	3.500 (31%)
Caso A-3	250	1.300 (11%)
Caso A-4	320	6.200 (54%)

(C) Análisis estructural

El análisis estructural del túnel se hizo mediante FEM aplicando las mismas mallas que el túnel de derivación Daule-Peripa-La Esperanza (referirse a la Figura 5.2.5).

(D) Valores de Diseño de la Roca de Cimentación

Los valores de diseño de la roca de la ruta propuesta del túnel de derivación La Esperanza-Poza Honda se muestran en la Tabla 5.2.1. Son comunes con los del túnel de derivación Daule-Peripa-La Esperanza

Los valores de diseño del hormigón lanzado, pernos de roca y revestimiento de hormigón son los mismos que para el túnel de derivación Daule-Peripa-La Esperanza.

La sección transversal típica del túnel se muestra en la Figura 5.2.3.

(E) Resultados del Análisis

5-11

Los resultados del análisis estructural del túnel se describen a continuación.

Los casos A-1, A-2 y A-3 son comunes con los del Túnel de Derivación Daule - Peripa ~ La Esperanza.

Caso A-4: Sobrecarga 320 m

- Revestimiento primario

Debido a que el esfuerzo resultante, el cual actúa sobre los 10 cm de hormigón lanzado excede la resistencia del hormigón lanzado, el espesor del hormigón lanzado se cambió a 15 cm y el análisis estructural se realizó con hormigón lanzado de 15 cm de espesor.

El incremento del esfuerzo de compresión y el esfuerzo de tensión, los cuales actúan en los pernos de roca se muestra en la Figura 5.2.10.

El esfuerzo resultante en el hormigón lanzado de 15 cm de espesor es del 97% y del 104% de las resistencias del hormigón lanzado a un intervalo de 2 meses y 3 meses después de la excavación del túnel, respectivamente (ver Tabla 5.2.3).

Por lo que, el revestimiento secundario debe hacerse dentro de 2,5 meses después de la excavación del túnel.

- Revestimiento secundario

El esfuerzo máximo de compresión, esfuerzo máximo de tensión y esfuerzo cortante máximo, los cuales actúan en el revestimiento del hormigón son menores que la resistencia del hormigón (ver Tabla 5.2.4).

El tipo de túnel a aplicarse para el túnel de derivación La Esperanza-Poza Honda se muestra en la Figura 5.2.13.

(3) Túnel de Derivación Poza Honda - Mancha Grande

(A) Análisis Estructural del Túnel

El análisis estructural del túnel fué desarrollado con el FEM de igual manera que los túneles de derivación antes mencionados.

(B) Condiciones de Análisis

El esfuerzo inicial en la ruta propuesta del túnel se estimó en base a la sobrecarga proveniente desde la superficie del suelo al techo del túnel. El esfuerzo inicial se clasifica en 2 casos tal como se muestra en la Figura 5.2.1, y la presión de sobrecarga se estima como se muestra en la Tabla 5.2.2.

Los valores de diseño de la roca base de la ruta propuesta del túnel de derivación Poza Honda - Mancha Grande se muestran en la Tabla 5.2.2.

Los valores de diseño del hormigón lanzado y de los pernos en roca como revestimiento primario y el revestimiento secundario de hormigón son completamente iguales a los otros túneles.

La sección transversal típica del túnel se muestra en la Figura 5.2.4.

(C) Análisis Estructural

El análisis estructural del túnel se llevó a cabo mediante FEM. Se elaboró una malla de entrada de datos. Estos se muestran en la Figura 5.2.6.

(D) Resultados del Análisis

Los resultados del análisis estructural del túnel se describen a continuación.

(i) Caso B-1: Sobrecarga 60m (593 m de longitud, 14% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

El esfuerzo de compresión en el hormigón lanzado de 10 cm de espesor es menor que el 36 % de la resistencia del hormigón lanzado de un periodo de 12 meses después de la excavación del túnel. La fuerza de tensión que actúa en los pernos de roca, es menor que el 28% de la resistencia del perno de roca.

El incremento del esfuerzo de compresión y de la fuerza de tensión que actúa en el hormigón lanzado y los pernos de roca desde inmediatamente después de la construcción del túnel hasta 12 meses se muestra en la Figura 5.2.11.

- Revestimiento secundario

El esfuerzo máximo de compresión, el esfuerzo máximo de tensión y el esfuerzo cortante máximo los cuales actúan en el hormigón son menores que la resistencia del hormigón (ver Tabla 5.2.4).

(ii) Caso B-2: Sobrecarga 300m (3.500 m de longitud, 86% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

El esfuerzo de compresión en el hormigón lanzado excede su resistencia en un lapso de 3 meses después de la construcción del túnel. Por otra parte, la fuerza de tensión en el perno de roca es del 96% de su resistencia en un lapso de 12 meses después de la construcción del túnel (ver Tabla 5.2.3 y la Figura 5.2.12).

Los valores de diseño de la roca base de la ruta propuesta del túnel de derivación Poza Honda - Mancha Grande se muestran en la Tabla 5.2.2.

Los valores de diseño del hormigón lanzado y de los pernos en roca como revestimiento primario y el revestimiento secundario de hormigón son completamente iguales a los otros túneles.

La sección transversal típica del túnel se muestra en la Figura 5.2.4.

(C) Análisis Estructural

El análisis estructural del túnel se llevó a cabo mediante FEM. Se elaboró una malla de entrada de datos. Estos se muestran en la Figura 5.2.6.

(D) Resultados del Análisis

Los resultados del análisis estructural del túnel se describen a continuación.

(i) Caso B-1: Sobrecarga 60m (593 m de longitud, 14% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

El esfuerzo de compresión en el hormigón lanzado de 10 cm de espesor es menor que el 36 % de la resistencia del hormigón lanzado de un período de 12 meses después de la excavación del túnel. La fuerza de tensión que actúa en los pernos de roca, es menor que el 28% de la resistencia del perno de roca.

El incremento del esfuerzo de compresión y de la fuerza de tensión que actúa en el hormigón lanzado y los pernos de roca desde inmediatamente después de la construcción del túnel hasta 12 meses se muestra en la Figura 5.2.11.

- Revestimiento secundario

El esfuerzo máximo de compresión, el esfuerzo máximo de tensión y el esfuerzo cortante máximo los cuales actúan en el hormigón son menores que la resistencia del hormigón (ver Tabla 5.2.4).

(ii) Caso B-2: Sobrecarga 300m (3.500 m de longitud, 86% de la longitud total del túnel)

- Revestimiento primario

El esfuerzo de compresión en el hormigón lanzado excede su resistencia en un lapso de 3 meses después de la construcción del túnel. Por otra parte, la fuerza de tensión en el perno de roca es del 96% de su resistencia en un lapso de 12 meses después de la construcción del túnel (ver Tabla 5.2.3 y la Figura 5.2.12).

Tabla 5.2.1 Valores de Diseño de la Roca
(Túneles de Derivación Daule - Peripa - La Esperanza
y La Esperanza Poza Honda).

		Caso A - 1	Caso A - 2	Caso A - 3	Caso A - 4
1.	Sobrecarga (m)	60	140	250	320
2.	Módulo de Elasticidad E (kgf/cm ²)	10.000	20.000	20.000	22.000
3.	Cohesión C (kgf/cm ²)	2,5	5,0	5,0	5,0
4.	Angulo de Fricción Interna (grados)	35	40	40	40
5.	Peso Especifico (t/m ³)	1,7	1,8	1,8	1,8
6.	Relación de Poisson	0,25	0,2	0,2	0,2
7.	Escurrecimiento Plástico				
	α	0,50	0,5	0,5	0,5
	β (5 días de carga)	0,016	0,033	0,033	0,036
8.	Esfuerzo Inicial				
a)	Vertical σ _y (t/m ²)	^v 102	^v 252	^v 450	^v 476
b)	Horizontal σ _x (t/m ²)	^v 71	^v 176	^v 315	^v 403
^v	σ _y = 1,7 t/m ³ x 60 m = 102 t/m ²				
^v	σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 102 t/m ² = 71 t/m ²				
^v	σ _y = 1,8 t/m ³ x 140 m = 252 t/m ²				
^v	σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 252 t/m ² = 176 t/m ²				
^v	σ _y = 1,8 t/m ³ x 250 m = 450 t/m ²				
^v	σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 450 t/m ² = 315 t/m ²				
^v	σ _y = 1,8 t/m ³ x 320 m = 576 t/m ²				
^v	σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 576 t/m ² = 403 t/m ²				

✓-✓

Tabla 5.2.2 Valores de Diseño de la Roca
(Túnel de Derivación Poza Honda - Mancha Grande).

