Diseño de Excavaciones

Proyecto de Ampliación del Canal

Maximiliano De Puy
Sección de Ingeniería Geotécnica
Departamento de Ingeniería y Administración de Programas
Autoridad del Canal de Panamá

Jornada Tecnológica 2010
Cámara Panameña de la Construcción
Agosto 25-26, 2010

Contenido

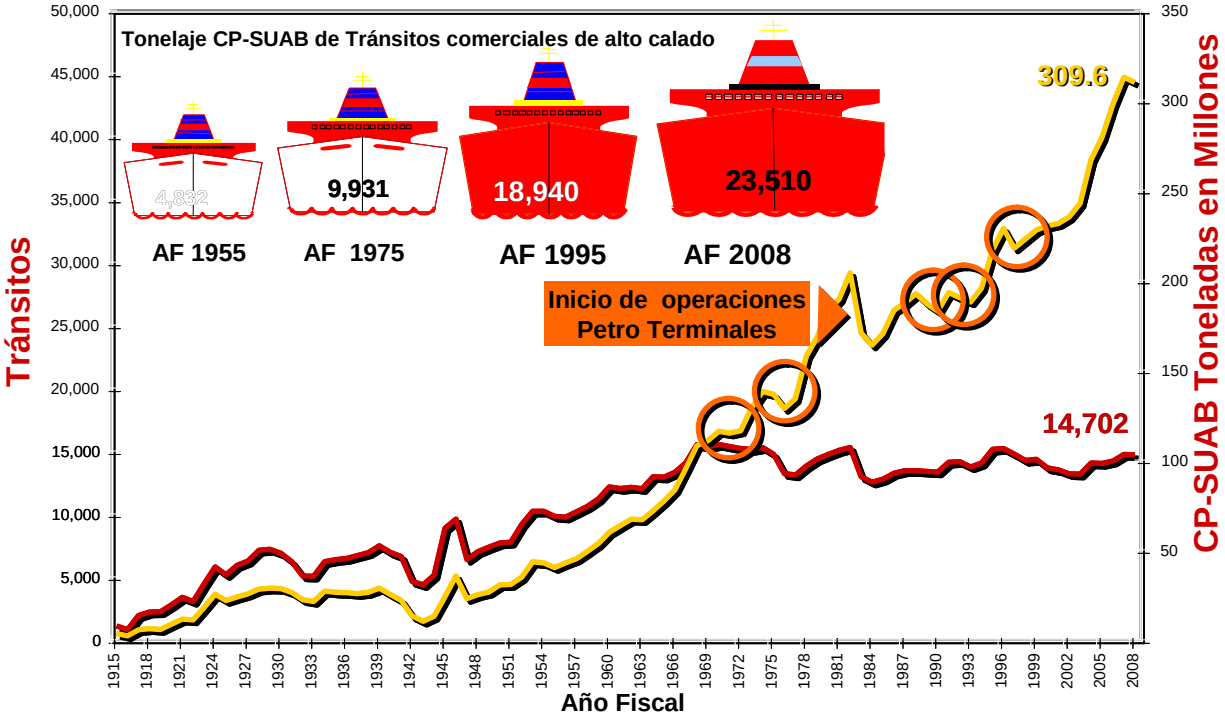
1. Introducción
2. Componentes del Programa
3. Programa de Investigaciones Geotécnicas
4. Componentes del PAC
5. Diseño de Ataguía Celular
6. Abatimiento del Nivel de Agua
7. Diseño de Represa Borinquen 1E
8. Estatus de las Excavaciones
9. Observaciones Finales

Introducción

Ayer…… ……Hoy

Buque Típico en 1920

Buque Panamax


Tonelaje CP-SUAB de Tránsitos comerciales de alto calado
4,832
9,931
18,940
23,510
AF 1955
AF 1975
AF 1995
AF 2008
Inicio de operaciones Petro Terminales
309.6
14,702
Tránsitos
CP-SUAB Toneladas en Millones
Año Fiscal
0
5,000
10,000
15,000
20,000
25,000
30,000
35,000
40,000
45,000
50,000
50
100
150
200
250
300
350
1915
1918
1921
1924
1927
1930
1933
1936
1939
1942
1945
1948
1951
1954
1957
1960
1963
1966
1969
1972
1975
1978
1981
1984
1987
1990
1993
1996
1999
2002
2005
2008

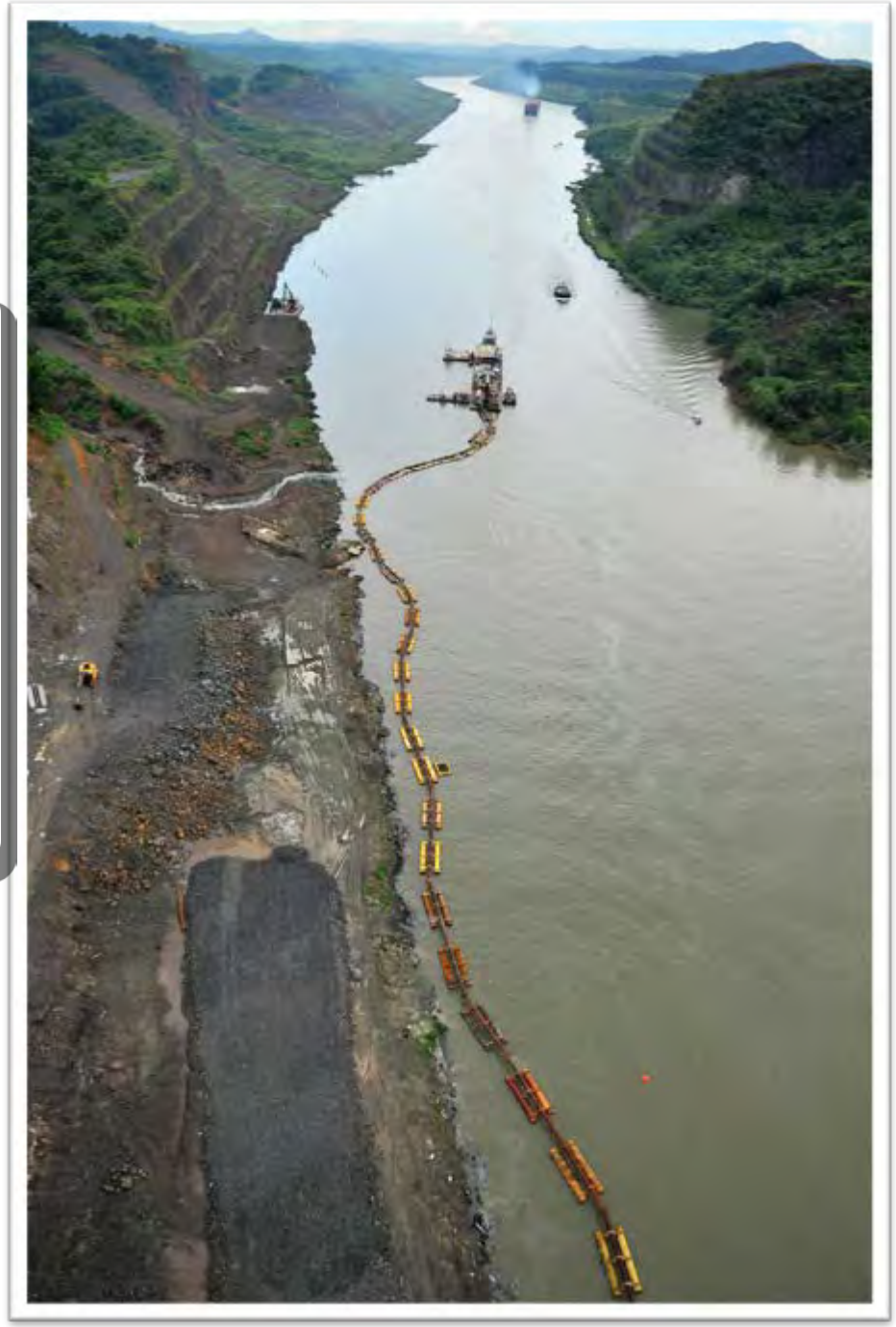
Componentes del Programa

Inversión de $5.25 Billones en un periodo de 7 años

Profundización y Ensanche de los Canales de Navegación

Profundización y Ensanche de la Entrada Pacífica

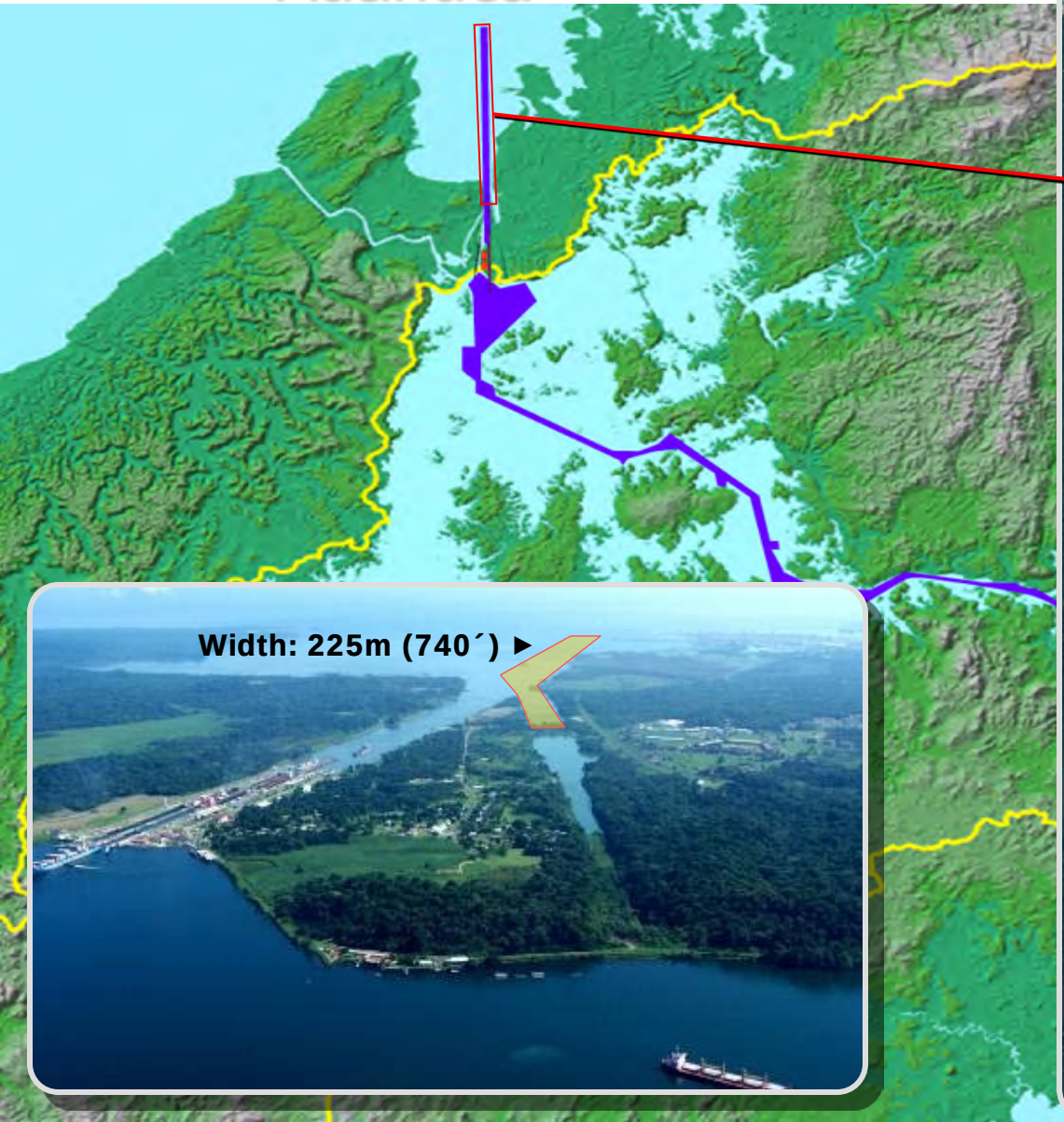
Profundización y Ensanche del Corte Gaillard

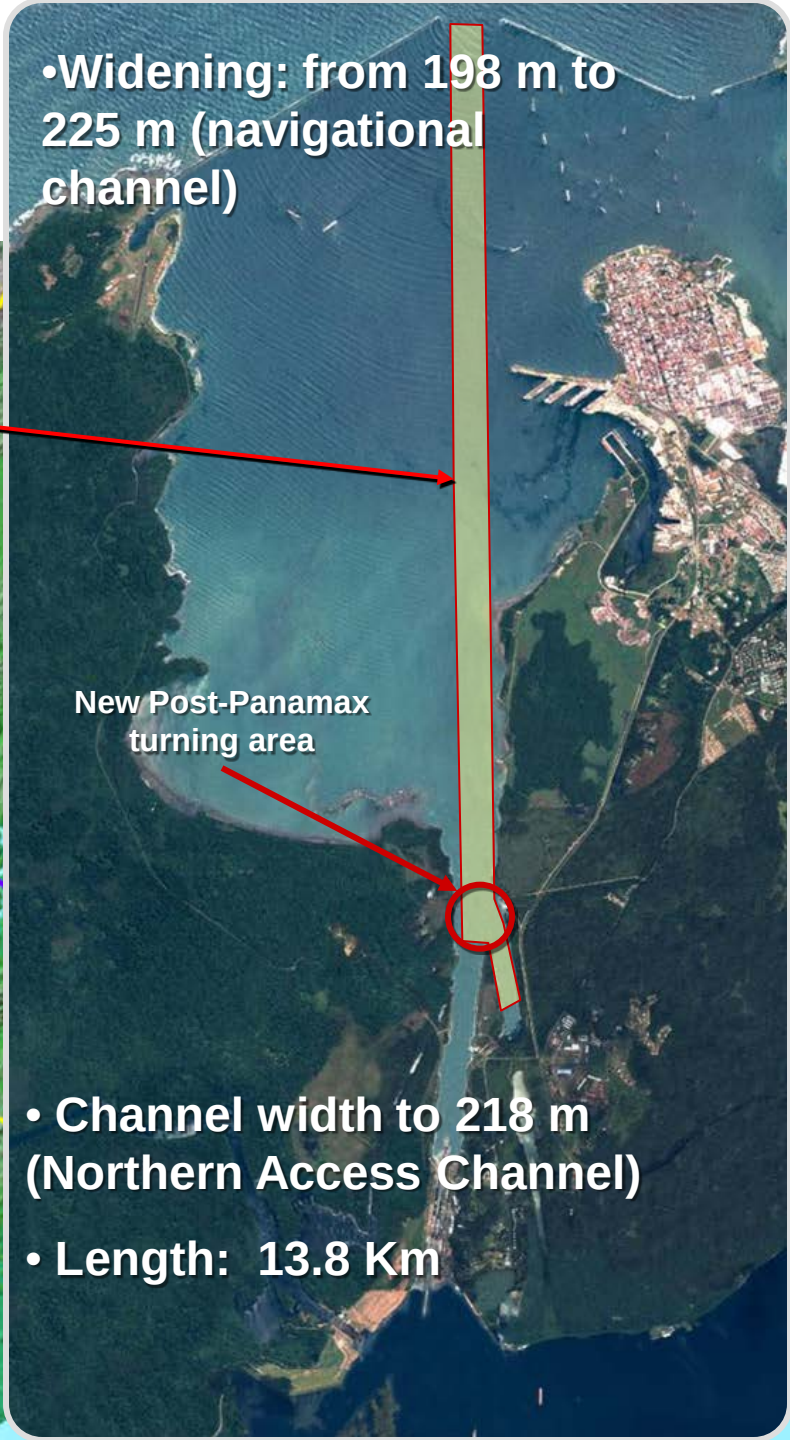


Excavaciones en el Lago Gatún

Lago Gatún *De Lesseps Island*

Profundización y Ensanche de la Entrada Atlántica

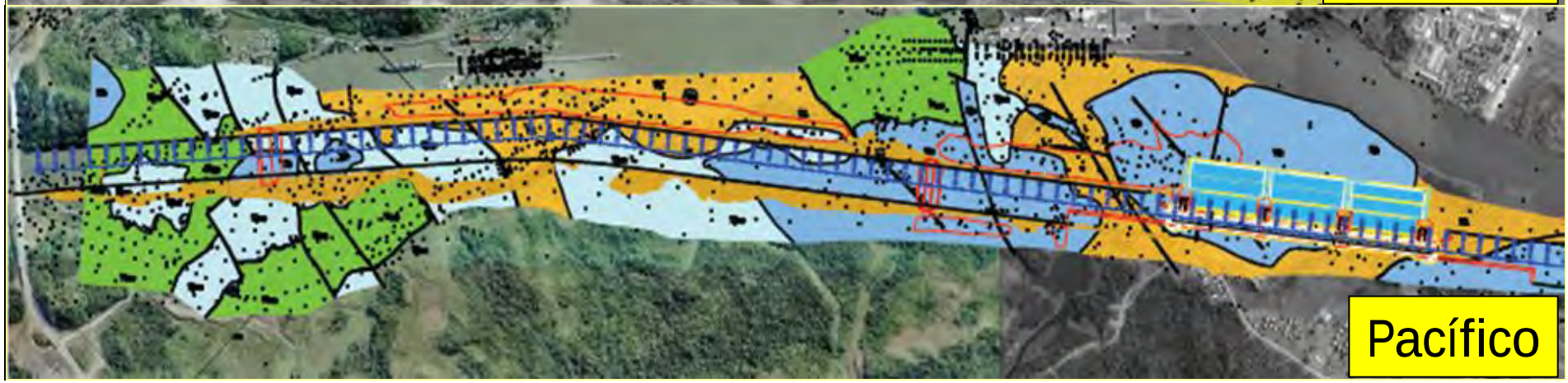




- Widening: from 198 m to 225 m (navigational channel)
- Channel width to 218 m (Northern Access Channel)
- Length: 13.8 Km