		Caso B - 1	Caso B - 2
1.	Sobrecarga (m)	60	300
2.	Módulo de Elasticidad E (kgf/cm ²)	10.000	20.000
3.	Cohesión C (kgf/cm ²)	2,0	5,0
4.	Angulo de Fricción Interna (grados)	30	40
5.	Peso Específico (t/m ³)	1,8	2,0
6.	Relación de Poisson	0,25	0,2
7.	Escurrecimiento Plástico		
	α	0,50	0,5
	β (5 días de carga)	0,016	0,033
8.	Esfuerzo Inicial		
	a) Vertical σ _y (t/m ²)	^{1'} 108	^{2'} 600
	b) Horizontal σ _x (t/m ²)	^{1'} 76	^{2'} 420
	^{1'} σ _y = 1,8 t/m ³ x 60 m = 108 t/m ²		
	σ _x = σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 108 t/m ² = 76 t/m ²		
	^{2'} σ _y = 2,0 t/m ³ x 300 m = 600 t/m ²		
	σ _x = σ _x = λ · σ _y = 0,7 x 600 t/m ² = 420 t/m ²		

Tabla 5.2.3 Resumen de los Resultados del Análisis Estructural del Revestimiento Primario (1/2)

CASO A-1 (t=10cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el tunel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	33,9	0,030	35,7	satisfecho	3,4	satisfecho
1 mes después	46,5	0,043	49,1	satisfecho	4,3	satisfecho
2 meses después	57,5	0,054	60,8	satisfecho	4,8	satisfecho
3 meses después	64,4	0,062	68,1	satisfecho	5,2	satisfecho
6 meses después	72,8	0,071	77,0	satisfecho	5,5	satisfecho
12 meses después	75,3	0,073	79,7	satisfecho	5,6	satisfecho

CASO A-2 (t = 10 cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el tunel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	46,7	0,094	52,3	satisfecho	4,9	satisfecho
1 mes después	83,6	0,049	86,5	satisfecho	7,6	satisfecho
2 meses después	103,4	0,061	107,1	satisfecho	8,5	satisfecho
3 meses después	110,8	0,066	114,7	satisfecho	8,8	satisfecho
6 meses después	114,9	0,069	119,0	satisfecho	9,0	satisfecho
12 meses después	115,1	0,069	119,2	satisfecho	9,0	satisfecho

CASO A-3 (t = 10 cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el tunel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	83,4	0,167	93,4	satisfecho	8,8	satisfecho
1 mes después	149,2	0,088	154,5	satisfecho	13,6	satisfecho
2 meses después	184,6	0,110	191,2	satisfecho	15,2	satisfecho
3 meses después	197,8	0,118	204,9	satisfecho	15,8	satisfecho
6 meses después	205,2	0,123	212,5	no satisfecho	16,1	satisfecho
12 meses después	205,6	0,123	212,9	no satisfecho	16,1	satisfecho

Observaciones. N: Fuerza axial

M: Momento de flexión

s: Esfuerzo de compresión

Esfuerzo permisible: $s_a=210 \text{ kgf/cm}^2$ (hormigón lanzado)

Resistencia a la tensión=17.6 ton (pemo de roca)

5-17

Tabla 5.2.3 Resumen de los Resultados del Análisis Estructural del Revestimiento Primario (2/2)

CASO A-4 (t=15cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el túnel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	130,0	0,673	104,6	satisfecho	9,9	satisfecho
1 mes después	210,2	1,140	170,6	satisfecho	15,4	satisfecho
2 meses después	293,1	0,373	205,4	satisfecho	16,9	satisfecho
3 meses después	310,4	0,398	217,6	no satisfecho	17,5	satisfecho
6 meses después	318,9	0,411	223,6	no satisfecho	17,7	no satisfecho
12 meses después	319,3	0,411	223,8	no satisfecho	17,7	no satisfecho

CASO B-1 (t = 10 cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el túnel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	27,6	0,108	34,0	satisfecho	3,0	satisfecho
1 mes después	42,8	0,069	46,9	satisfecho	3,8	satisfecho
2 meses después	52,0	0,093	57,6	satisfecho	4,2	satisfecho
3 meses después	50,1	0,239	64,5	satisfecho	4,5	satisfecho
6 meses después	56,4	0,280	73,2	satisfecho	4,8	satisfecho
12 meses después	58,3	0,292	75,8	satisfecho	4,9	satisfecho

CASO B-2 (t = 15 cm)

Tiempo transcurrido después de abrir el túnel	Hormigón lanzado			Juicio	Anclajes	
	N (ton)	M (tm)	s (kgf/cm ²)		Fuerza de tensión (ton)	Juicio
Inmediatamente después	129,6	0,763	106,8	satisfecho	9,7	satisfecho
1 mes después	240,2	0,338	169,2	satisfecho	14,6	satisfecho
2 meses después	288,2	0,470	204,7	satisfecho	16,0	satisfecho
3 meses después	306,1	0,519	217,9	no satisfecho	16,6	satisfecho
6 meses después	316,1	0,546	225,3	no satisfecho	16,9	satisfecho
12 meses después	316,6	0,548	225,7	no satisfecho	16,9	satisfecho

Observaciones. N: Fuerza axial

M: Momento de flexión

s: Esfuerzo de compresión

Esfuerzo permisible: $s_a = 210 \text{ kgf/cm}^2$ (hormigón lanzado)

Resistencia a la tensión = 17.6 ton (perno de roca)

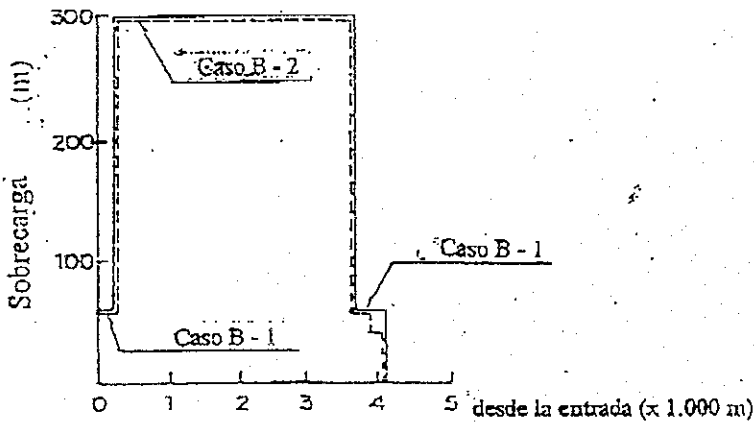
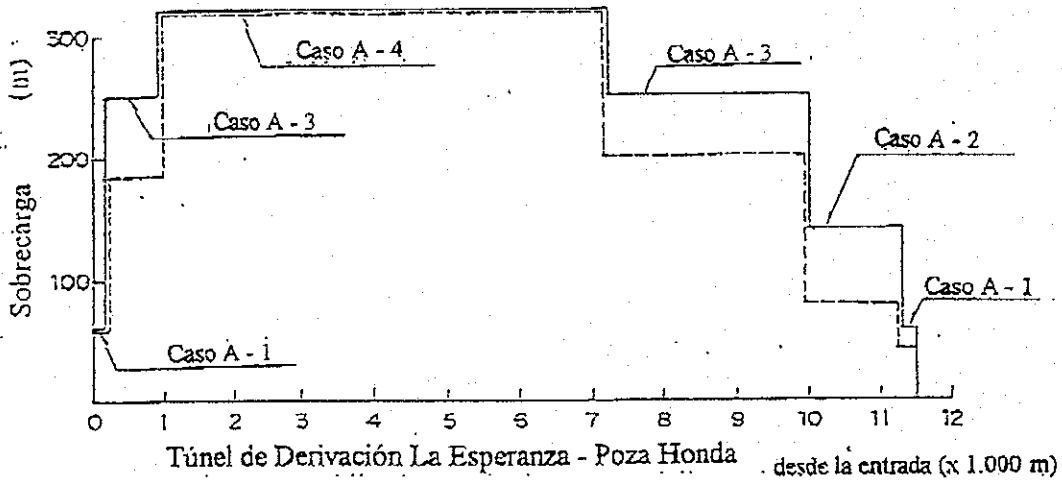
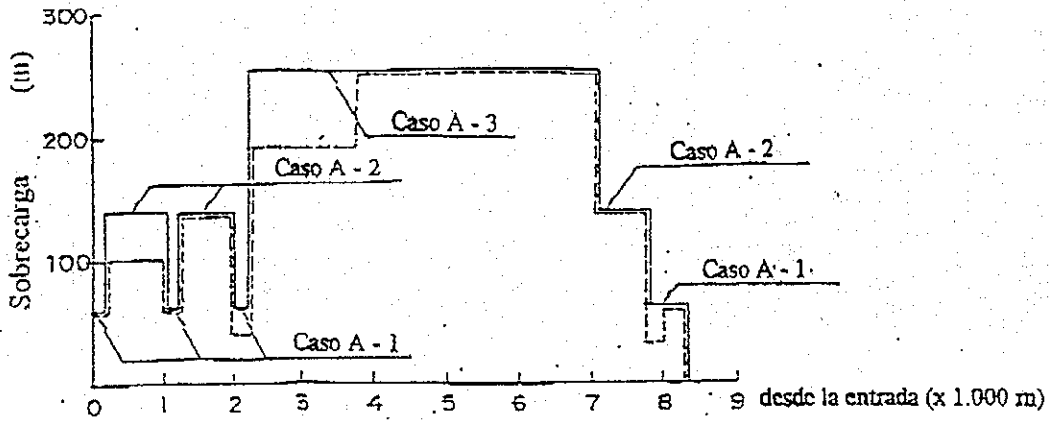
5-10

Tabla 5.2.4 Compresión Máxima, Tensión Máxima y Máximo Esfuerzo Cortante que actúa en el Revestimiento de Hormigón