Profundización y Ensanche de la Entrada Atlántica

Programa de Investigaciones Geotecnicas

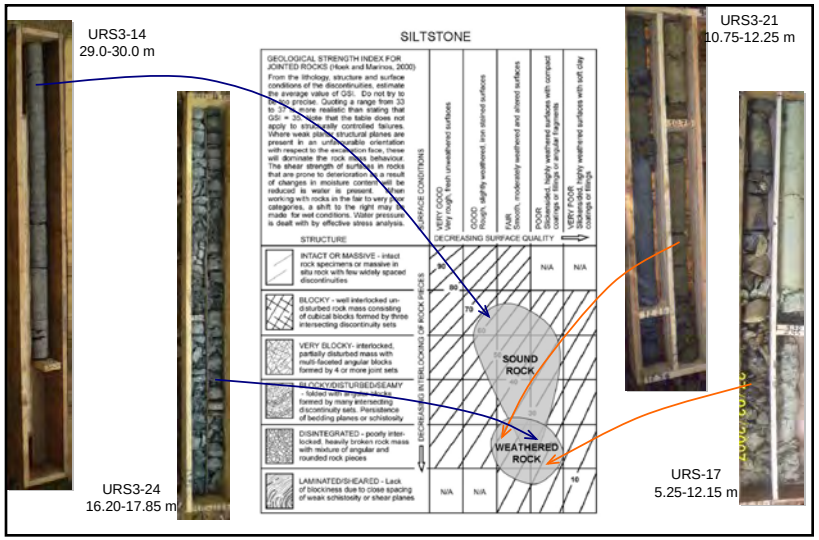


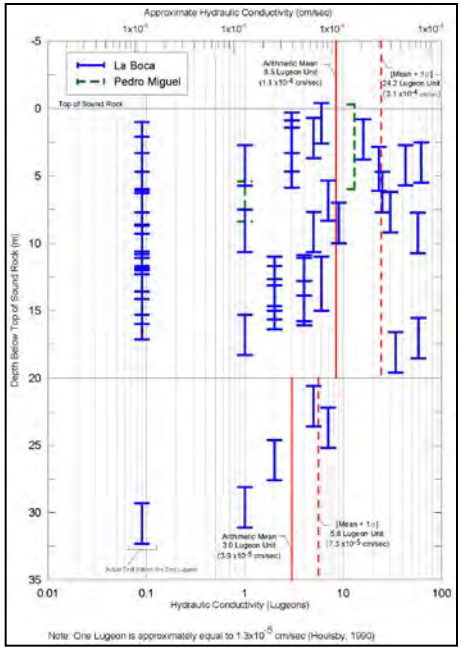
Año	Total de Perforaciones	Longitud (m)
1938-1948	1,569	44,542
2005-2008	506	22,855
TOTAL	2,075	67,397

Caracterización Geológica y Geotécnica

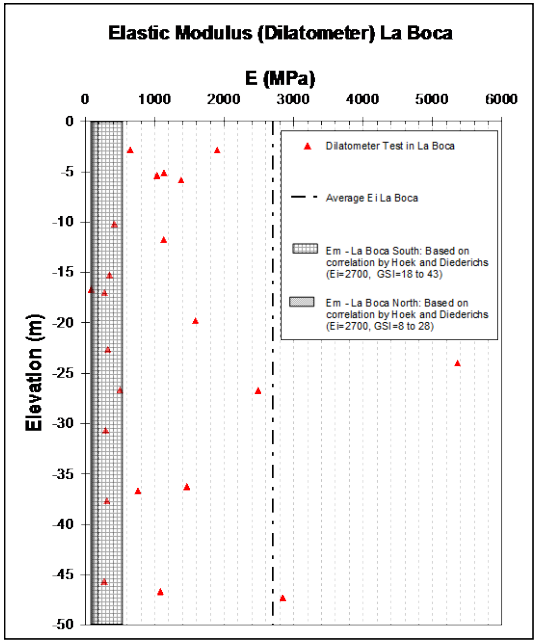
- Relleno/Aluvial/Lama
- Suelos Residuales
- Formaciones
  - La Boca
  - Pedro Miguel
  - Cucaracha
  - Basalto
  - Gatún

Índice Geológico de Resistencia

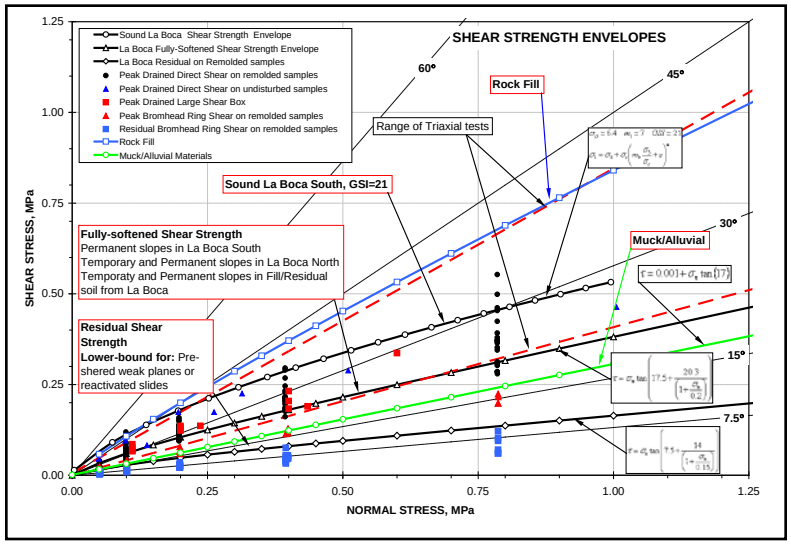




Permeabilidad



Modulo de Deformación



Resistencia Cortante

Compilación de las Investigaciones

GEOTECHNICAL ENGINEERING BRANCH
ENGINEERING DIVISION
ENGINEERING AND PROGRAM MANAGEMENT
DEPARTMENT
PANAMA CANAL AUTHORITY

VOLUME VI, PART 2
GEOTECHNICAL DATA REPORT
No. 01-2008 Rev 2

Geological and Geotechnical Investigations
for the Third Set of Locks Project

May 2008

GEOTECHNICAL ENGINEERING SECTION
ENGINEERING DIVISION
ENGINEERING AND PROGRAM MANAGEMENT
DEPARTMENT
PANAMA CANAL AUTHORITY

VOLUME VI, PART 2
GEOTECHNICAL INTERPRETIVE REPORT
No. 01-2008, Rev. 1

Geological and Geotechnical Investigations
for the Third Set of Locks Project

June 2008

GEOTECHNICAL ENGINEERING BRANCH
ENGINEERING DIVISION
ENGINEERING AND PROGRAM MANAGEMENT DEPARTMENT
PANAMA CANAL AUTHORITY

GEOTECHNICAL DATA REPORT

Geological and Geotechnical Investigations
for the Borinquen Dam 1E and PAC-4

July 2009

Caracterización de la Amenaza Sísmica

Congreso IC

Informe ACP

Informe Woodward-Clyde Consultants

Investigación WES / PCC

Investigación USGS

Reunión en WES

Reunión en UC Berkeley

Análisis Riesgo USGS

Estudio ECI

Revisión USGS

Taller ACP-IGC-ECI

1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008

GAB-5

GAB-6

GAB-8

GAB-9

GAB-11

SAB-1

Red Sísmica

SAB-2

Estudios ECI / WLA (Geomorf/Paleo)

TECHNOS (Estudios geofísicos del Lago Miraflores)

Análisis Riesgo URS

Visita de GAB-15, SAB-3, STAB-p a trocha que intercepta la falla de Limón – 11 de enero de 2007

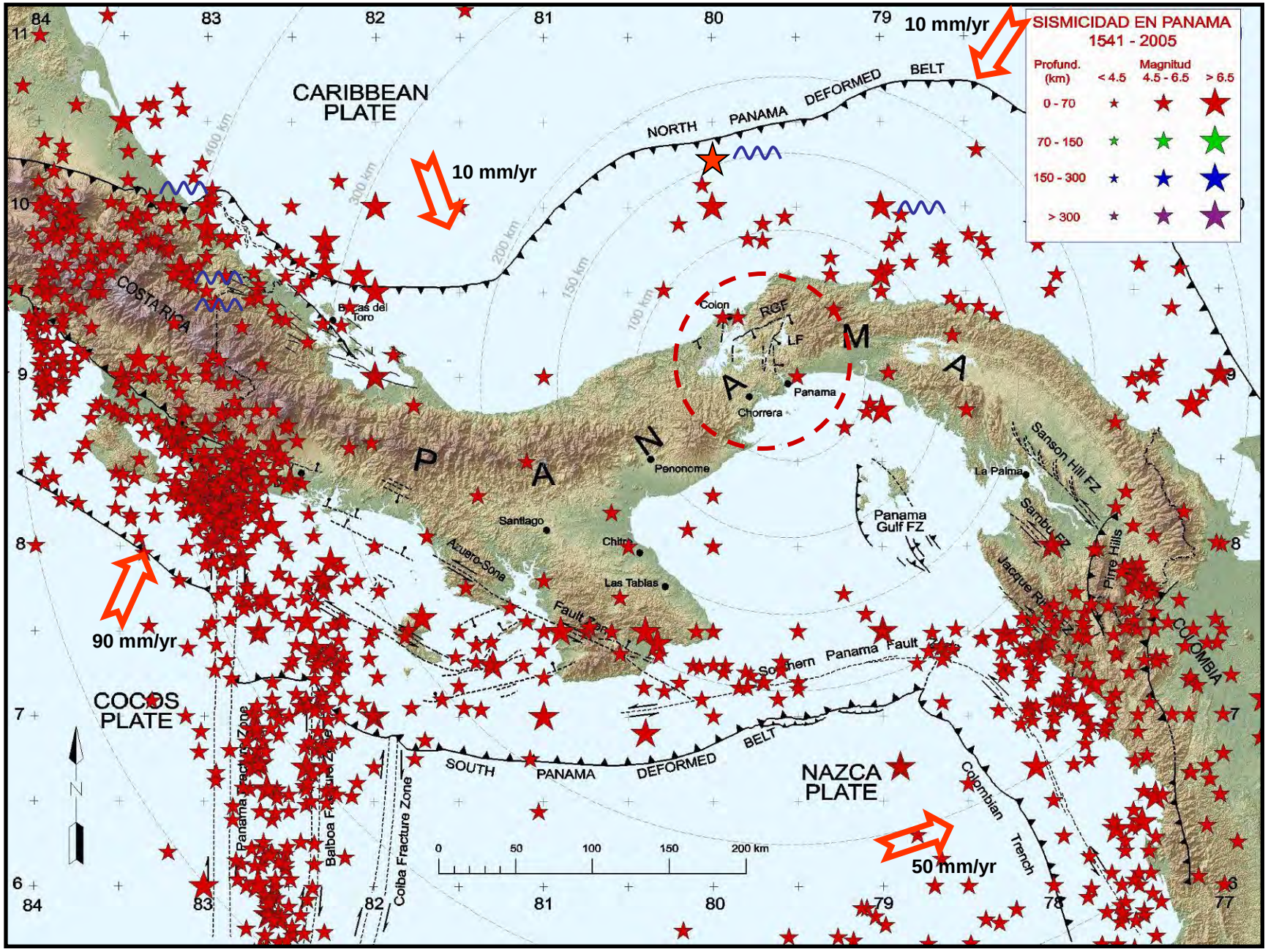
Comparar e integrar los resultados de campo. Taller Paleosísmicos con PAB – diciembre de 2007

Reporte Final (PSHA) y SAB, GAB, STAB. Enero 2008

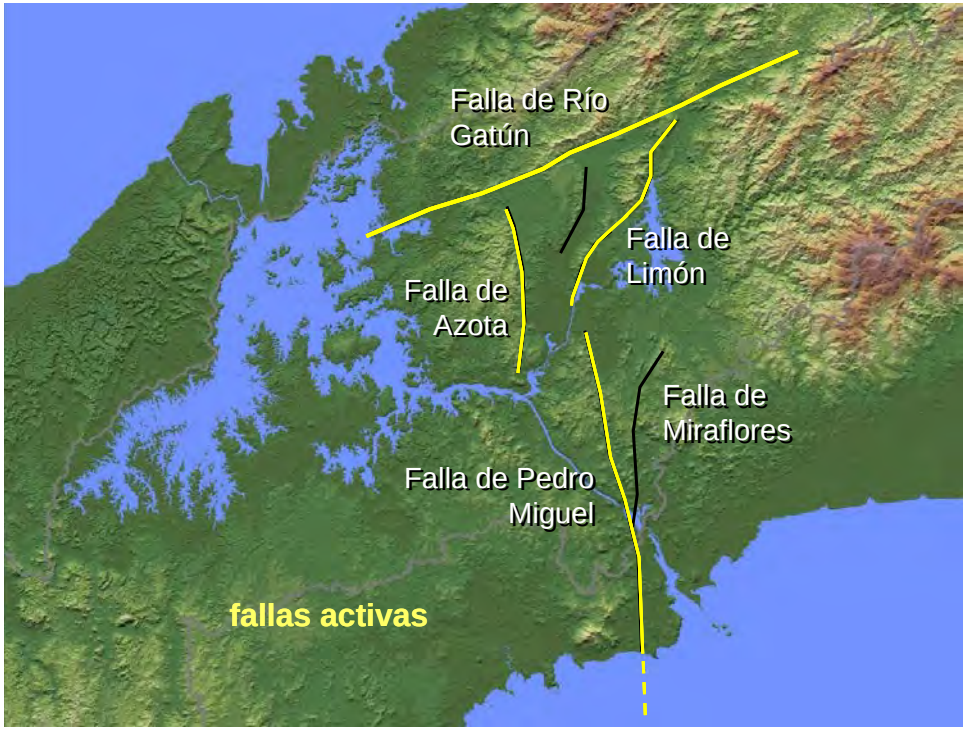
GAB: Junta de Consultores Geotécnicos
SAB: Junta de Consultores Sísmicos
STAB: Junta de Consultores Estructurales
PAB: Junta de Consultores Paleosísmicos

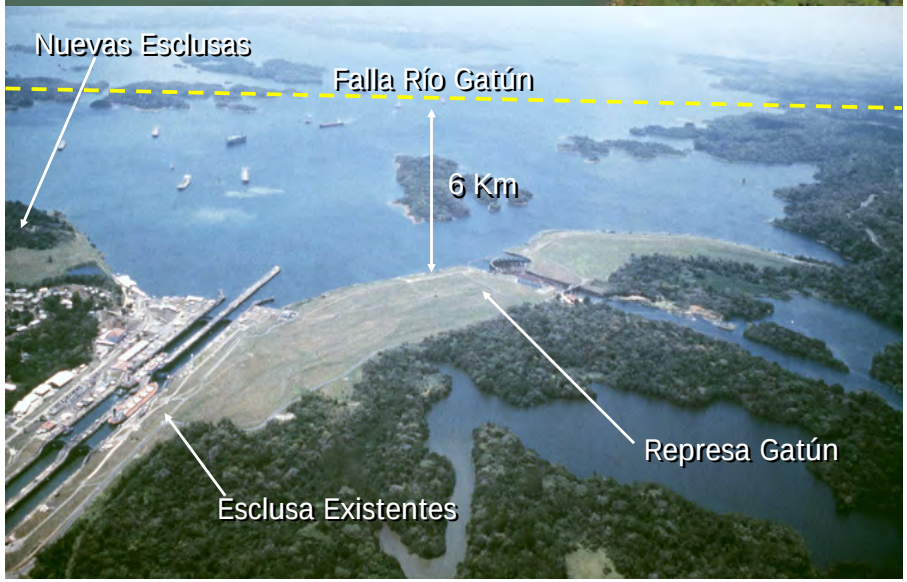
ECI: Earth Consultants International
WLA: William Lettis & Associates

Mapa Tectónico de Panamá



Fallas Activas Investigadas

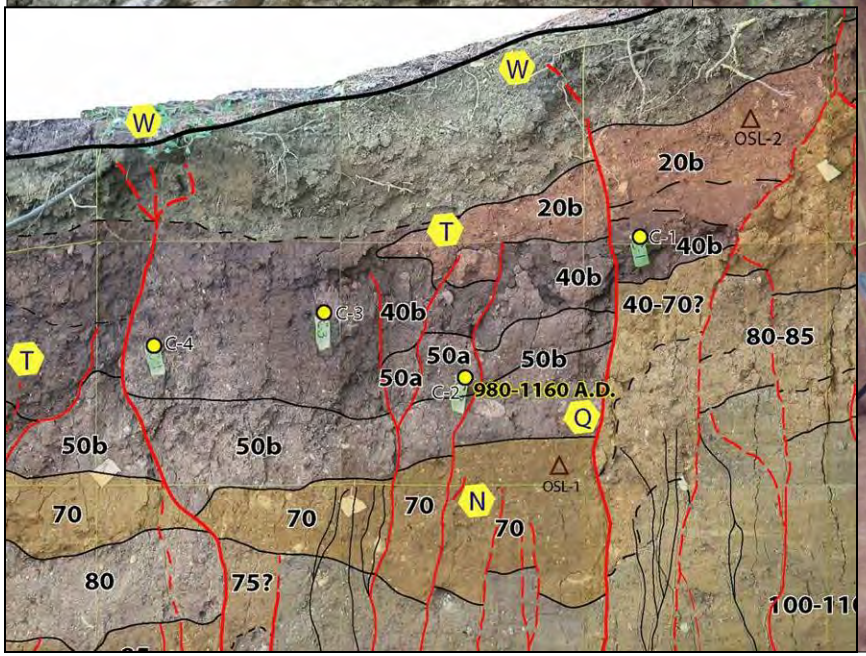




Investigación Paleosísmica

Earth Consultants International

William Lettis & Associates

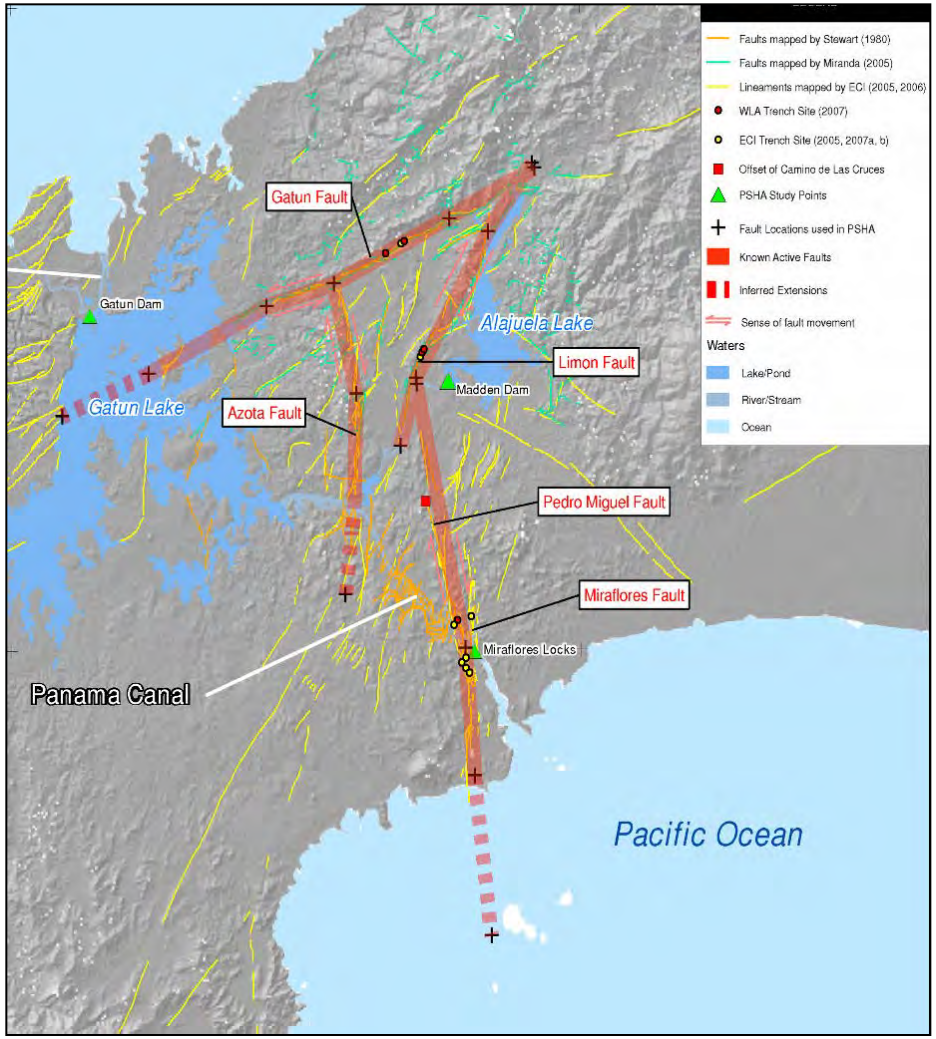


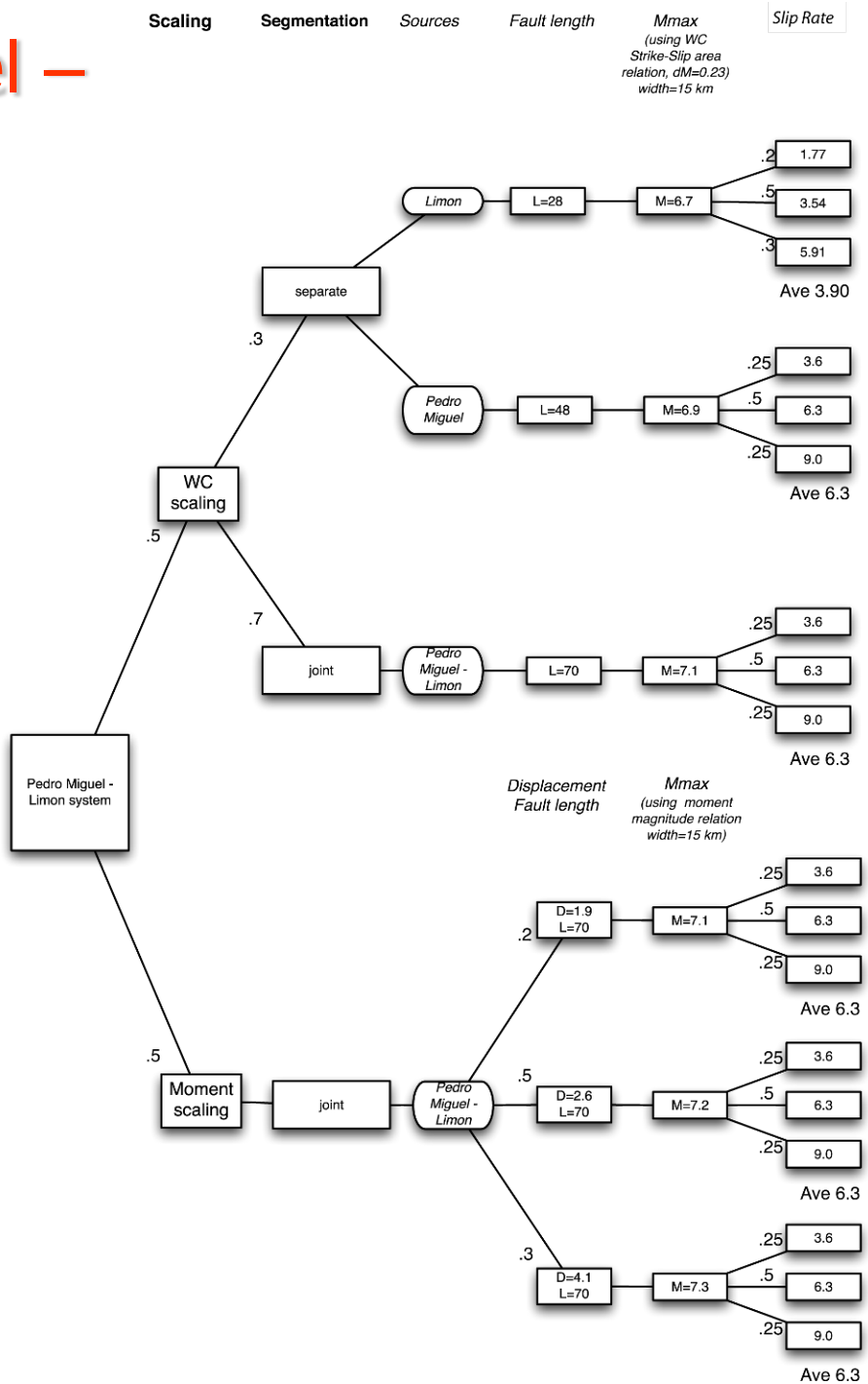
Caracterización de la falla Pedro Miguel

Característica	Parámetro	Peso asignado
Sentido de desplazamiento	Desplazamiento lateral derecho (0-20% vertical) Orientación N/S a NNW Buzamiento 90º -20W +10E	
Longitud	46 Km. desde el extremos norte de tramo señalado por Stewart (1980) hasta aproximadamente la Isla de Taboga	
Segmentación	Ruptura con la Falla Limón Ruptura independiente	0.70 0.30
Tasa de desplazamiento	Preferida 7.5mm/yr Máxima 10.5 mm/yr Mínima 4.5 mm/yr	0.50 0.25 0.25
Desplazamiento en el evento más reciente	Preferido 3 m Máximo 4 m Mínimo 2 m	0.50 0.30 0.20
Recurrencia	Preferida 450 yr Máxima 900 yr Mínima 200 yr	0.50 0.25 0.25

Presentado por la Junta de Consultores Paleosísmicos de ACP
(Ray Weldon, Dave Schwartz, Bill Page)
Corozal Oeste, 15 de Diciembre, 2007

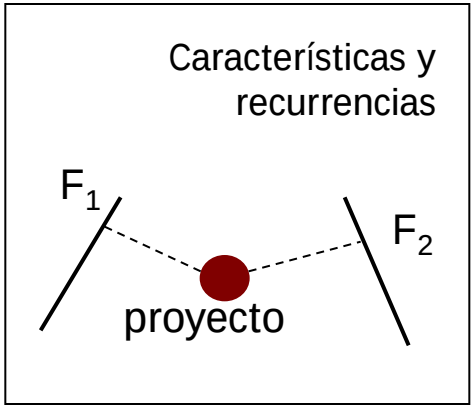
Falla de Pedro Miguel – Limón (Árbol de decisión)



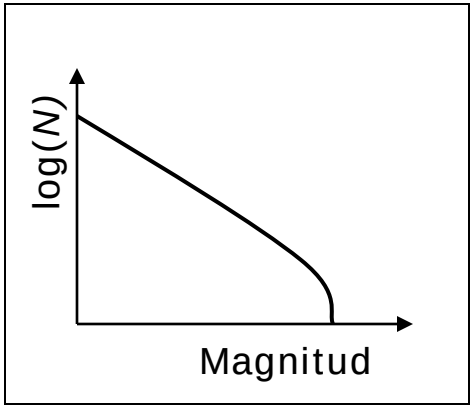


Análisis Probabilístico de Amenaza Sísmica

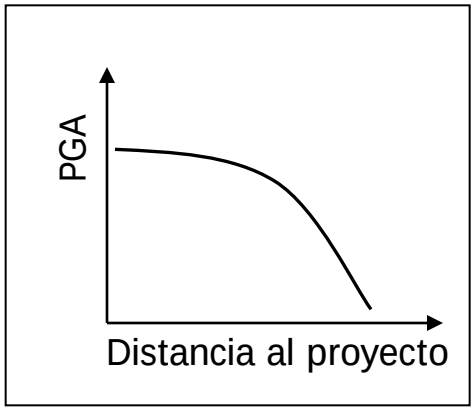
Fuentes



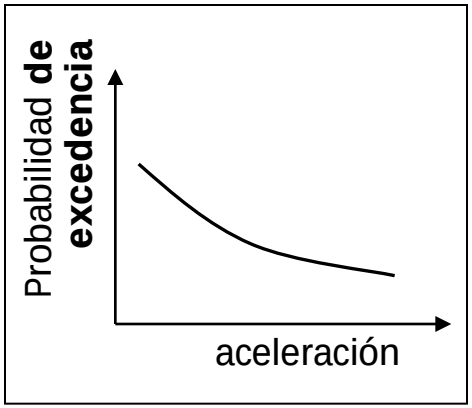
Recurrencia



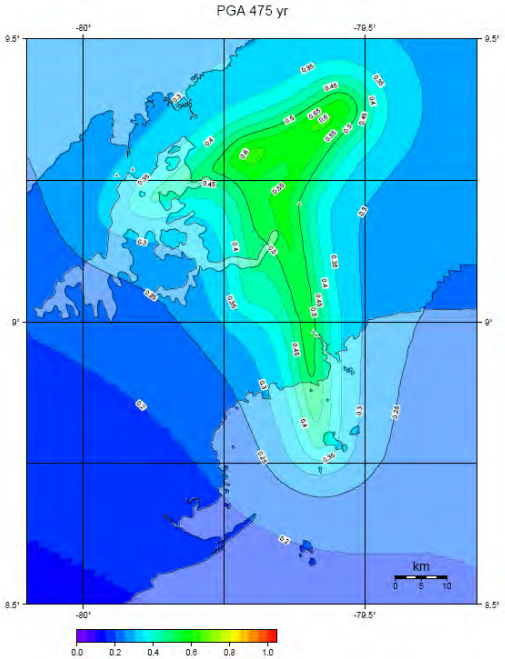
Atenuación

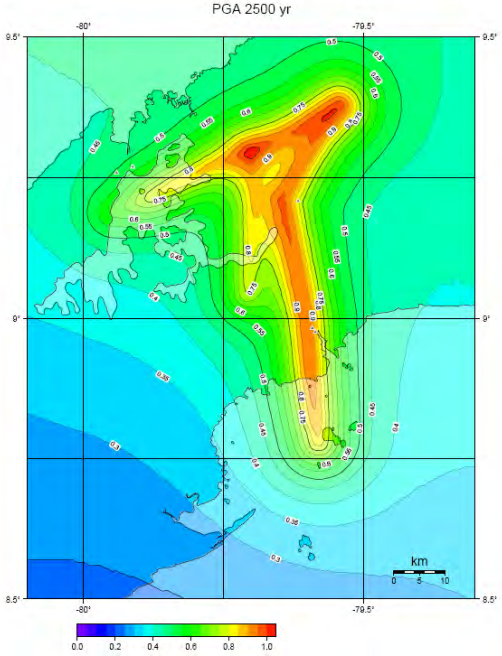


Amenaza Sísmica



Mapa de amenaza sísmica del Área del Canal





Matriz de Riesgo y Criterio de Diseño Sísmico

Nivel de desempeño estructural

Nivel de movimiento del terreno	Completamente Operacional (rango elástico)	Daños Reparables	Daños extensos pero los reservorios se preservan	Pacífico – Norte	Pacífico – Sur	Atlántico
1 /475	**Diseñar las esclusas**			0.522g	0.504g	0.330g
1 /1,000		**Verificar Estabilidad de Esclusas**		0.718g	0.685g	0.404g
1 /2,500			**Verificar retención de reservorios**	0.970g	0.902g	0.545g

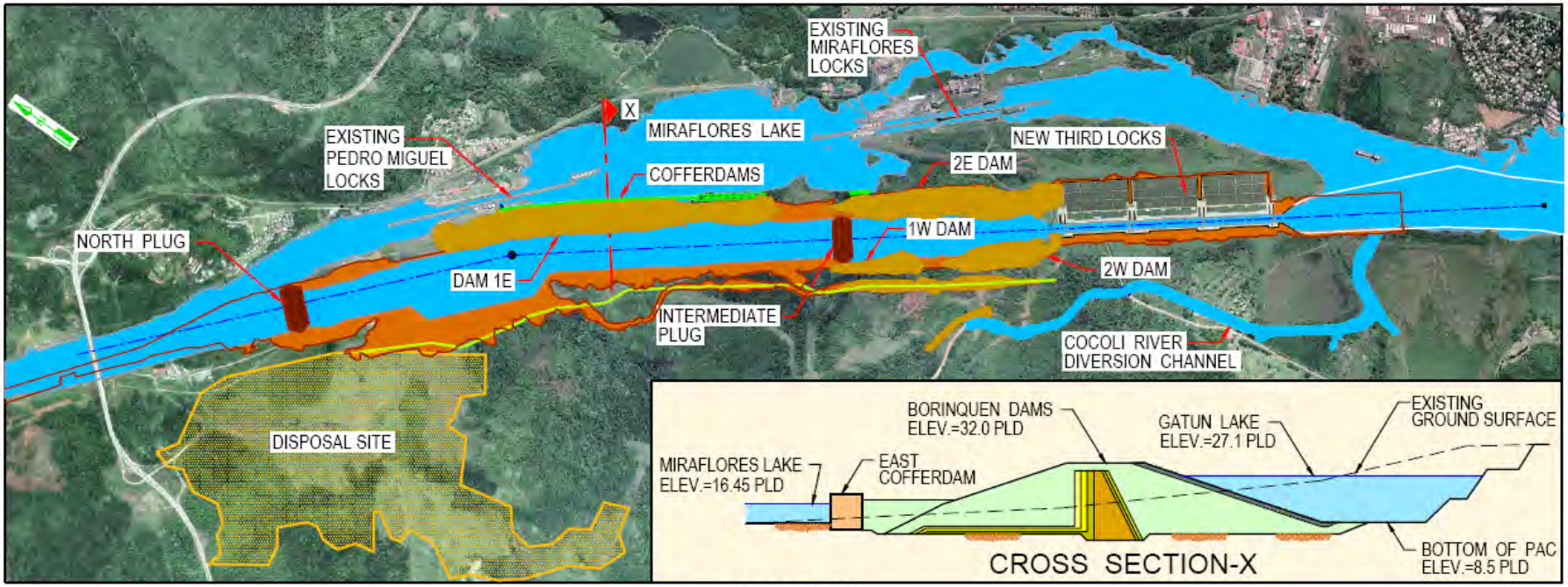
Requisitos para esclusas:

- Nivel I – Seguir operacional después de un evento con un periodo de retorno de 475 años
- Nivel II – Daños que no causen el colapso de las estructuras pero requieran de reparación después de un evento de 1,000 años

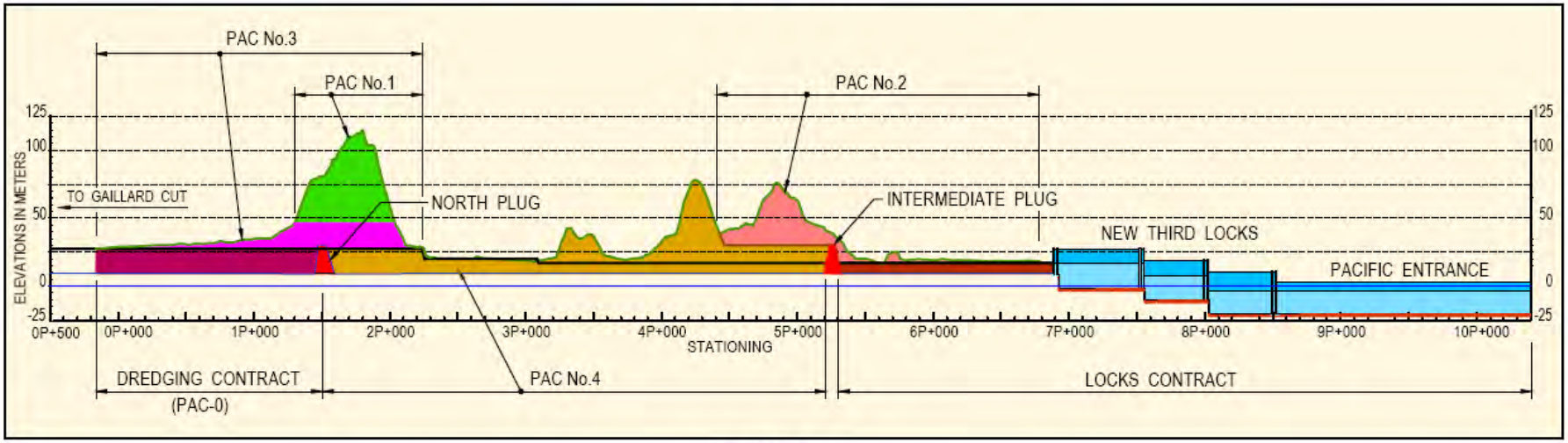
Requisitos para Represas:

- Nivel I – No sostener daños después de un evento con un periodo de retorno de 1,000 años
- Nivel II – Daños que no causen la pérdida del lago Gatún pero requieran de reparación después de un evento de 2,500 años