Caso de Análisis	Máximo Esfuerzo de Compresión (kgf/cm ²)	Juicio	Máximo Esfuerzo de Tensión (kgf/cm ²)	Juicio	Máximo Esfuerzo Cortante (kgf/cm ²)		Juicio
					Parte Limitada	Promedio en la Sección	
Caso A-1	16,9	satisfecho	0,8	satisfecho	8,1	6,5	satisfecho
Caso A-2	13,2	satisfecho	0,3	satisfecho	6,4	5,3	satisfecho
Caso A-3	19,6	satisfecho	0,5	satisfecho	9,5	8,4	satisfecho
Caso A-4	19,5	satisfecho	0,4	satisfecho	9,4	8,4	satisfecho
Caso B-1	14,7	satisfecho	1,2	satisfecho	7,0	5,1	satisfecho
Caso B-2	20,1	satisfecho	0,7	satisfecho	9,6	8,0	satisfecho

5-19

FIGURA 5.2.1

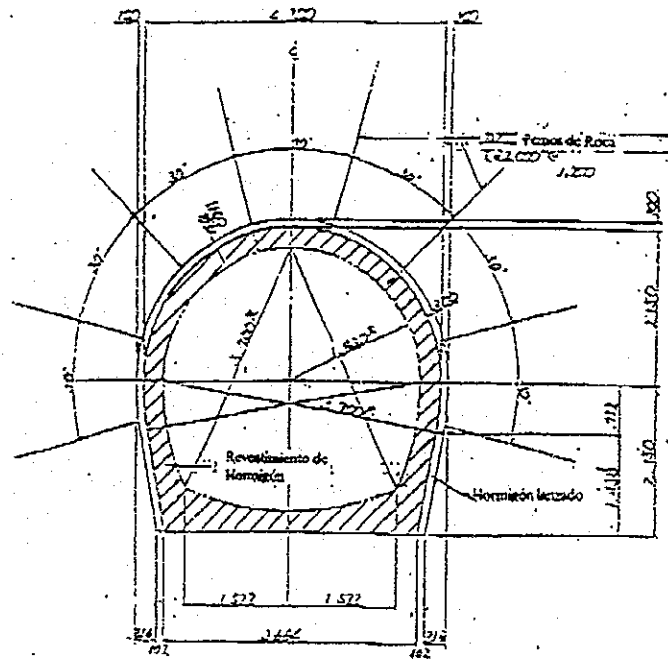


- La línea punteada muestra el promedio de sobrecarga
- La línea sólida muestra la sobrecarga aplicada para el análisis estructural de túnel

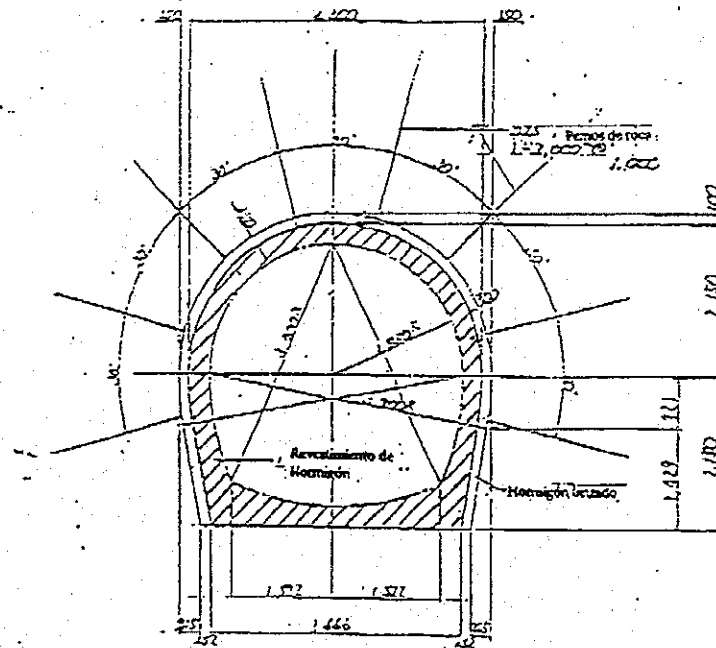
GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
CENTRO DE REHABILITACIÓN DE MANABI (CRM)
THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
Casos de Análisis Estructural del Túnel
en base a la Sobrecarga, Condiciones
Geológicas y Sección Transversal



Tipo II

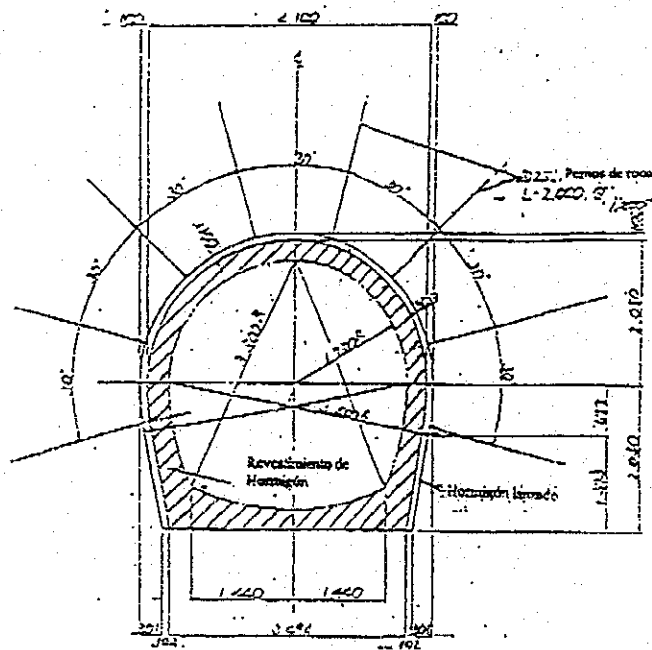


Tipo III

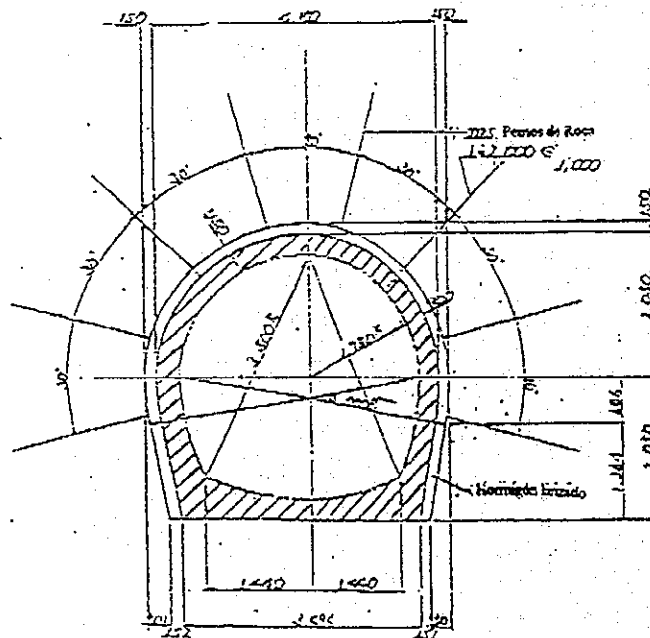
GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSFER
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE

Sección Transversal Típica, Tipos II y III
 (Túnel de Derivación Daule-Peripa-La Esperanza)



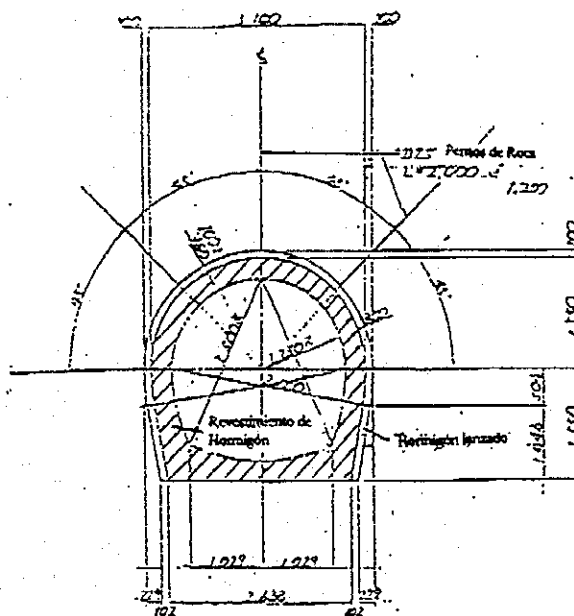
Tipo II



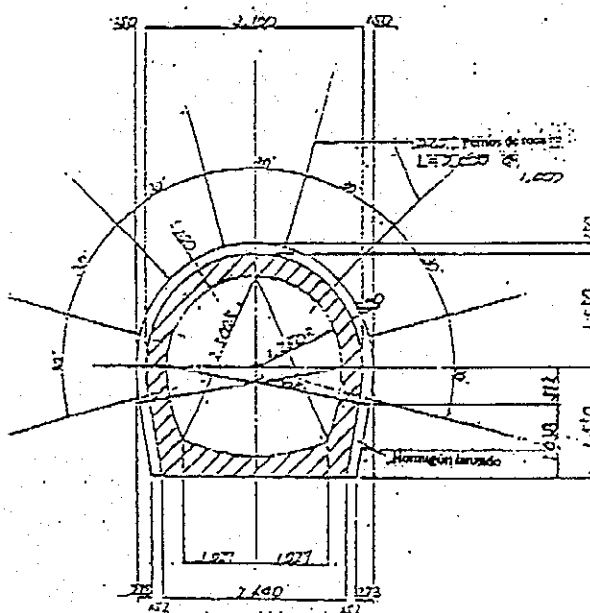
Tipo III

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Sección Transversal Típica, Tipos II y III
 (Túnel de Derivación La Esperanza-Poza Honda)