Canal de Acceso Pacifico



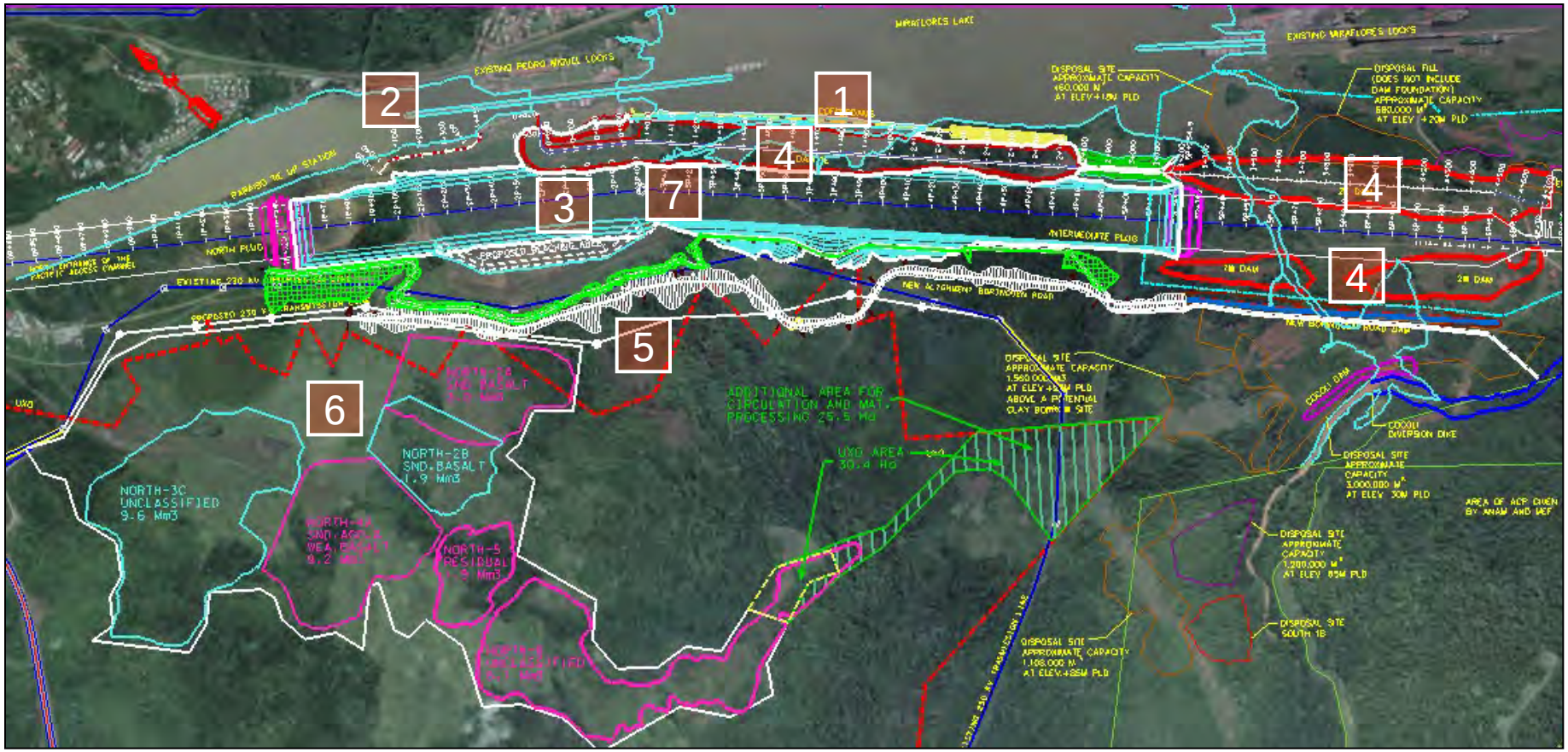
PLAN VIEW



PROFILE

Diseño del Canal de Acceso Pacifico

Componentes del Canal de Acceso Pacífico



1- Ataguía Celular y tablestacas

2- Cortina en Represa Pedro Miguel

3- Excavación Seca CAP-0, 1, 2, 3 y 4. Abatimiento del nivel de agua

4- Represas Borinquen 1E, 2E, 1W y 2W

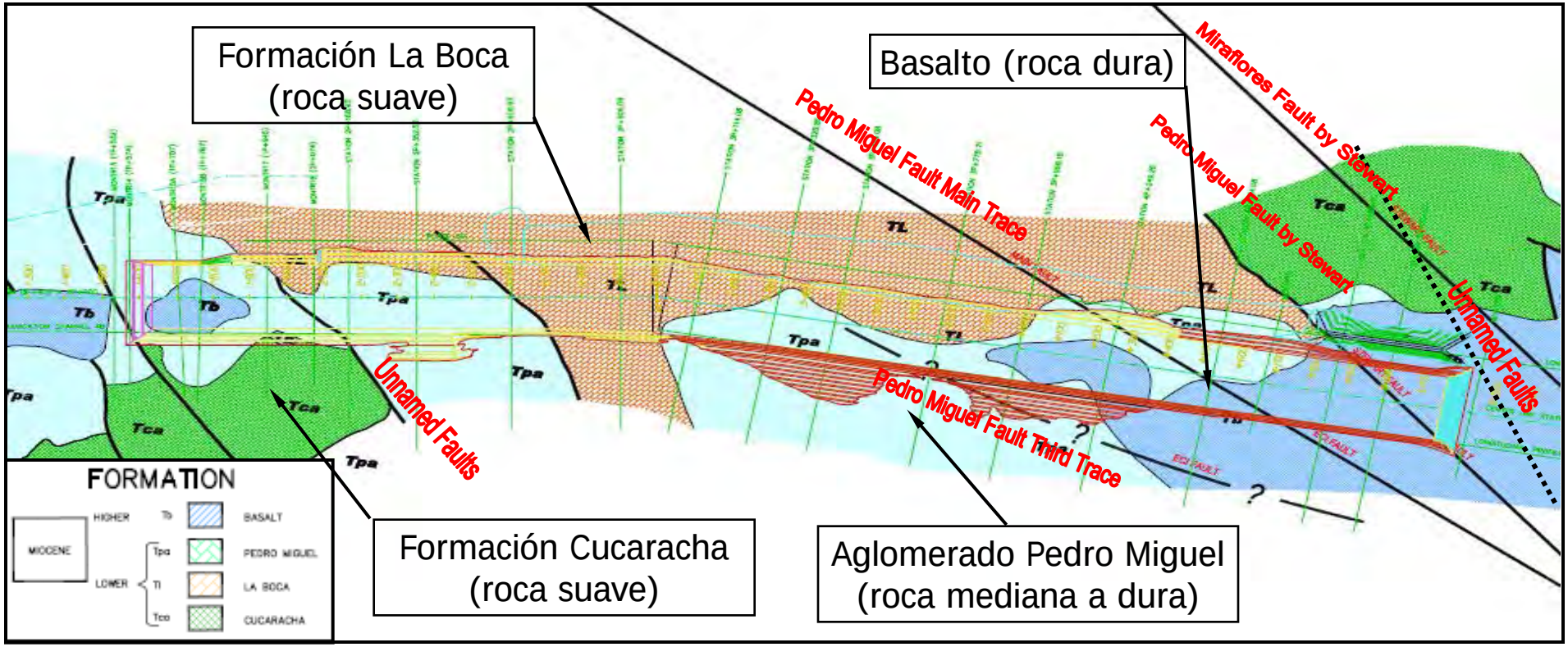
5- Canal de Desvío y Drenaje

6- Manejo de Sitios de Depósito, Limpieza de Explosivos y Procesamiento de Materiales

7- Vigilancia y Llenado de Prueba

Caracterización Geológica y Geotécnica

Geología Local



Perforaciones:

- 217 entre 2006 y 2008
- Lugeon (53 en 18 perforaciones)
- LeFranc (41 en 13 perforaciones)
- Dilatómetro (57 en 19 perforaciones)
- 15,000 pruebas de Laboratorio

Trincheras: 20

Geofísica:

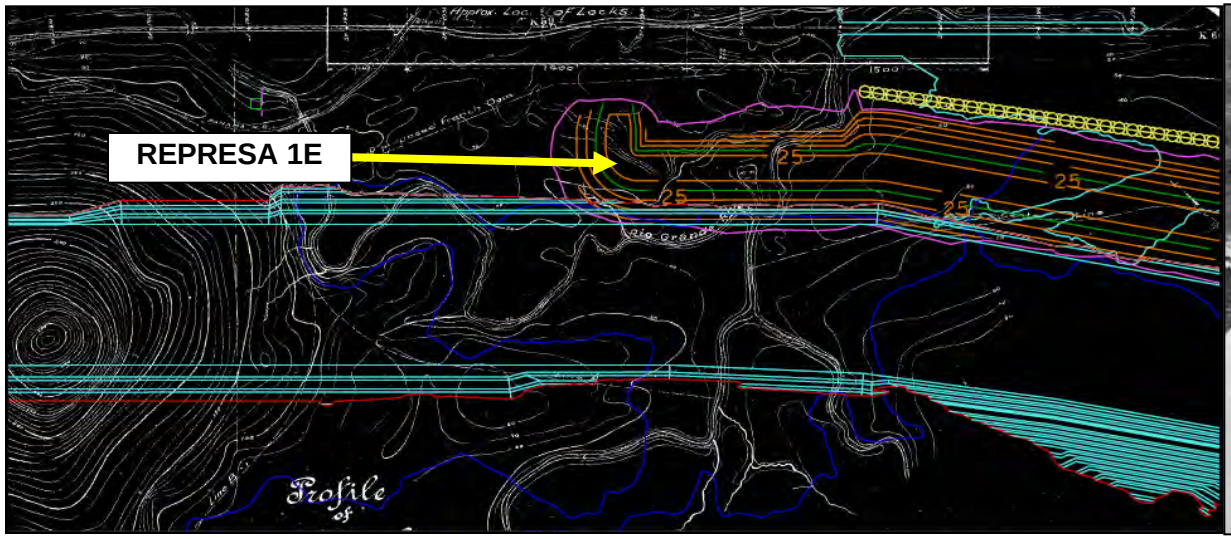
3 Refracción Sísmica (3 perfiles)

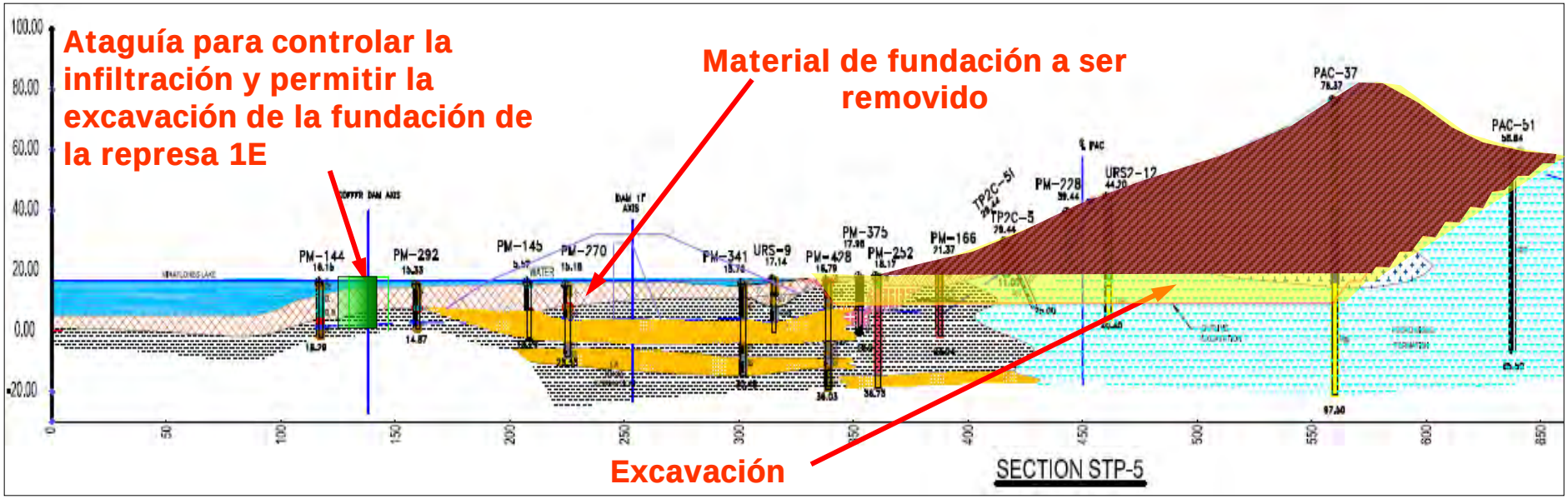
4 Cross hole seismic velocity surveys

Trincheras Paleosísmicas

Caracterización Geológica

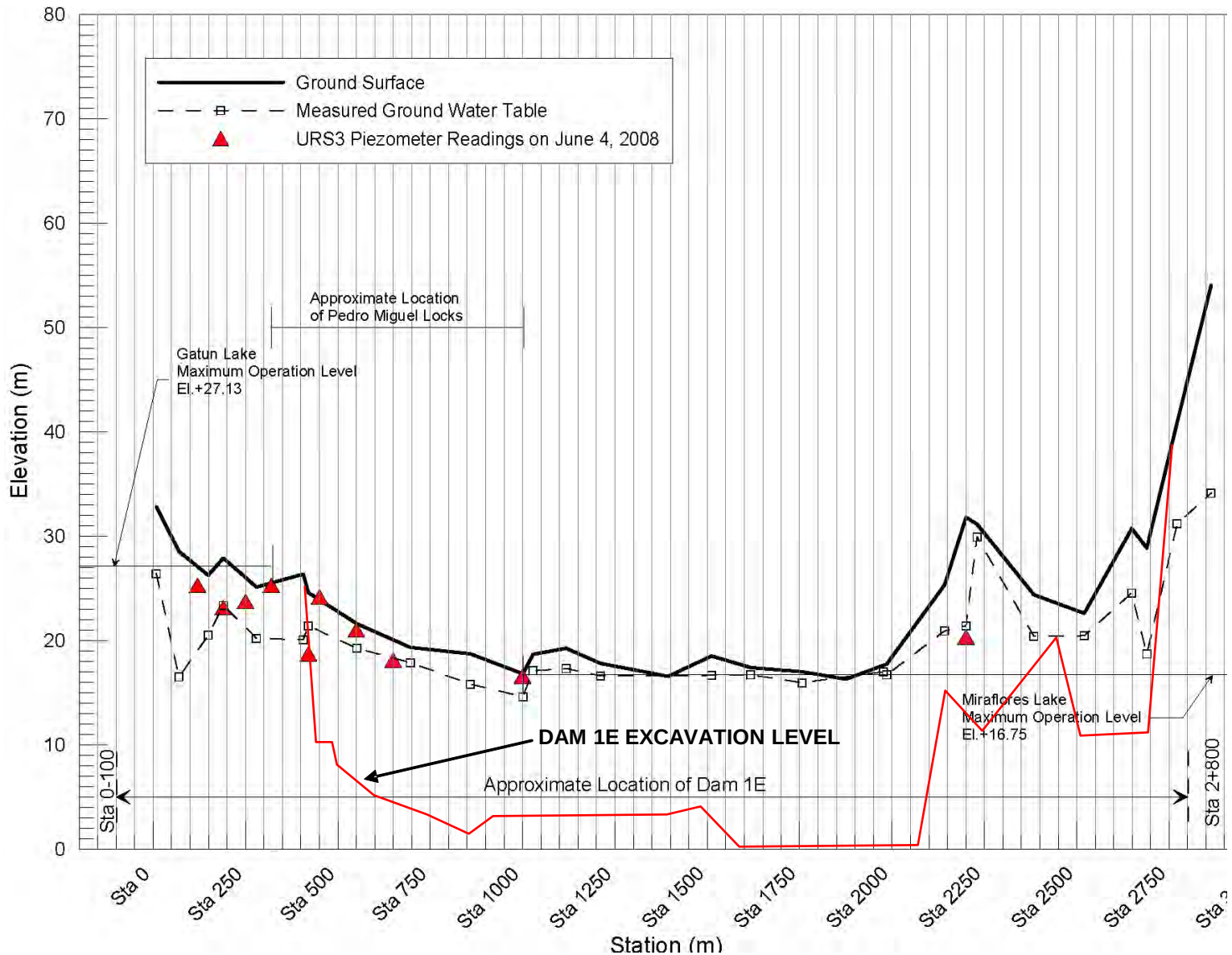
Valle del Rio Grande Valley– Material de Relleno