Tipo II



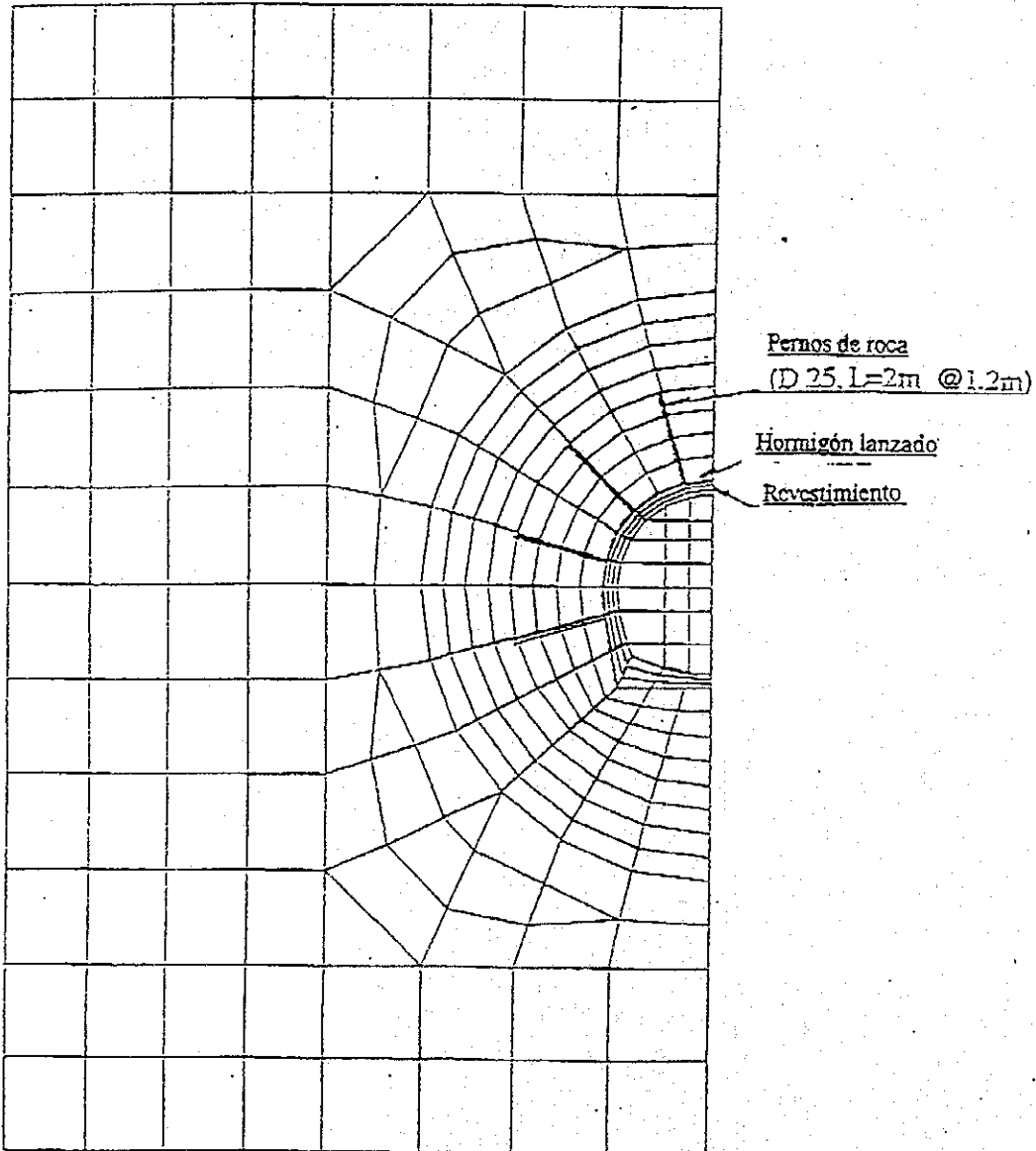
Tipo III

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRA)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASIN
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

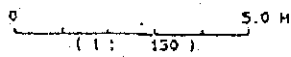
TITLE
 Sección Transversal Típica, Tipos II y III
 (Túnel de Derivación Poza Honda=Mancha Grande)

5-23

FIGURA 5.2.5



PARA ESTRUCTURA



LEYENDA
 TOTAL DE ELEMENTOS - 297
 TOTAL DE NODOS - 286

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSFER SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

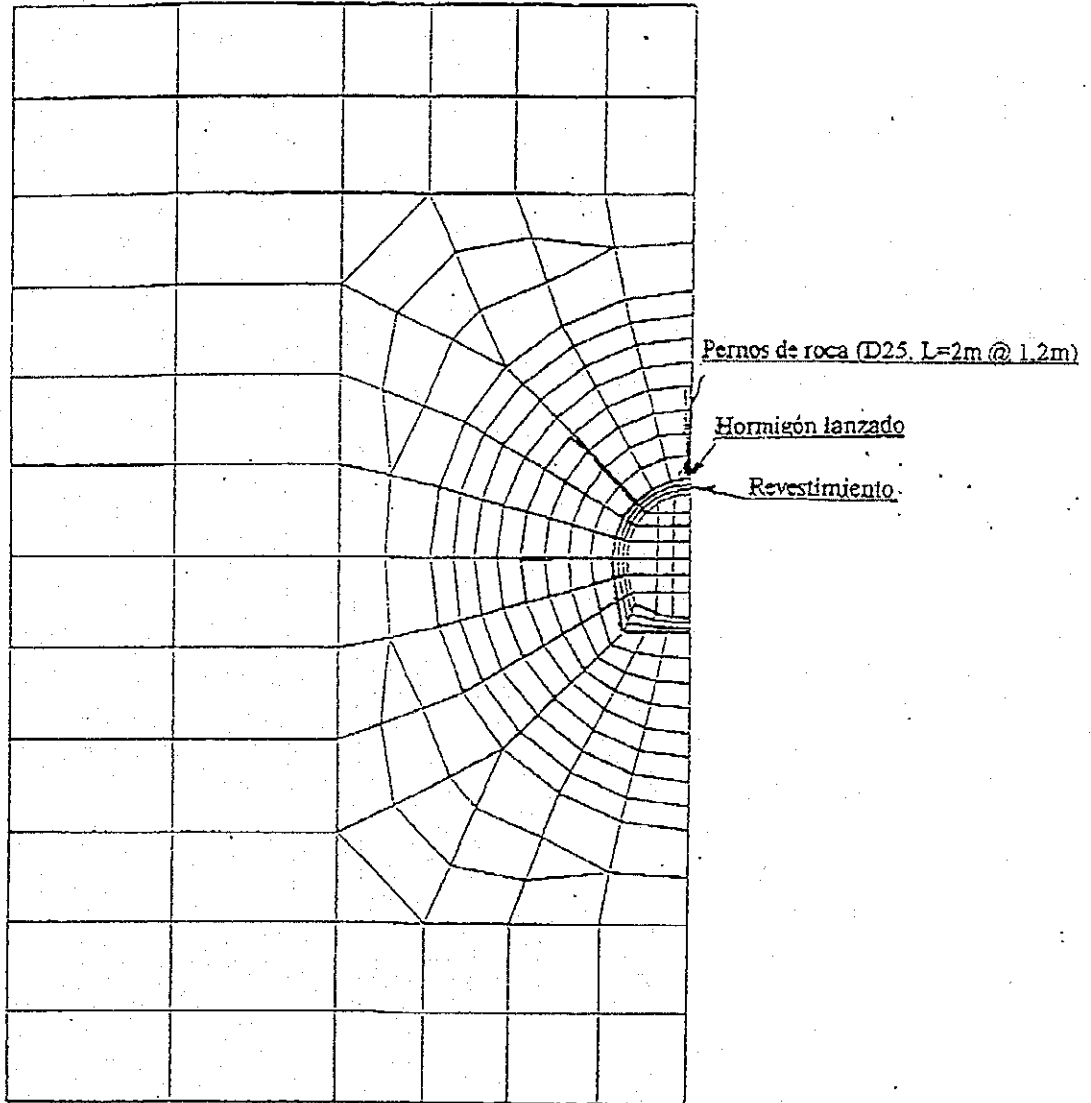
TITLE

Malla de Datos de Entrada
 (Casos A-1, A-2, A-3 y A-4)