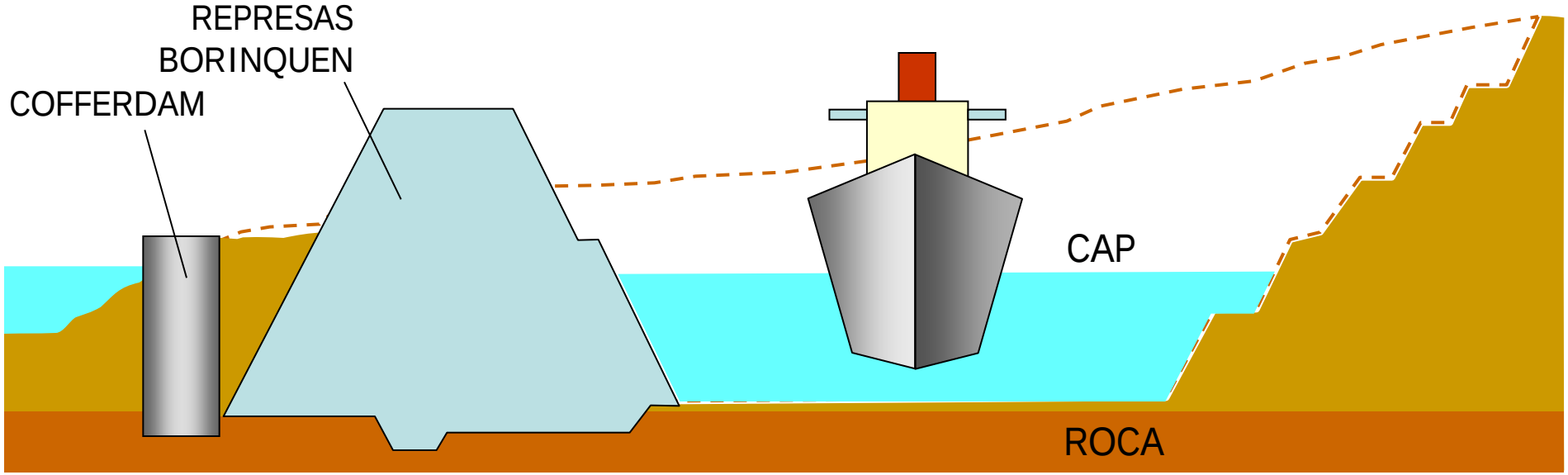


Caracterización Geológica y Geotécnica

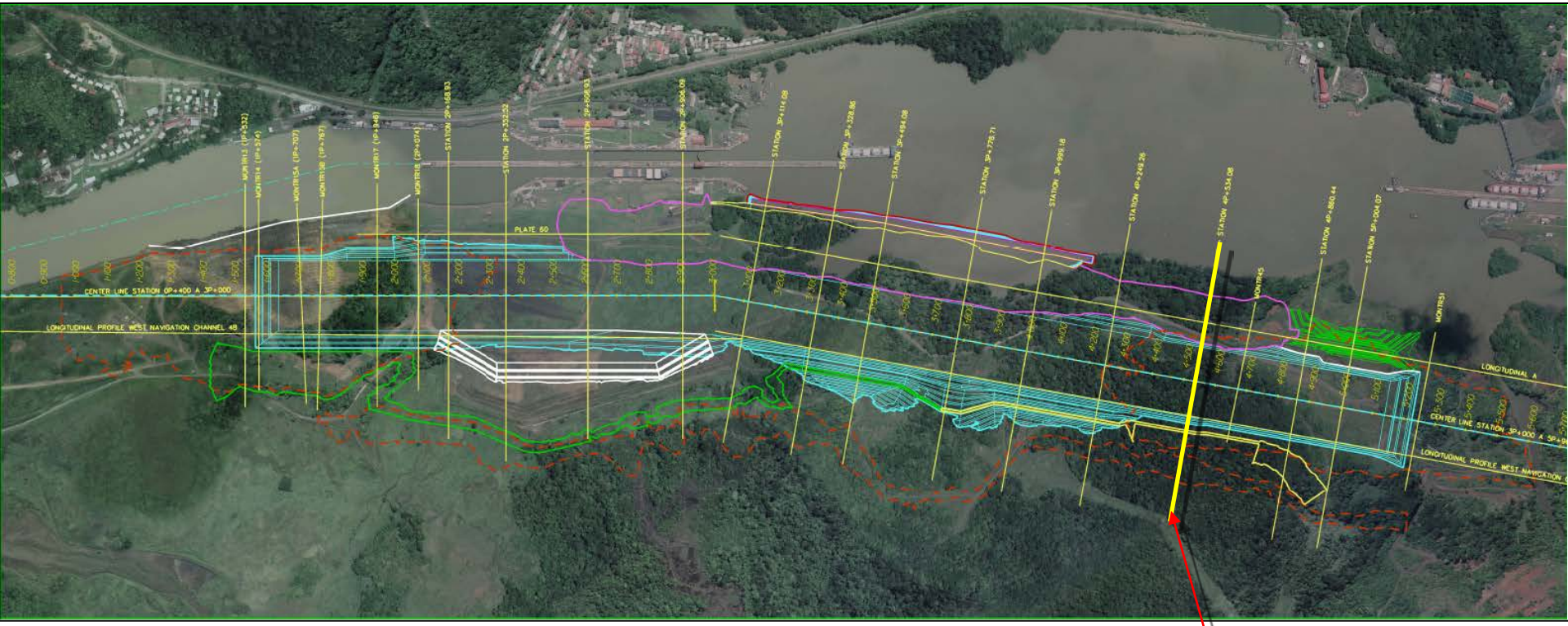
Condiciones de Agua



Concepto General de Excavación



Diseño de Excavaciones

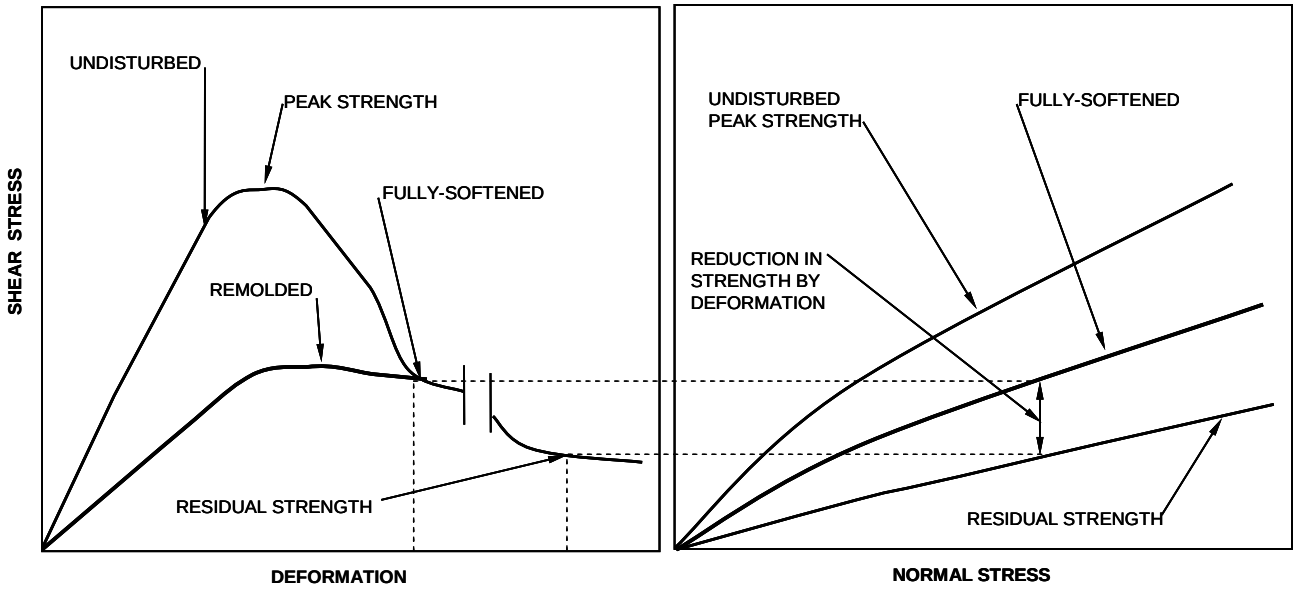


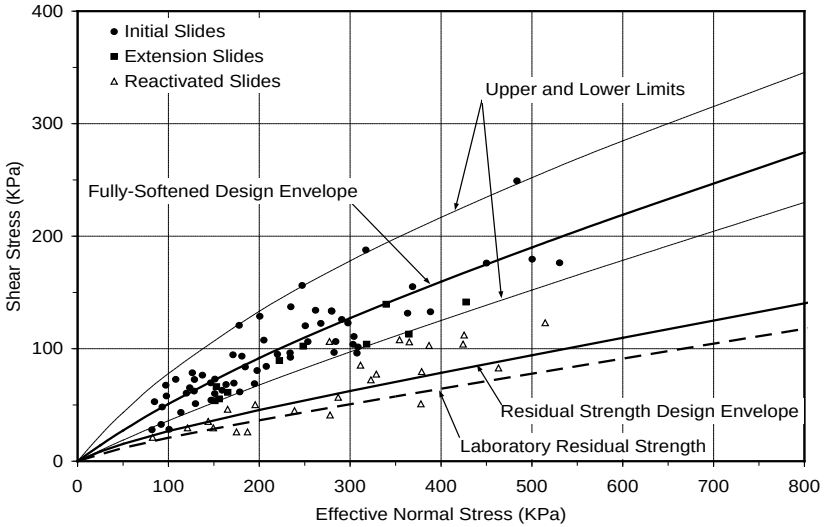
21 Secciones fueron analizadas:

STATION
4P+534.08
(MONTR 44)

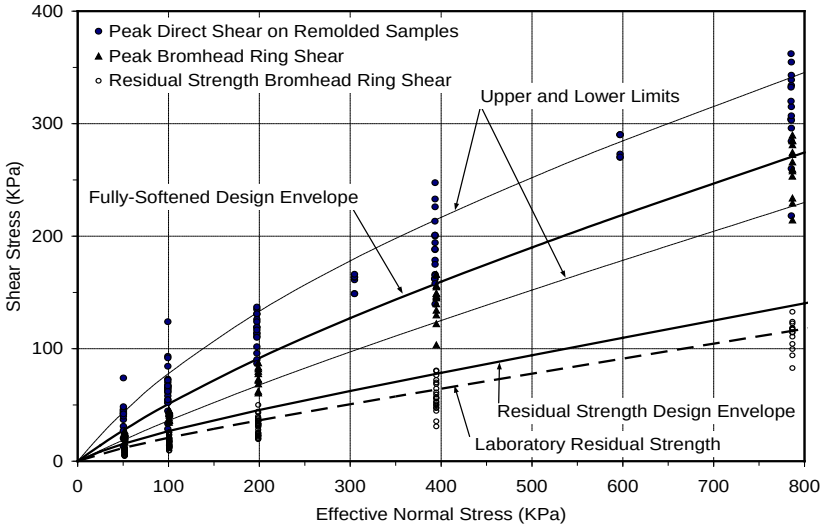
Una Historia de Deslizamientos

Modelo Geotécnico de Diseño de Taludes





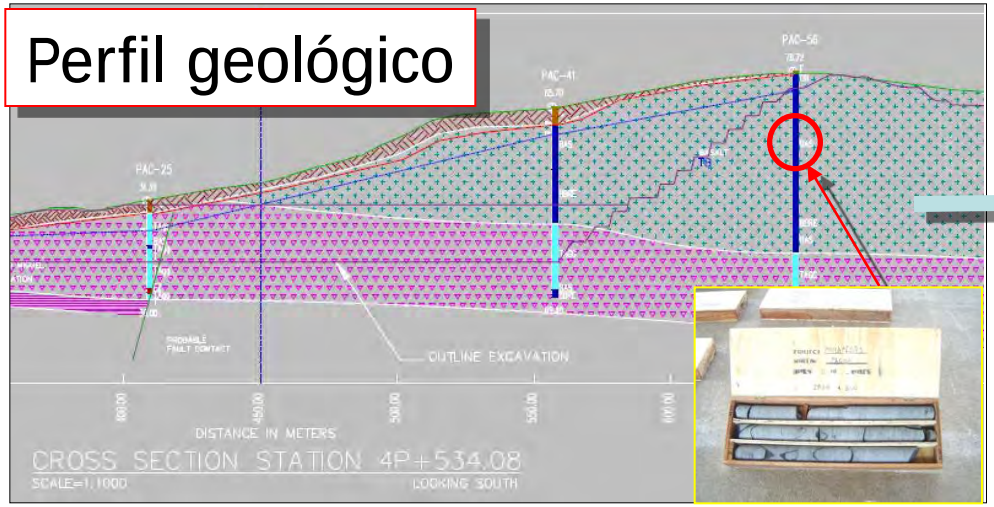
a) Compared to Past Failures



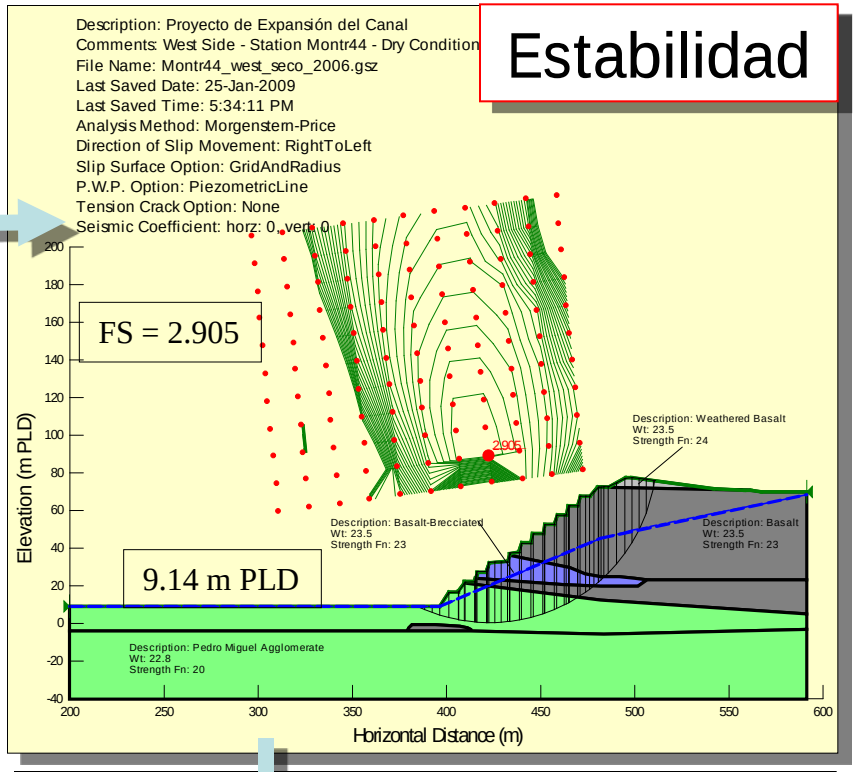
a) Compared to Laboratory Tests

Sección 4P+534.08 (MONTR 44) (west side)

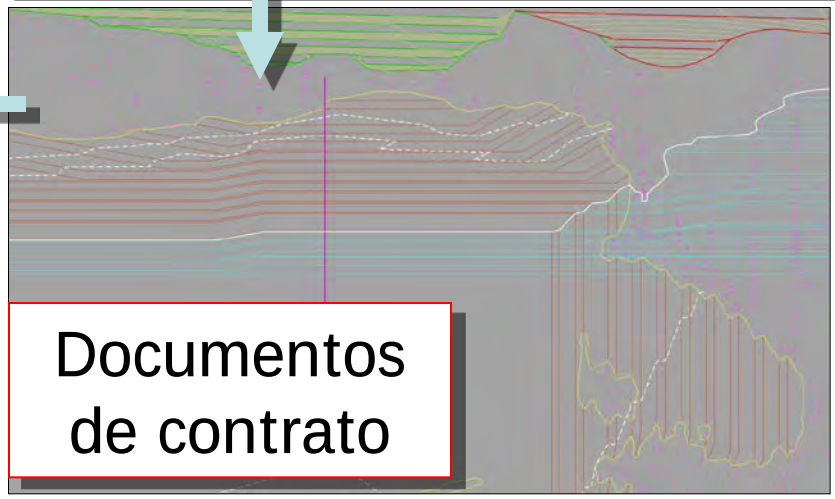
Perfil geológico



Estabilidad

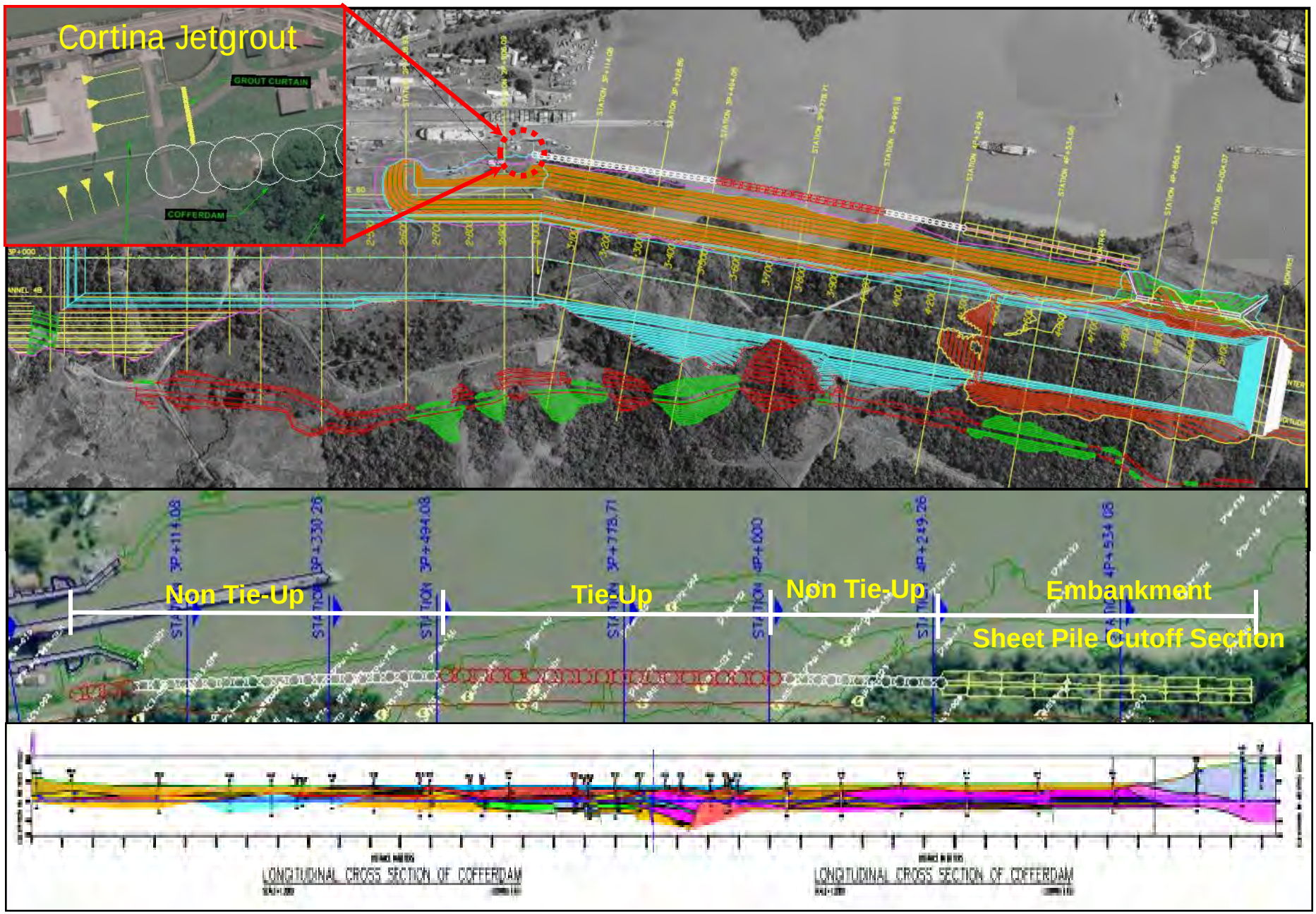


Desempeño de excavación

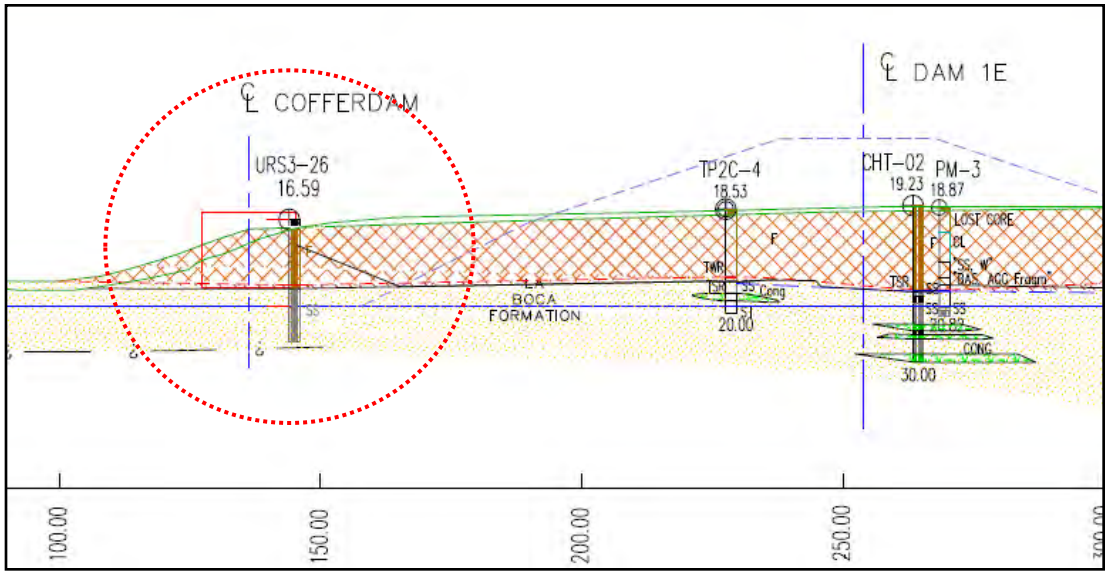


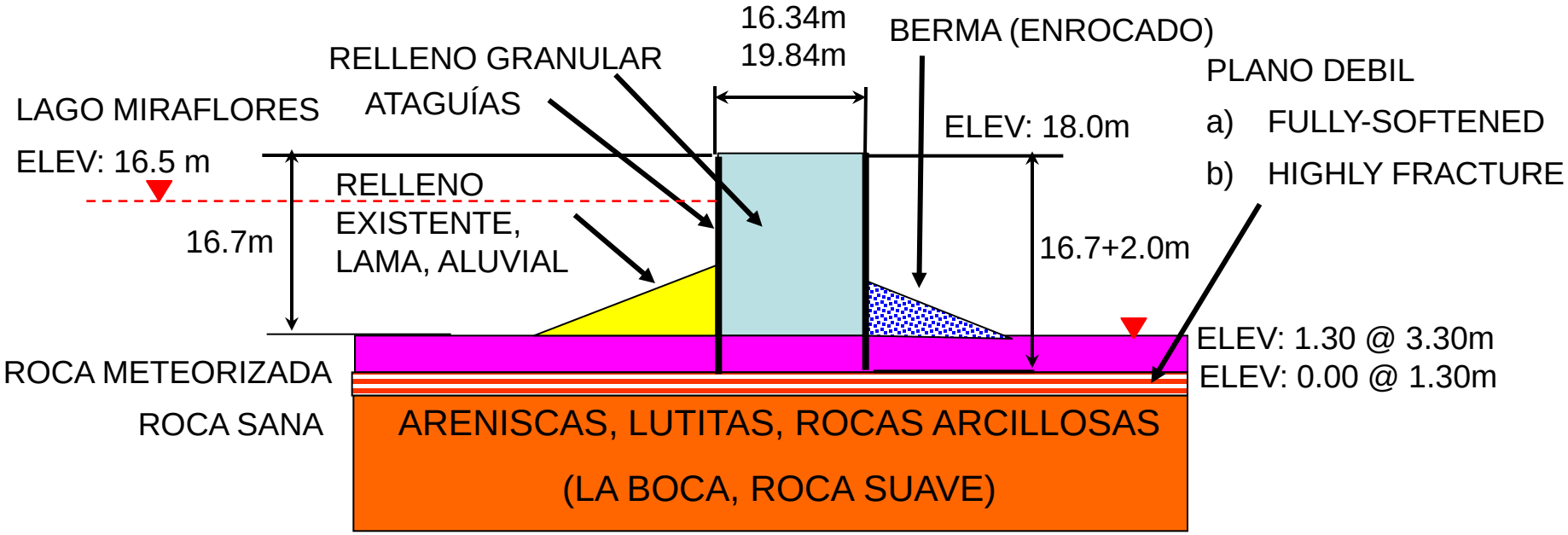
Documentos de contrato

Ataguía Celular



Modelo Geotécnico - Ataguía Celular





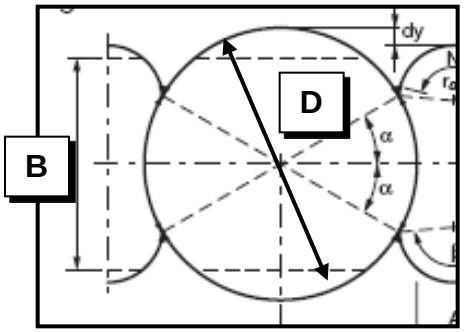
Análisis de Estabilidad - Ataguía Celular

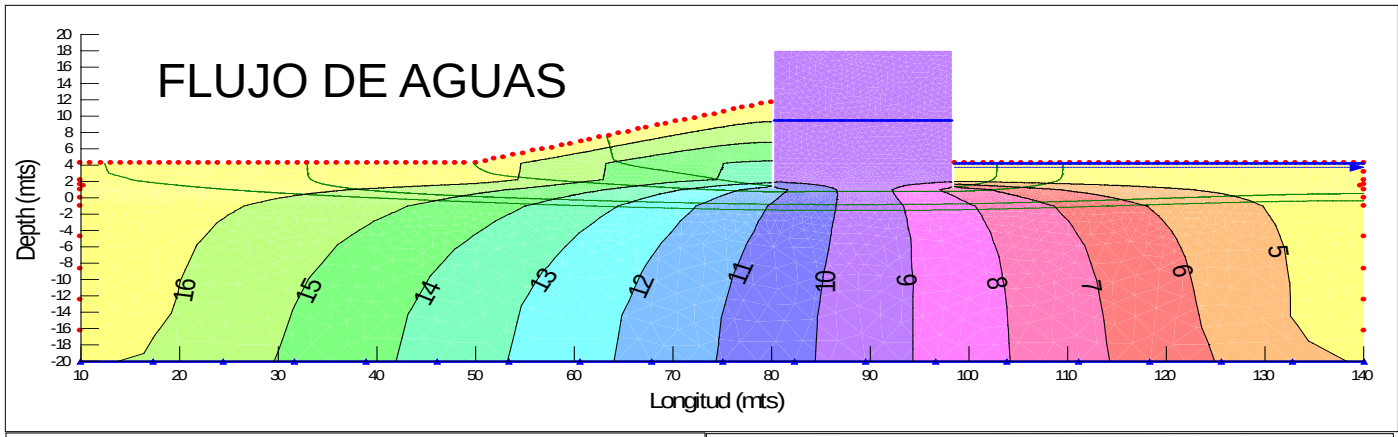
Dimensiones Finales:

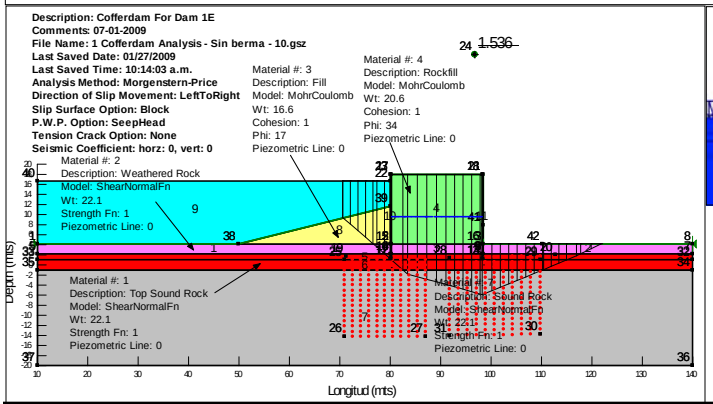
H = 16.70 m

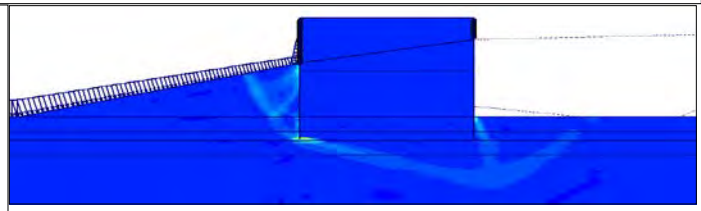
B = 19.84 m (0.911D)

D = 21.77 m (1.30H)

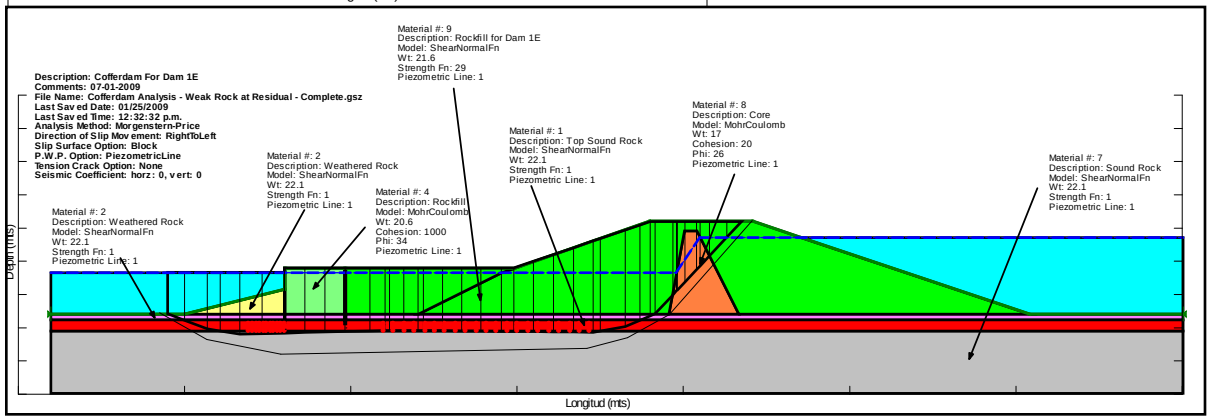








ESTABILIDAD Y DEFORMACIONES



ESTABILIDAD GLOBAL

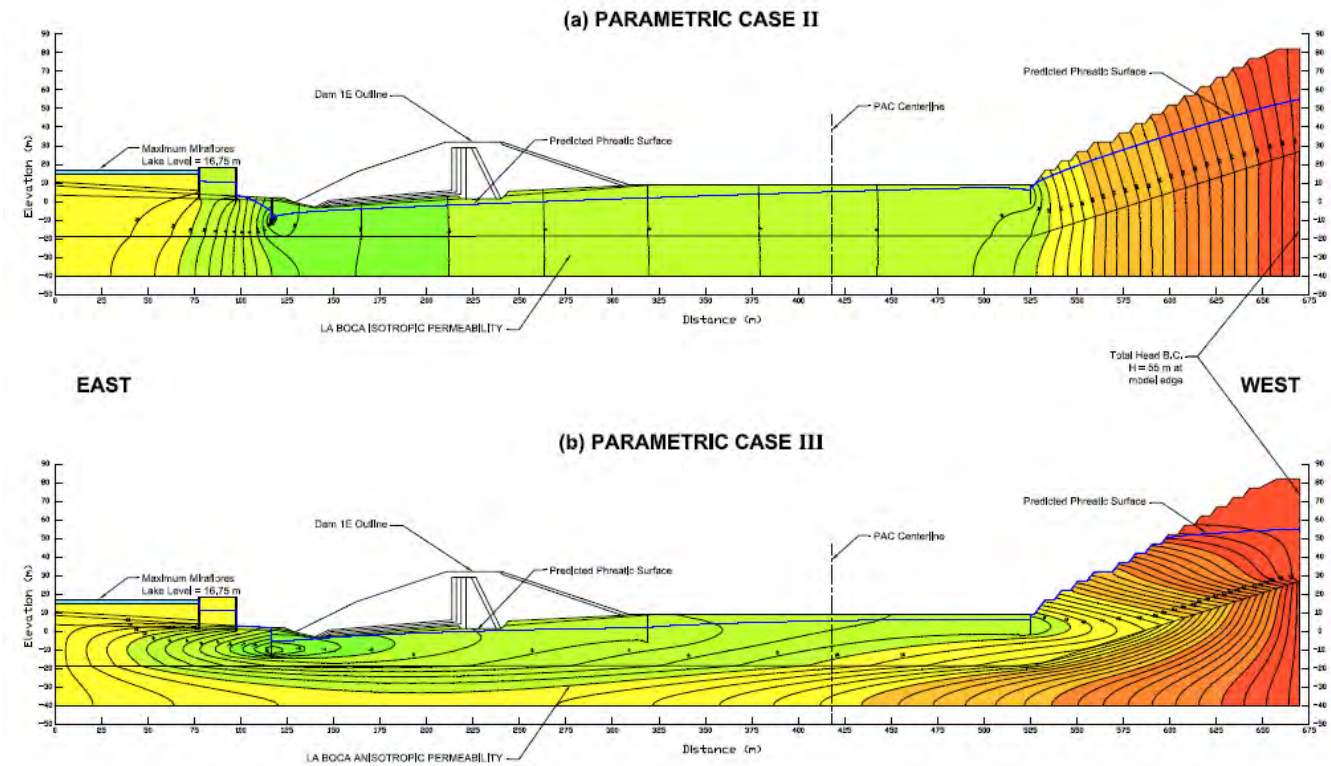
Abatimiento del Nivel de Agua Durante Excavacion

- Se espera que la escorrentía sea aproximadamente 2/3 de la capacidad requerida
- Se requiere bajar el nivel freático 1.0m por debajo de la fundación de la represa durante el tratamiento de la misma.
- Durante la construcción del relleno de la represa, el nivel freático se tiene que mantener 3.0m por debajo de la elevación del relleno.

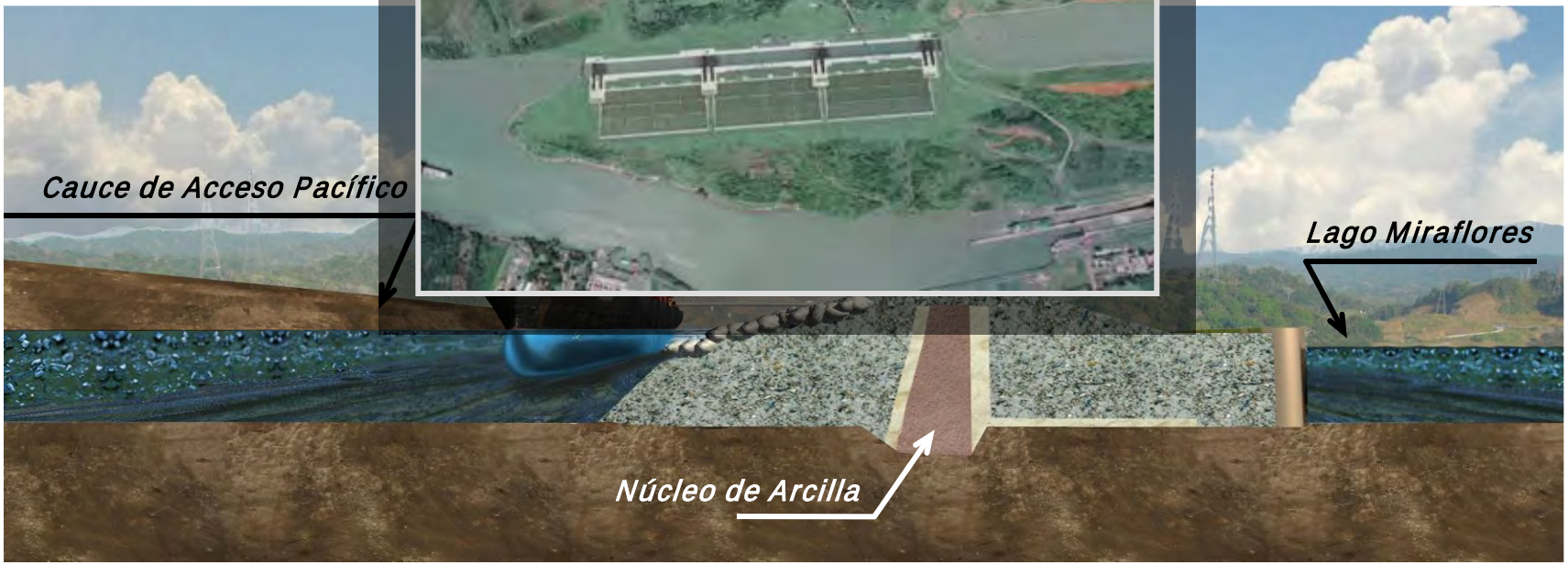
Capacidad Bombeo Subterránea Requerida: 130,000 m3/día

Capacidad Bombeo Superficial Requerida (escorrentía): 370,000 m3/día

Capacidad minima total = 500,000 m3/día



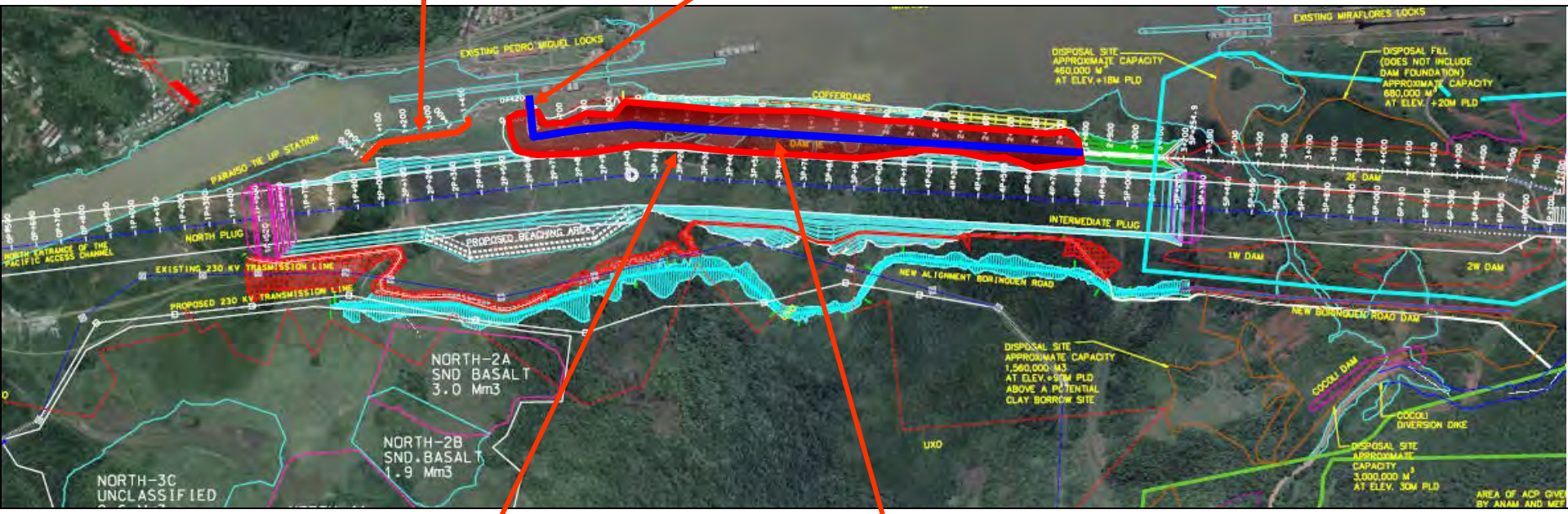
Diseño de las Represas Borinquen



Componentes de la Represa Borinquen 1E

Cortina de Pedro Miguel

Amarre Norte contra las esclusas



Represa

Tratamiento de la Fundación

Cortina de Inyección

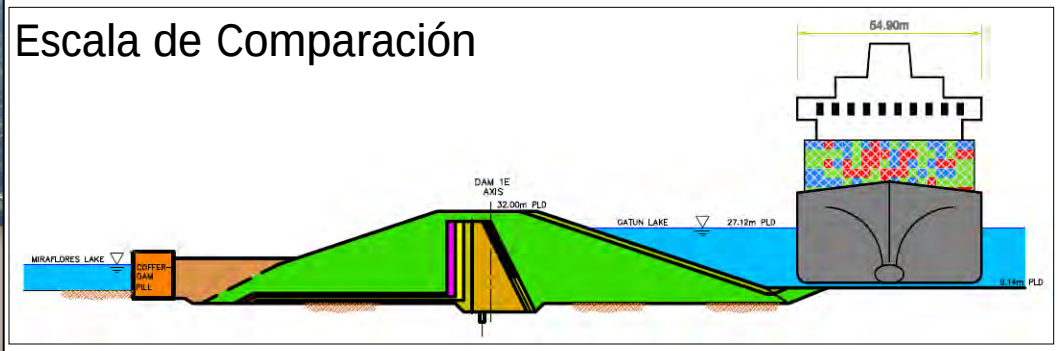
Criterio de Diseño de la Represa Borinquen

- Nivel de Operación Máxima de Lagos
  - Gatun: 27.13 m
  - Miraflores: 16.75 m
- Nivel Mínimo de Operación
  - Gatun: 23.93 m
  - Miraflores: 16.45 m
- Fondo del PAC
  - Nominal: 9.14 m
  - Tolerancia: 8.34 m
- Características Geométricas
  - Elevación de Corona: 32 m
  - Ancho Mínimo de Corona: 30 m
  - Pendientes: 3H (mínimo) : 1V
  - Camber para asentamientos pos-construcción y sísmicos

- Criterio Sísmico:
  - Sismo de 1/2500-años sin pérdida del Lago Gatún. Aceleración Media PGA = 0.97g
  - Sismo de 1/975-años sin daños que requieran respuesta de emergencia. Aceleración Media PGA = 0.72g
  - Debe soportar ruptura de falla en la fundación de hasta 3.0m Horizontal y 0.50m vertical
- Soportar un encallamiento de un Pos-Panamax de 160,000 Ton M (Ladden y Ballast)

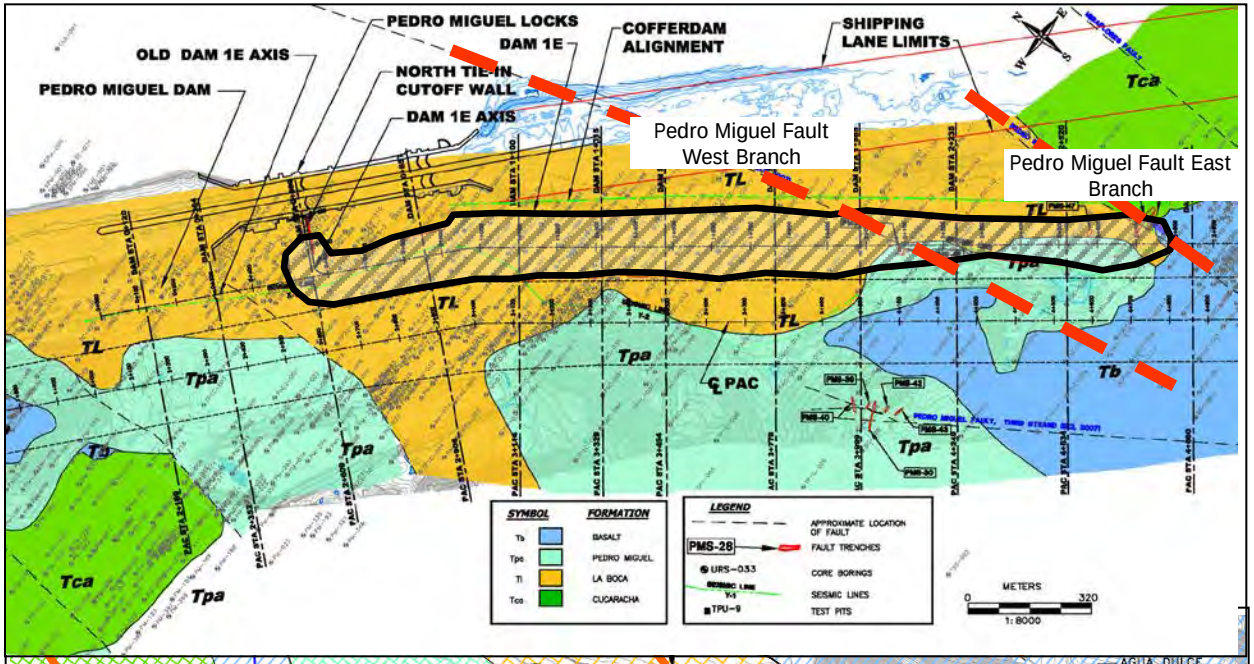
Importancia de la Represa Borinquen

- Criterio de Diseño Sísmico con potencial de desplazamientos verticales y horizontales de una falla en la fundación de la represa.
- Material del Núcleo Húmedo.