J-24

21

FIGURA 5.2.6



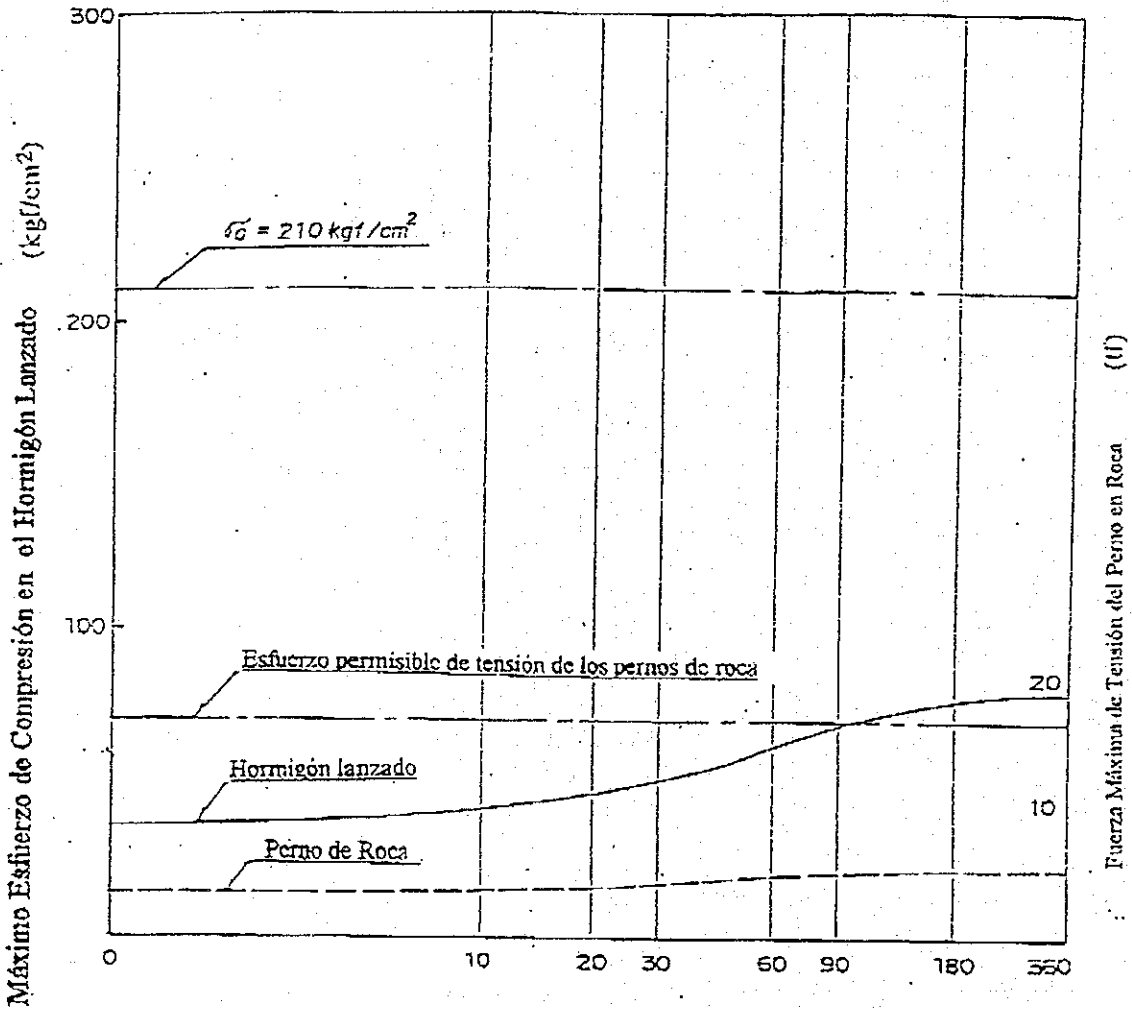
LEYENDA
 TOTAL DE ELEMENTOS - 243
 TOTAL DE NODOS - 260

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE

Malla de Datos de Ingreso
 (Casos B-1 y B-2)

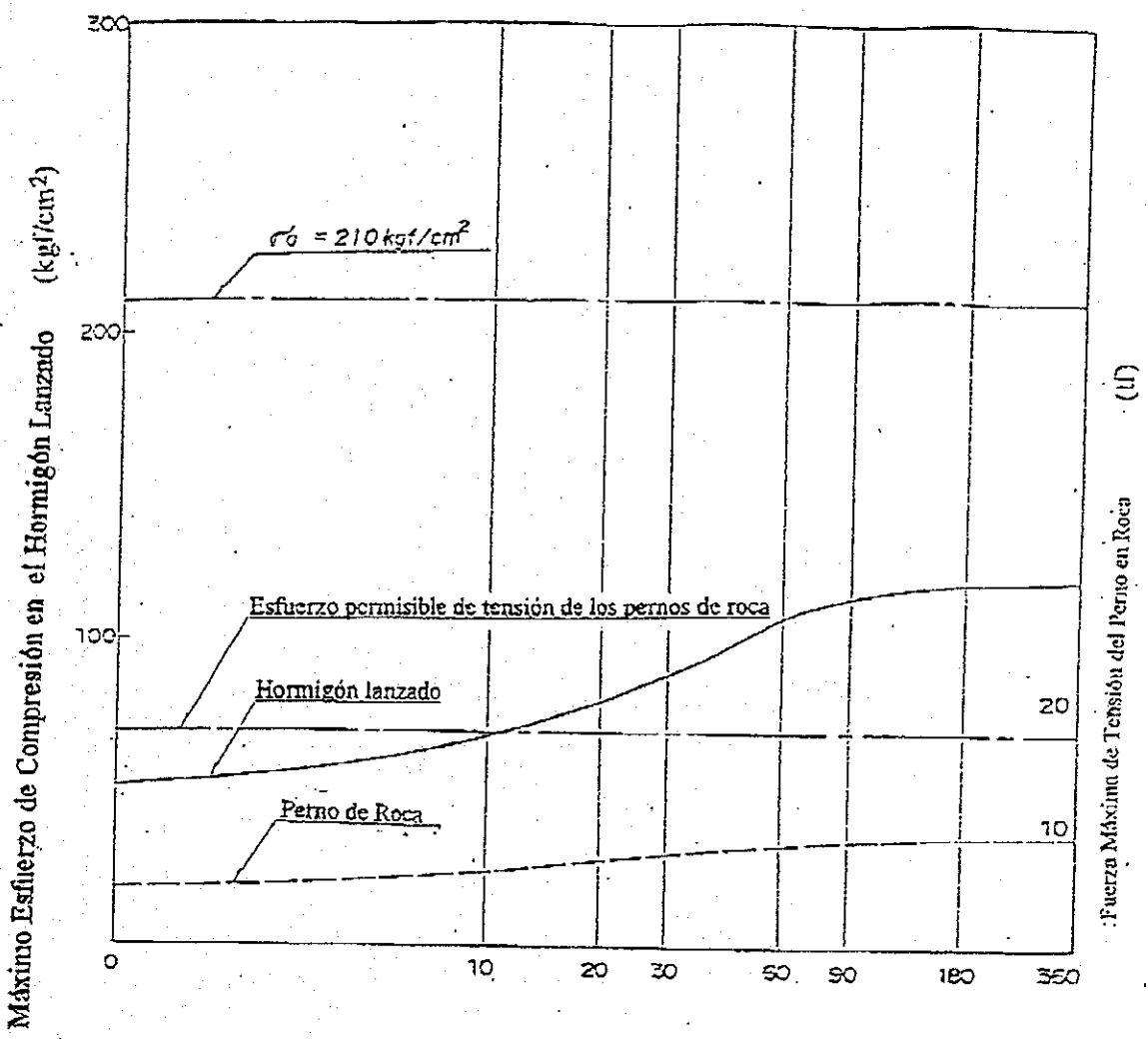
FIGURA 5.2.7



GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el
 Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión
 de los Pernos de Roca (Caso A-1)

FIGURA 5.2.8

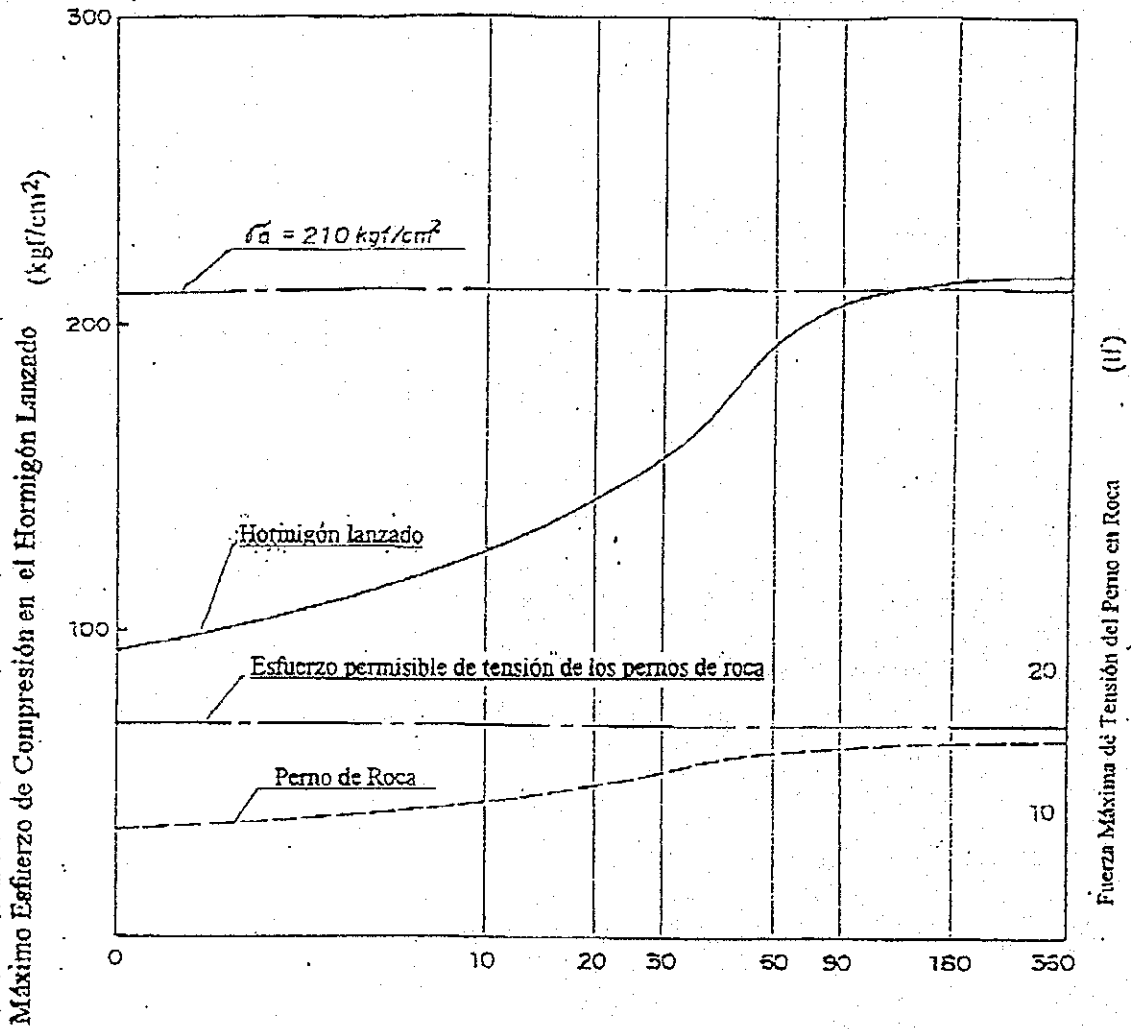


GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANASI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el
 Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión
 de los Pernos de Roca (Caso A-2)

5-27

FIGURA 5.2.9

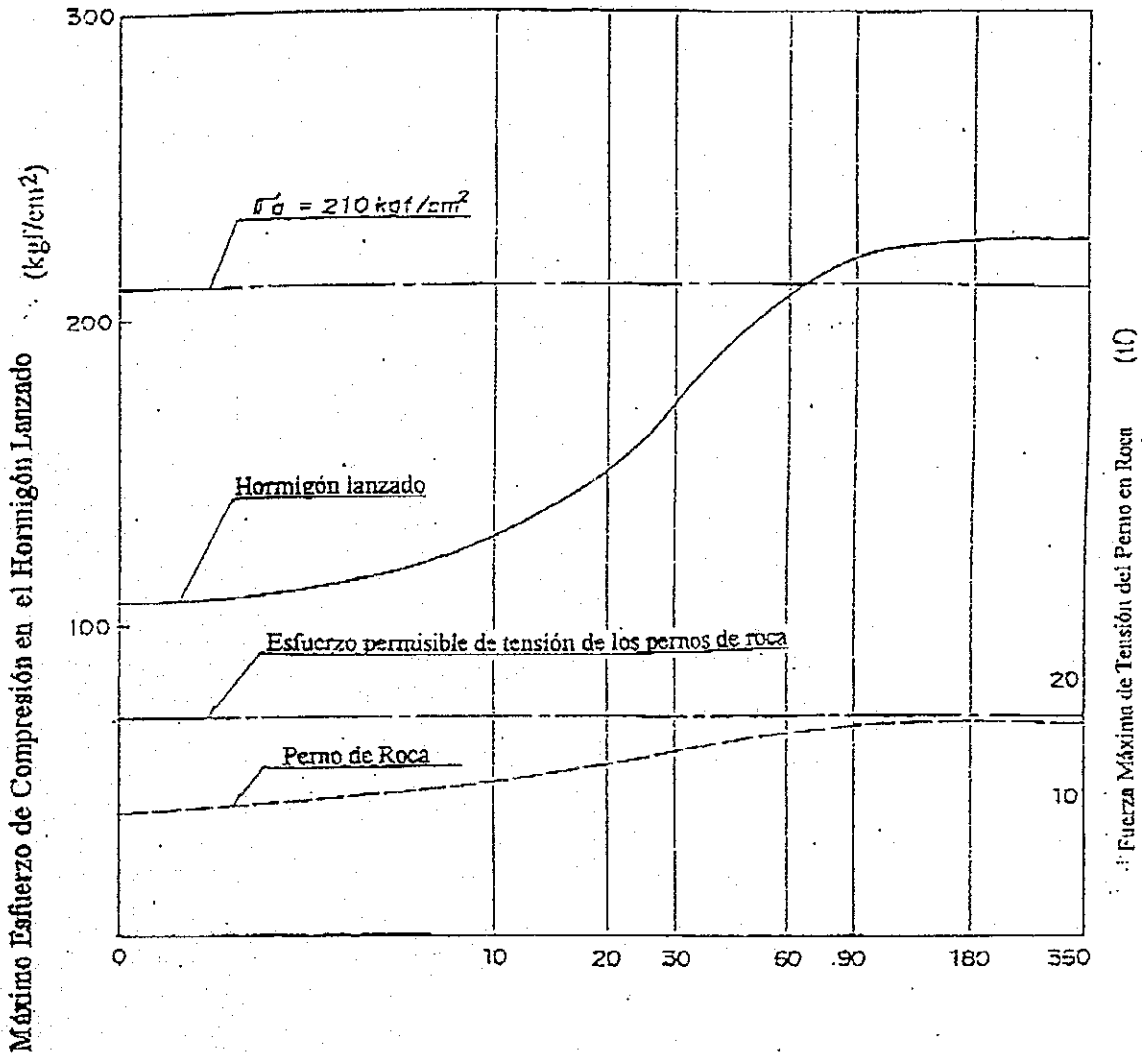


GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el
 Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión
 de los Pernos de Roca (Caso A-3)

5-20

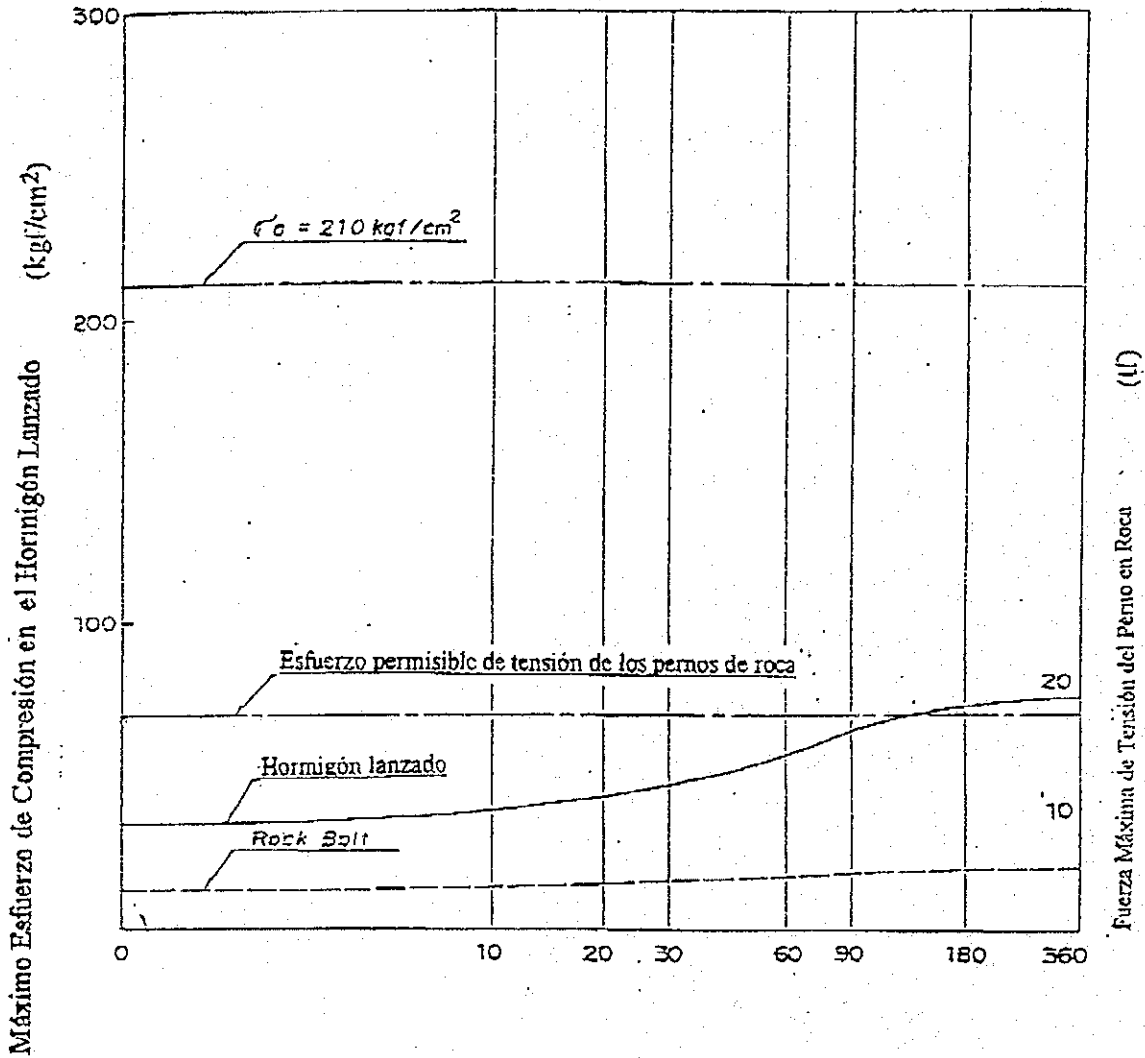
FIGURA 5.2.10



GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSFER SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIJEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión de los Pernos de Roca (Caso A-4)