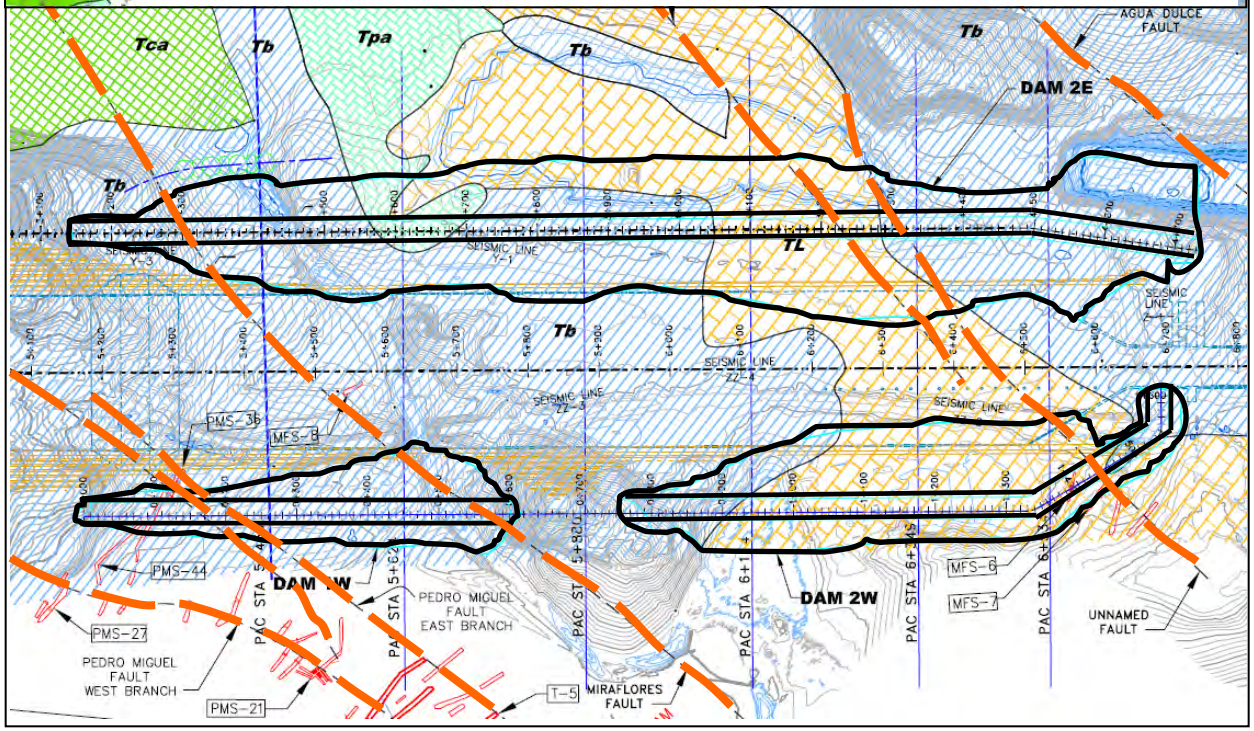


Planta Geológica

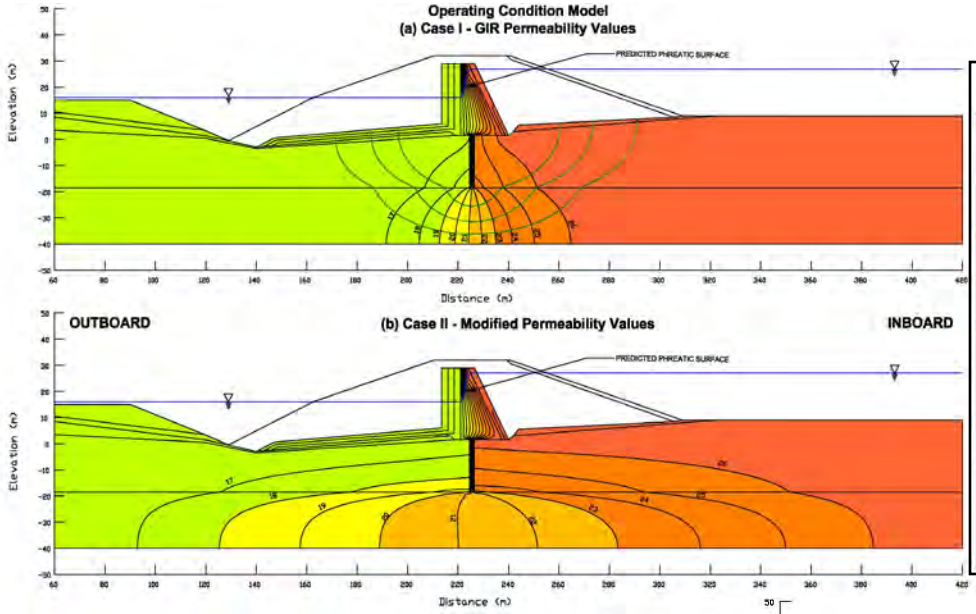
Borinquen 1E



Borinquen 2E, 1W y 2W



Análisis de Flujo de Agua



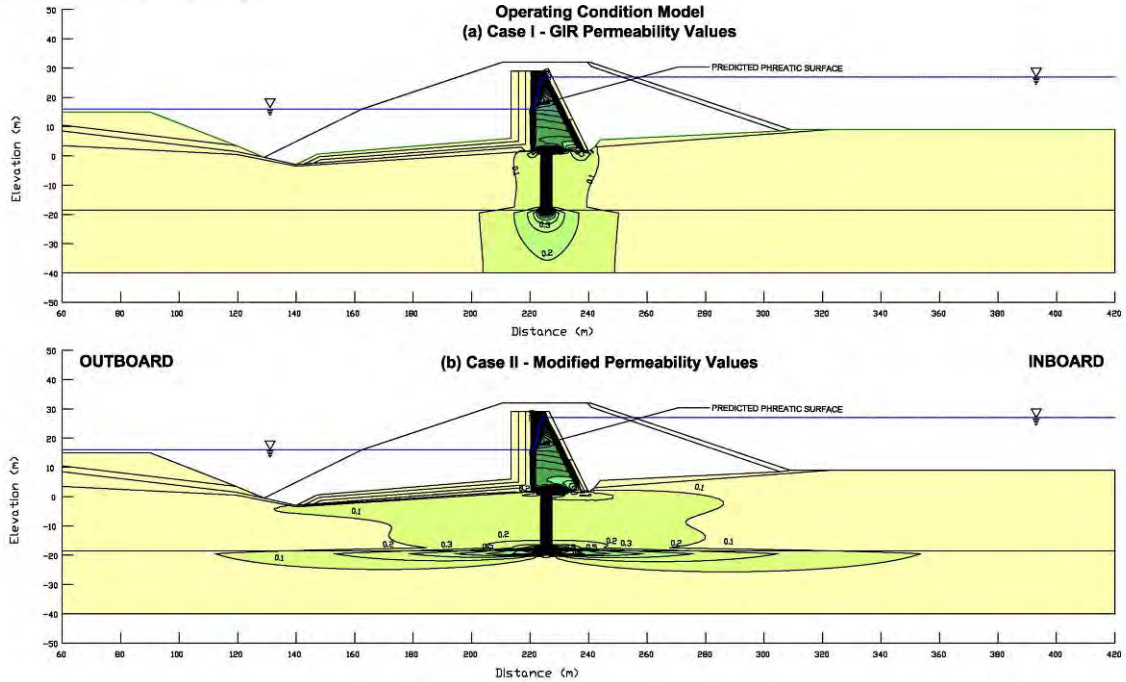
(b) Long Term Steady-State Conditions

Station	Seepage Quantity (m^3/sec per meter of dam length)		
	Through Dam	Under Dam	Total
0+820 (1)	3.05E-07	1.40E-05	1.43E-05
1+620 (2)	3.17E-07	1.74E-05	1.77E-05
2+120 (2)	1.47E-07	2.06E-05	2.07E-05
2+560 (3)	2.24E-07	1.87E-05	1.89E-05
Average Seepage Quantity per Unit Length of Dam			1.79E-05
Total Estimated Seepage Quantity (4)		4.12E-02 m^3/sec	
		652 gpm	

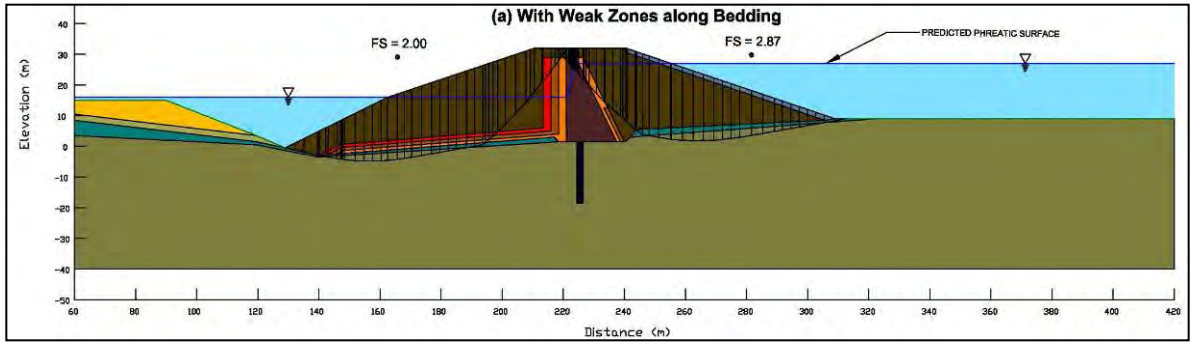
Cabeza Total

Station 1+620

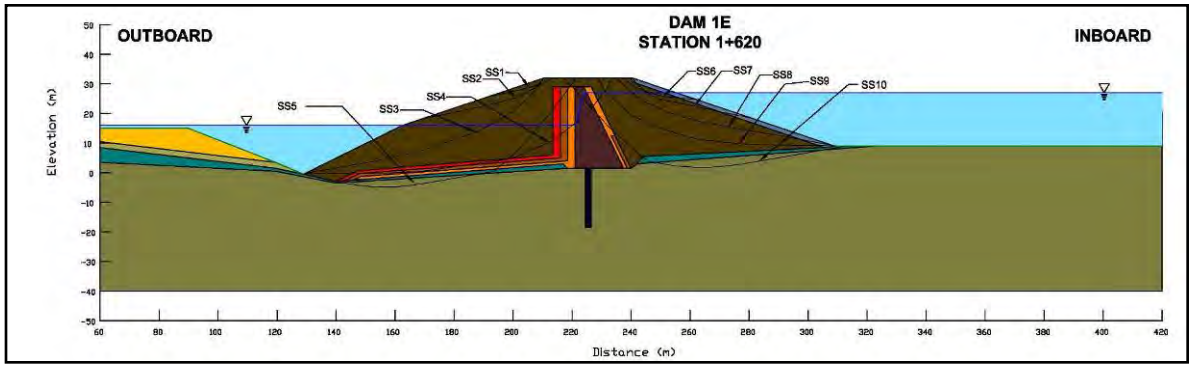
Gradiente Hidráulico



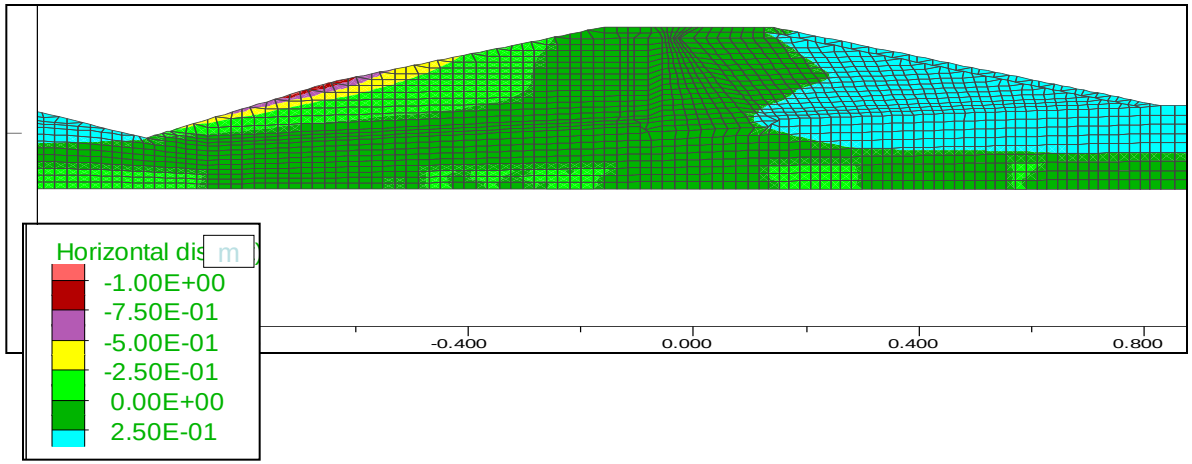
Análisis de Estabilidad



Estabilidad Estática



Análisis Pseudo-estático

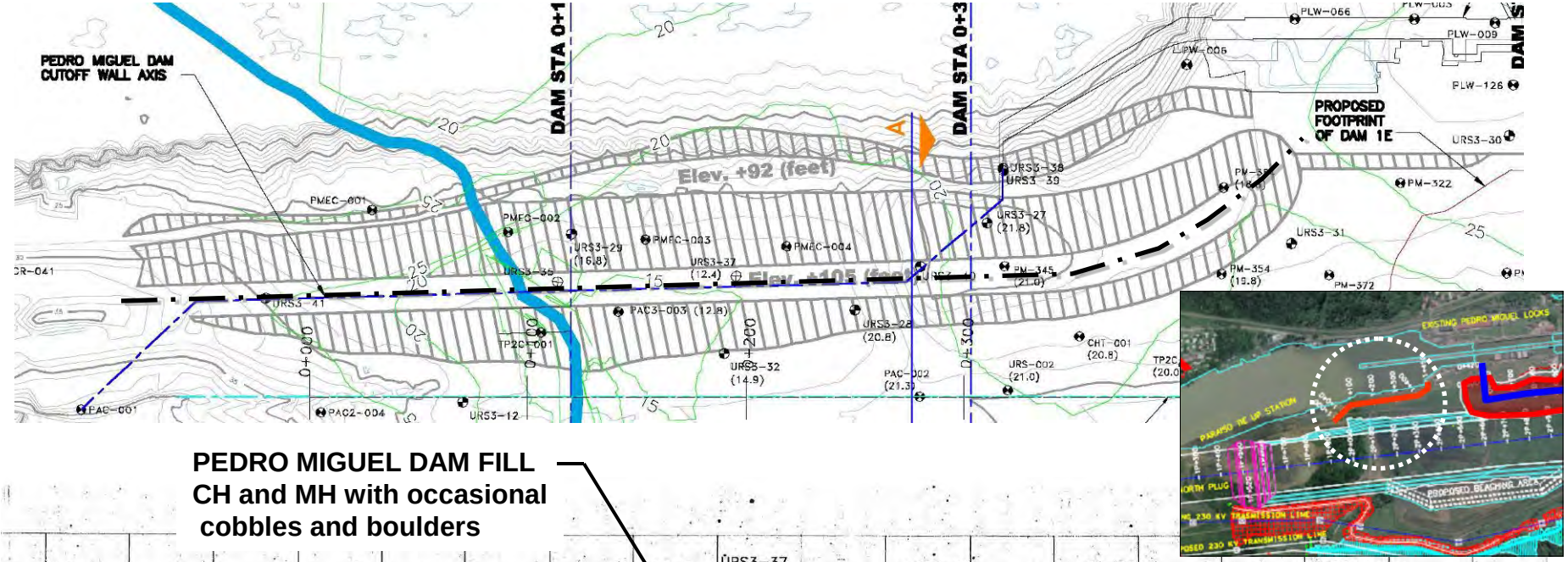


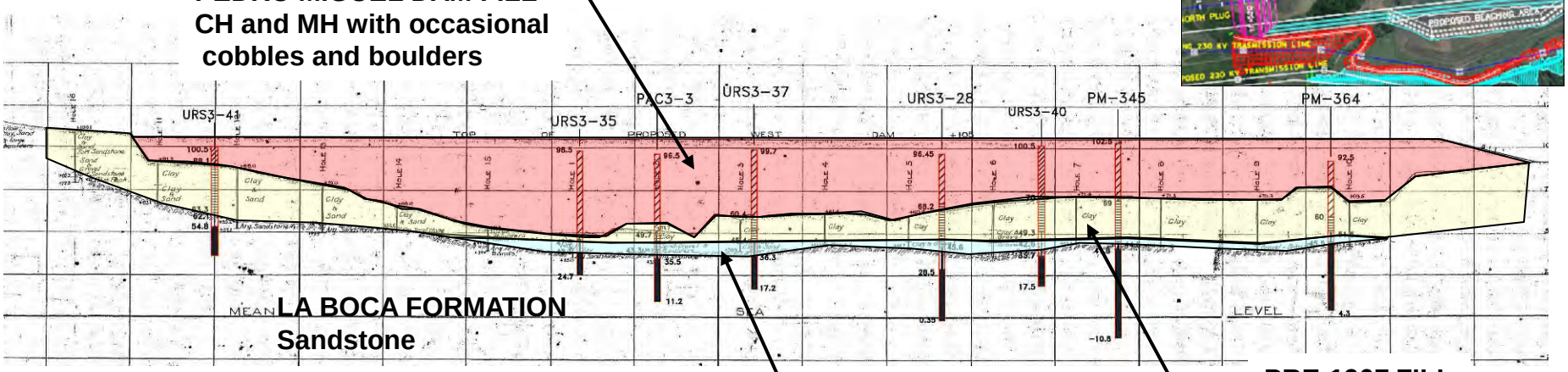
Estabilidad Sísmica (no-lineal)