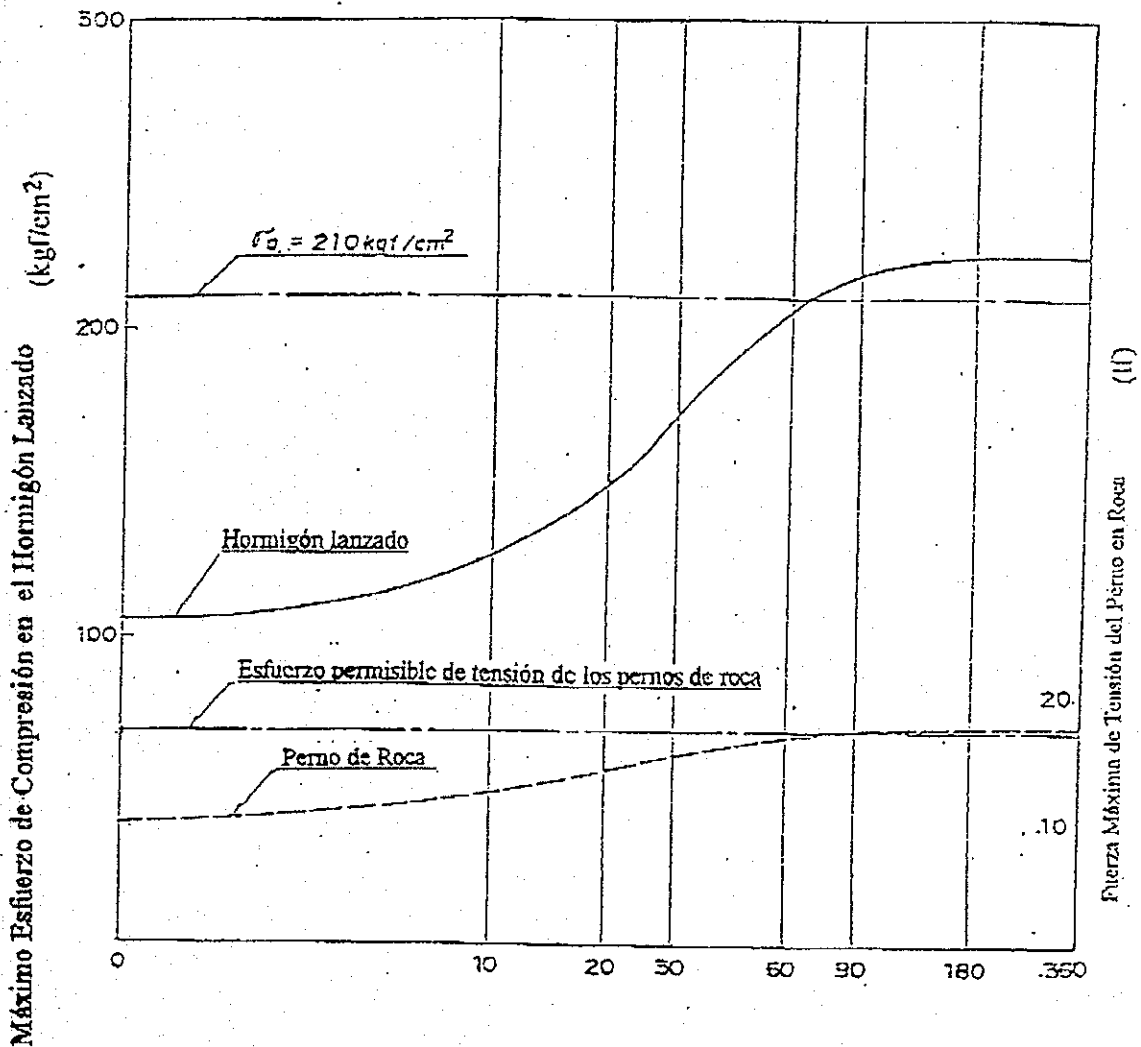
FIGURA 5.2.11



GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el
 Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión
 de los Pernos de Roca (Caso b-1)

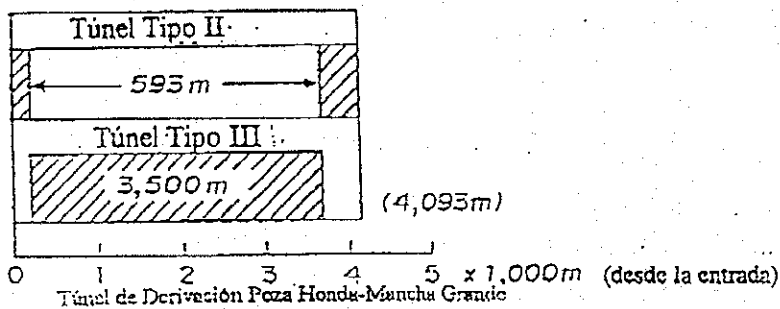
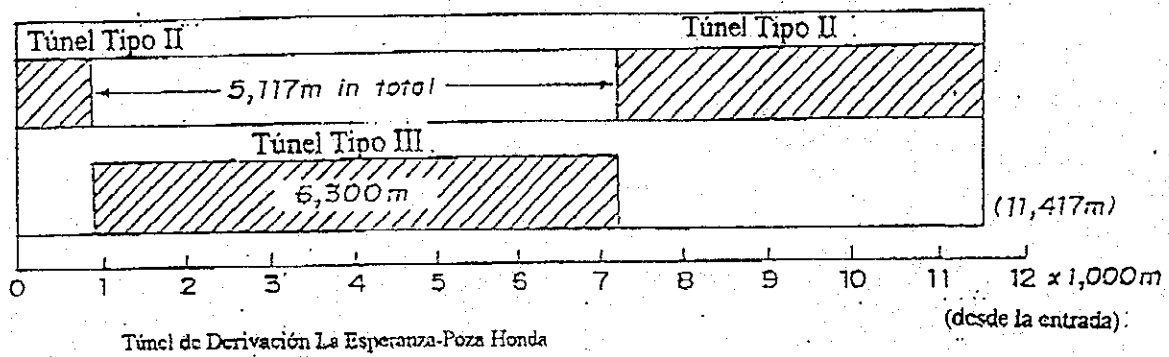
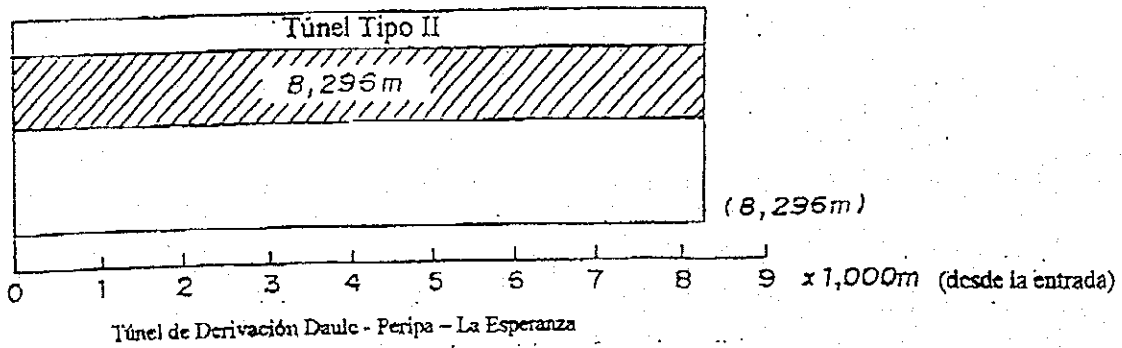
FIGURA 5.2.12



GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
 CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
 THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSBASIN
 SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
 Esfuerzo Máximo de Compresión en el
 Hormigón Lanzado y Fuerza de Tensión
 de los Pernos de Roca (Caso B-2)

FIGURA 5.2.13



Túnel Tipo III : Hormigón lanzado $t = 100$ mm, Perno de roca : intervalos de 1,2 m

Túnel Tipo II : Hormigón lanzado $t = 150$ mm, Perno de roca : intervalos de 1,0 m

GOVERNMENT OF THE REPUBLIC OF ECUADOR
CENTRO DE REHABILITACION DE MANABI (CRM)
THE DETAILED DESIGN STUDY ON THE WATER TRANSFER SCHEMES FOR CHONE-PORTOVIEJO RIVER BASINS
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

TITLE
Determinación del Tipo de Túnel en base Al Análisis Estructural del Túnel

5.3 Análisis Estructural para Estructura en la Entrada y Salida

Las condiciones de diseño a aplicarse para el análisis estructural de las partes de transición del túnel en la entrada y la salida se basan en el análisis de pórticos según el Código Ecuatoriano de la Construcción.

5.3.1 Condición de Diseño

Las condiciones de diseño a usarse en el análisis estructural son las siguientes:

(1) Valores de diseño

(A) Valores de diseño de la roca

Túnel de derivación Daule-Peripa - La Esperanza

Entrada

Peso Unitario(γ)	1,8	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	20.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,2	
Angulo de fricción interno(ϕ)	40,0	grados
Cohesión(C)	5,0	kgf/cm ²

Salida

Peso Unitario(γ)	1,7	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	10.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,25	
Angulo de fricción interno(ϕ)	35,0	grados
Cohesión(C)	2,5	kgf/cm ²

Túnel de derivación La Esperanza - Poza Honda

Entrada

Peso Unitario(γ)	2,0	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	20.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,2	
Angulo de fricción interno(ϕ)	40,0	grados
Cohesión(C)	5,0	kgf/cm ²

Salida

Peso Unitario(γ)	1,8	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	10.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,25	

Angulo de fricción interno(ϕ)	35,0	grados
Cohesión(C)	2,5	kgf/cm ²

Túnel de derivación Poza Honda - Mancha Grande

Entrada

Peso Unitario(γ)	1,8	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	10.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,2	
Angulo de fricción interno(ϕ)	30,0	grados
Cohesión(C)	2,0	kgf/cm ²

Salida

Peso Unitario(γ)	1,8	tf/m ³
Módulo de elasticidad(E_r)	10.000	kgf/cm ²
Relación de Poisson(λ)	0,25	
Angulo de fricción interno(ϕ)	30,0	grados
Cohesión(C)	2,0	kgf/cm ²

(B) Valores de diseño del hormigón

Peso unitario del hormigón armado	2,4	tf/m ³
Módulo de elasticidad del hormigón(E_c)	235.000	kgf/cm ²
Módulo de elasticidad de la varilla de refuerzo(E_s)	2.100.000	kgf/cm ²
Resistencia a la compresión de diseño del hormigón(σ_{28})	210	kgf/cm ²
Resistencia a la tensión de la varilla de refuerzo	4.200	kgf/cm ²

(2) Cargas de Diseño

Las cargas de diseño a considerarse para cada estructura son las siguientes:

(A) Túnel de derivación Daule-Peripa - La Esperanza

Estructura de entrada en Conguillo, entrada del túnel

Case 1: Peso muerto del revestimiento de hormigón (W_c) + Presión de la roca (P_r)
+ presión del agua (P_w) + Presión de lechada de inyección (P_g)

Estructura de entrada en Conguillo, humbrera

Case 1: Presión de la roca (P_r) + Presión del agua (P_w)

Entrada del túnel en Conguillo (parte de transición del túnel)

Case 1: Peso muerto del revestimiento de hormigón (W_c) + Presión de la roca (P_r)
+ Presión del agua (P_w) + Presión de lechada de inyección (P_g)

Salida del túnel en Membrillo (parte de transición del túnel)

Case 1: Peso muerto del revestimiento de hormigón (W_c) + Presión de la roca (P_r)
+ Presión del agua (P_w)

Caso 2: Peso muerto del revestimiento de hormigón (W_c) + Presión de la roca (P_r)
+ Presión del agua (P_w) + Presión de lechada de inyección (P_g)

(B) Túnel de derivación La Esperanza-Poza Honda

Estructura Cajón de entrada en Caña Dulce

Case 1: W_c + Presión de la tierra (P_e) + (P_w)

Entrada del túnel en Caña Dulce

Case 1: W_c + P_r + P_w

Caso 2: W_c + P_r + P_w + P_g

Salida del túnel en Los Cuvuves (parte de transición del túnel)

Case 1: W_c + P_r + P_w

Caso 2: W_c + P_r + P_w + P_g

(C) Túnel de derivación Poza Honda-Mancha Grande

Estructura de entrada en Poza Honda, estructura cajón de entrada

Case 1: W_c + P_e + P_w

Estructura de entrada en Poza Honda, entrada del túnel

Case 1: W_c + P_r + P_w

Caso 2: W_c + P_r + P_w + P_g

Estructura de entrada en Poza Honda, lumbrera

Case 1: P_r + P_w

Entrada del túnel en Poza Honda, (parte de transición del túnel)

Case 1: W_c + P_r + P_w

Caso 2: W_c + P_r + P_w + P_g

Salida del túnel en Mancha Grande (parte de transición del túnel)

✓-3✓

Case 1: $Wc + Pr + Pw$

Caso 2: $Wc + Pr + Pw + Pg$

(3) Presión de la roca

La máxima presión lateral de la roca que actúa en el revestimiento de hormigón en la entrada y salida del túnel es dada por la fórmula de Terzaghi.

$$Prh = Ka \cdot (Prv + \gamma \cdot Ht)$$

donde, Prh : presión lateral de la roca (tf/m)

Ka : coeficiente de la presión lateral de la roca

Ka : $\tan^2 (45 - \phi/2)$

ϕ : ángulo de fricción interna de la roca

Prv : presión vertical de la roca (tf/m)

γ : peso específico de la roca (tf/m³)

Ht : altura de excavación del túnel (m)

(4) Constante de resorte de la roca

La roca alrededor del túnel resiste junto con el revestimiento de hormigón contra la presión interna y externa. La fuerza de resistencia de la roca se incorpora en los cálculos como una constante de resorte.

La constante de resorte se da mediante la fórmula siguiente.

$$K = A \cdot E/L$$

donde, K : constante de resorte (t/m)

A : área sujeta a un resorte (m²)

E : módulo de elasticidad de la roca (tf/m²)

L : Longitud unitaria de un resorte (m)

(5) Factor de carga

La estructura y elementos estructurales serán diseñados para obtener el esfuerzo de diseño en todas las secciones, por lo menos igual al esfuerzo requerido calculado por cargas mayorizadas y las fuerzas en combinación como se estipula en el Capítulo 9 del Código Ecuatoriano de la Construcción.

El factor de carga a aplicarse para cada carga es el siguiente:

Carga muerta	1,4
Presión de la roca	1,7
Presión del agua	1,4

Presión del terreno	1,7
Presión de lechada de inyección	1,4

En base a las condiciones de diseño mencionadas arriba, se llevó a cabo el análisis estructural utilizando el programa de computación SAP 90 (Programa de computación autorizado en el Ecuador).

5.3.2 Área de Barra de Refuerzo Requerir

Las áreas requeridas de varillas de refuerzo para cada sección se realizaron mediante las siguientes fórmulas

(1) Area mínima requerida de varillas de refuerzo

$$A_s = 0,0033 \cdot b \cdot d = (14/f_y) \cdot b \cdot d$$

Donde, A_s : área mínima requerida de varillas de refuerzo (cm^2)
 b : ancho de la sección (cm)
 d : altura efectiva de la sección (cm)
 f_y : resistencia específica a la fluencia (4.200 kgf/cm^2)

(2) Area máxima de varillas de refuerzo

$$A_s = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot \beta_1 \cdot \frac{f'_c}{f_y} \cdot \frac{6.115}{f_y + 6.115} \cdot d \cdot b$$

$$a = A_s \cdot f_y / (0,85 \cdot f'_c \cdot b)$$

$$\phi Mu = 0,85 \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

ó

$$\phi Mu = (A_s \cdot f_y \cdot d \cdot (1 - 0,59 \cdot f_y / f'_c))$$

$$A's = 0,5 A_s$$

Donde, ϕ : factor de reducción de esfuerzo
 Mu : momento factorizado en la sección
 f'_c : esfuerzo específico de compresión del hormigón (kgf/cm^2)

Area requerida de refuerzo de compresión

$$P_u \cdot e / \phi = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot (d - c/2) + A's \cdot f_y \cdot (d - d')$$

Donde, P_u : carga axial total
 c : distancia de la fibra extrema en compresión al eje neutral
 d' : distancia de la fibra extrema en compresión al centroide de la varilla de refuerzo de compresión

$$f's = 6.120 \cdot \left(\frac{d-c}{c} \right)$$

$$P_u = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A's \cdot f_y - A_s \cdot f's$$

Area requerida para varilla de refuerzo de tensión

$$m = f_y / (0,85 \cdot f'c)$$

$$P_u = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot d \cdot \left(-\left(\frac{e'}{d} - 1 \right) + \left(\frac{e'}{d} - 1 \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \right) \right)$$

(3) Esfuerzo cortante

El diseño de las secciones transversales sujetas al corte se basa en las siguientes fórmulas.

$$V_c = 0,85 \cdot 0,53 \cdot f'c^{1/2} \cdot d \cdot b$$

Donde, V_c : resistencia nominal al corte (kgf/cm^2)

If $V > V_c$

Area requerida de varillas diagonales : A_v

$$A_v / \phi = (V - V_c) / (f_y \cdot \text{seno } \alpha)$$

Area requerida de estribos : A_{vs}

$$A_{vs} / \phi = (V - V_c) e / (f_y \cdot d)$$

(4) Varillas longitudinales de refuerzo

$$A_s = 0,00125 \cdot b \cdot d$$