Estimated Horizontal Displacements at Station 1+620 for 2500-yr Earthquake Motions (m)		
Analysis Type	**Inboard slope**	**Outboard slope**
Nonlinear coupled analysis	0 – 0.3	0.5 – 0.9
Decoupled analysis	0.2 – 0.3	0.1 – 0.2

Represa Auxiliar de Pedro Miguel

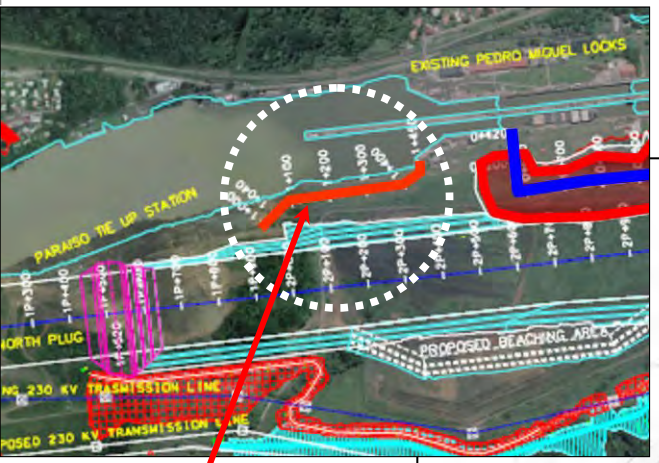
(Geología)



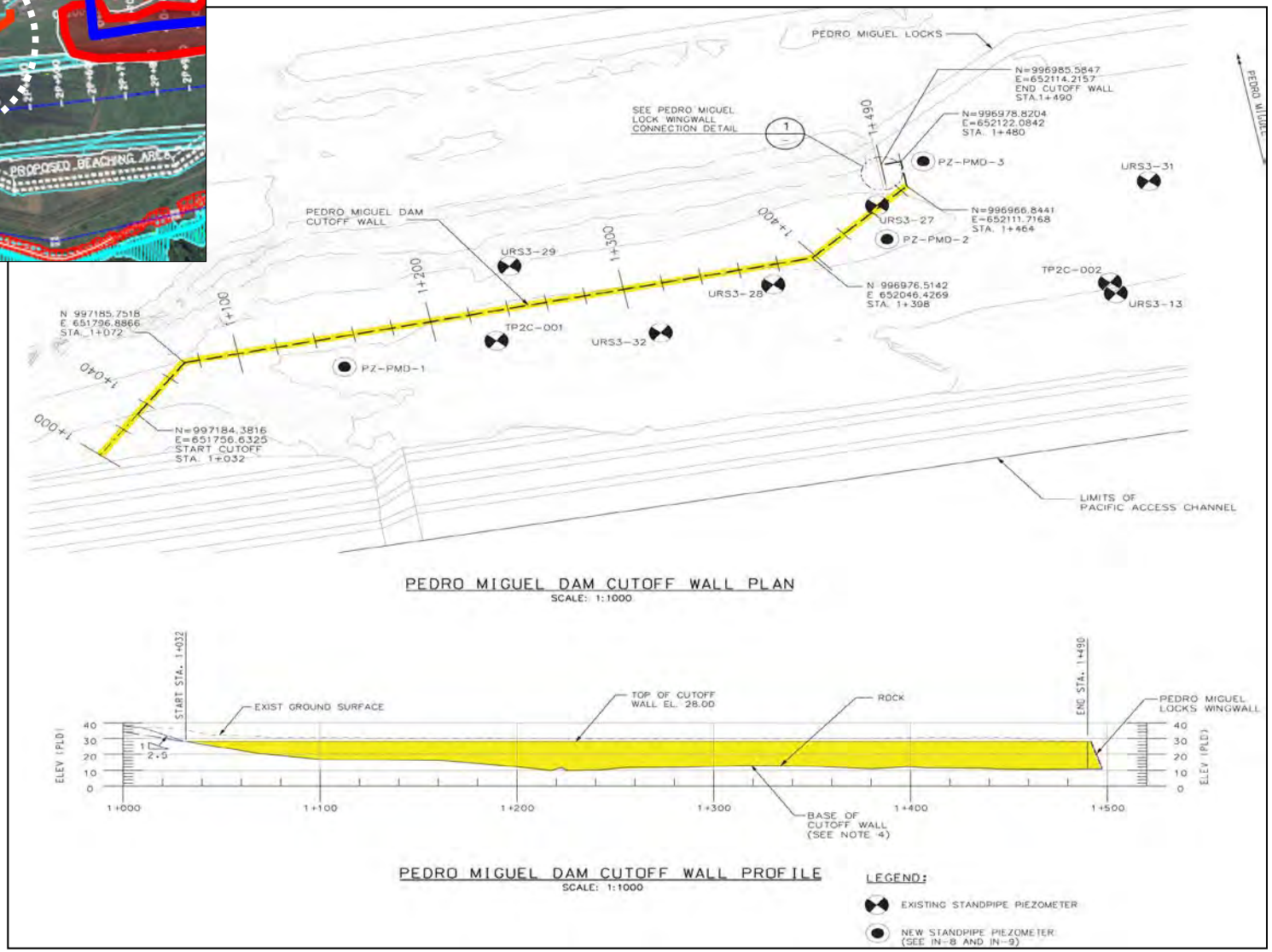


Represa Auxiliar de Pedro Miguel

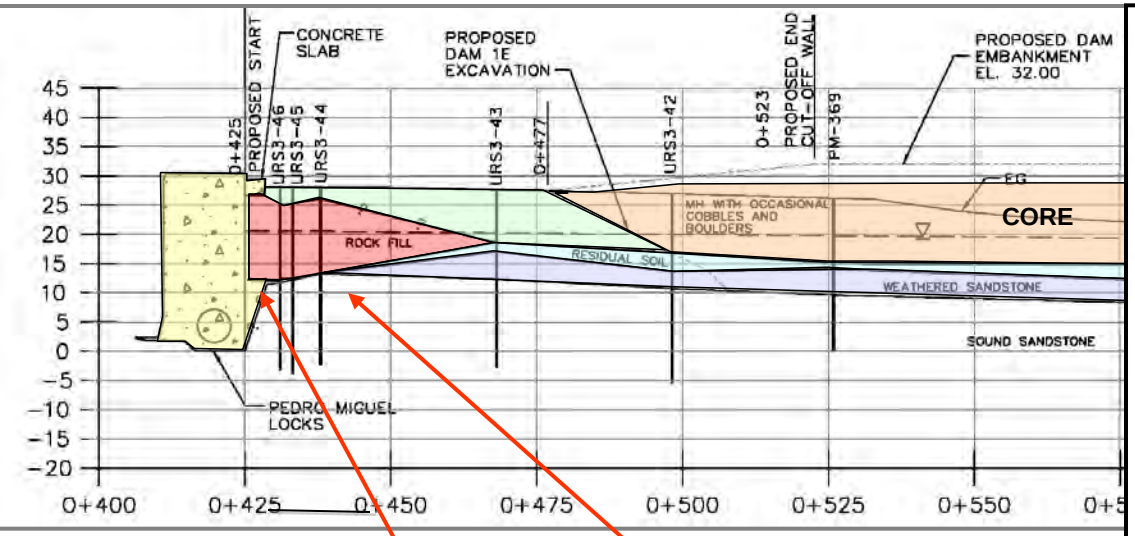
(Cut-off Wall)

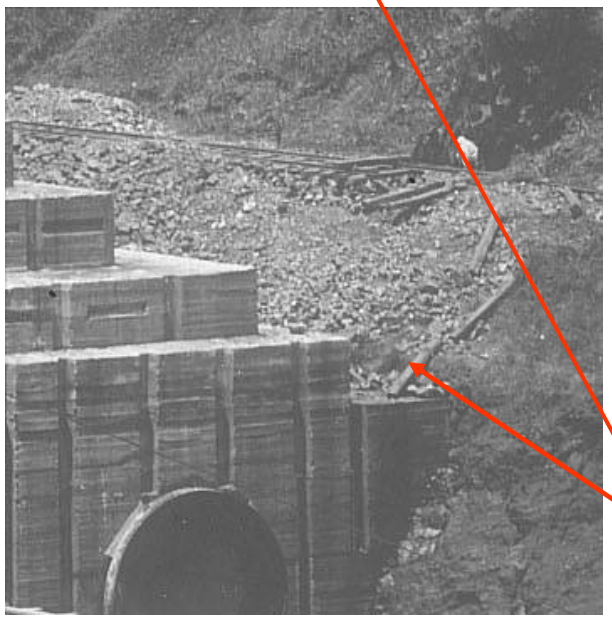


Cortina de PM



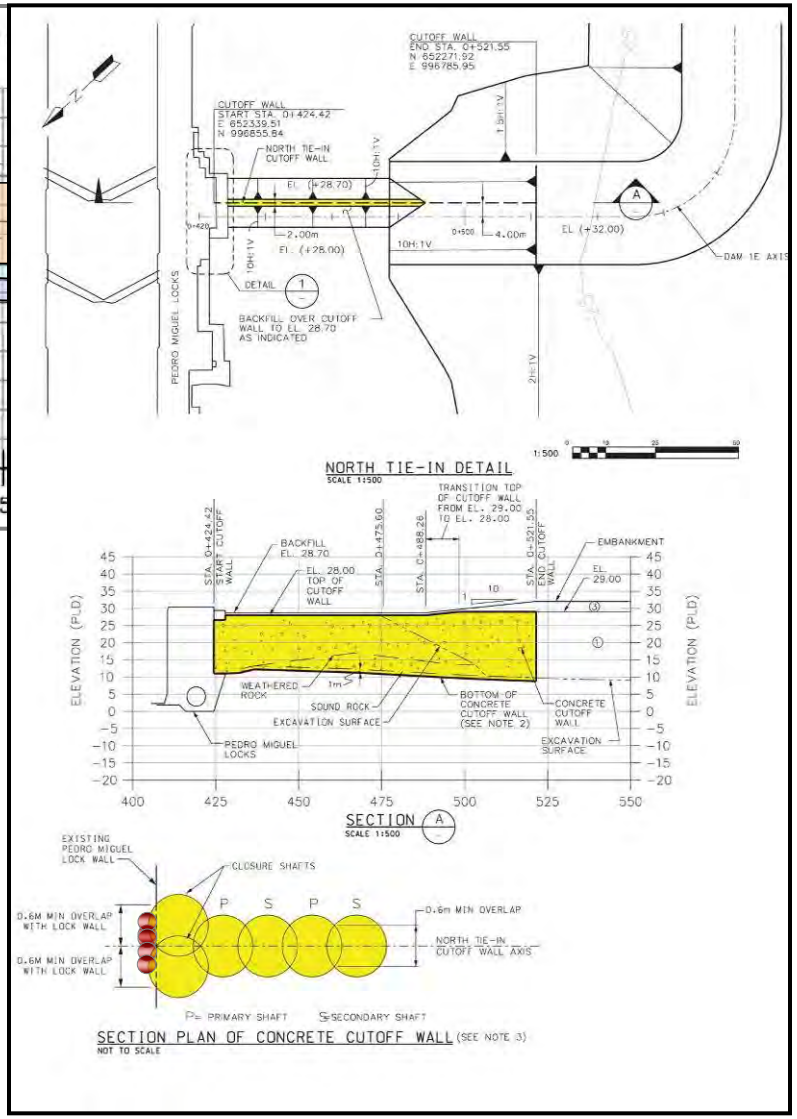
Amarre Norte con la Esclusa de Pedro Miguel





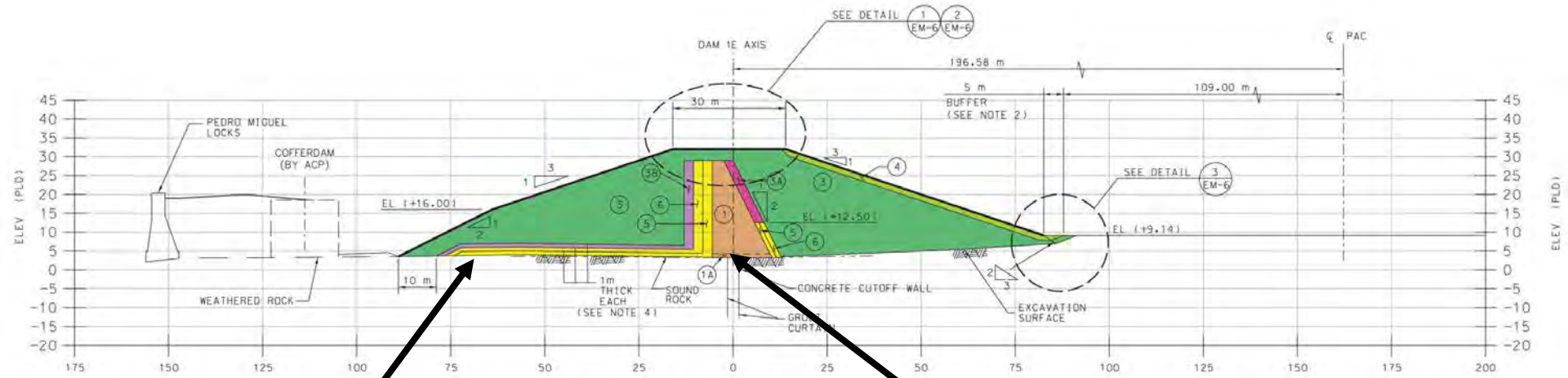
ROCKFILL con boulders de hasta 2 m en tamaño

URS3-53 confirmó la presencia del esta sección de hormigón



Cut-off Wall de pilotes secantes

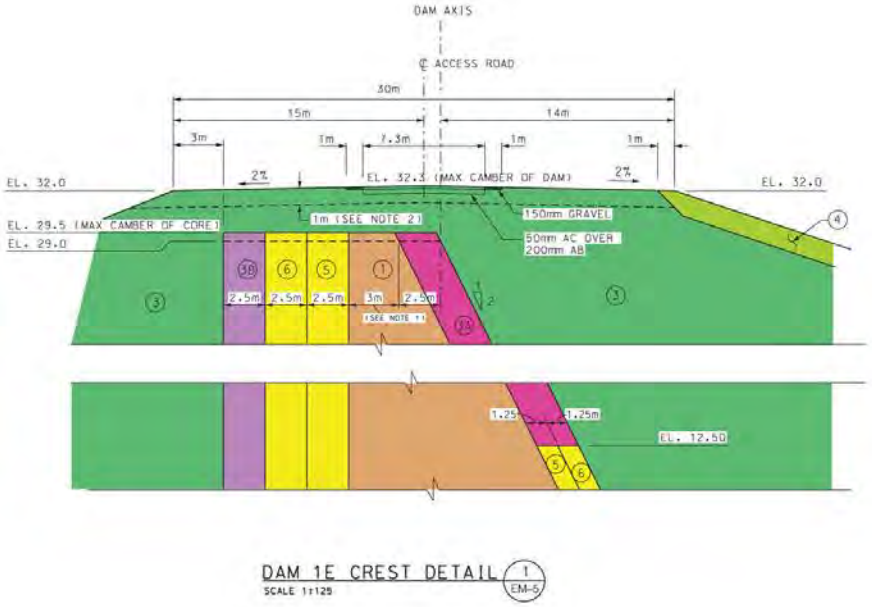
Sección Típica de Represa



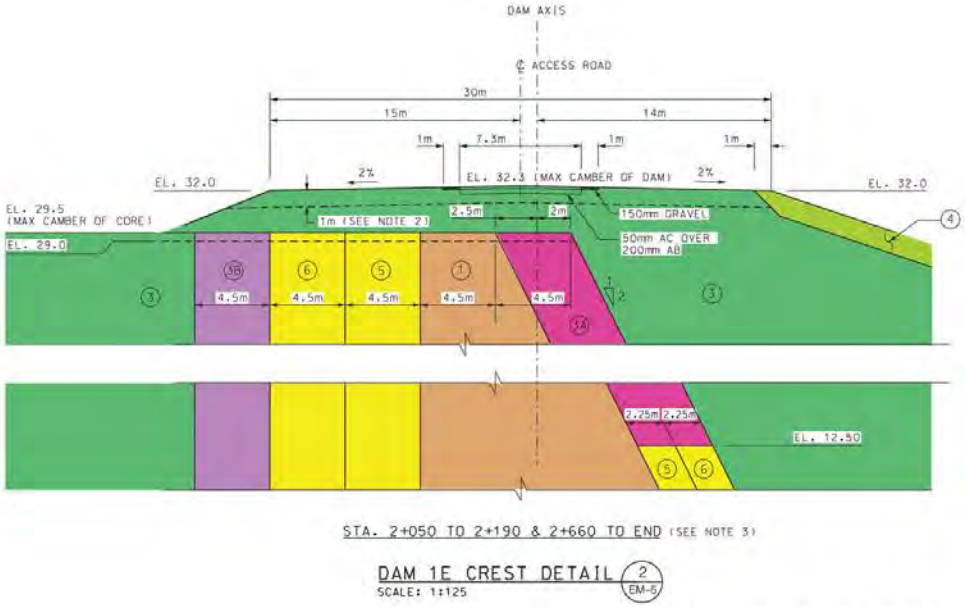
Roca Meteorizada

MAXIMUM SECTION AT STA. 1+000
(WITHOUT CAMBER)

Roca Sana



Sección de No Falla



Sección de Falla

Ensayo de Compactación para Materiales del Núcleo de las Represas de Borinquen

Materiales impermeables a ser utilizados en el núcleo de las represas han sido ensayados en campo .

Sobre-tamaño (Fabiana)

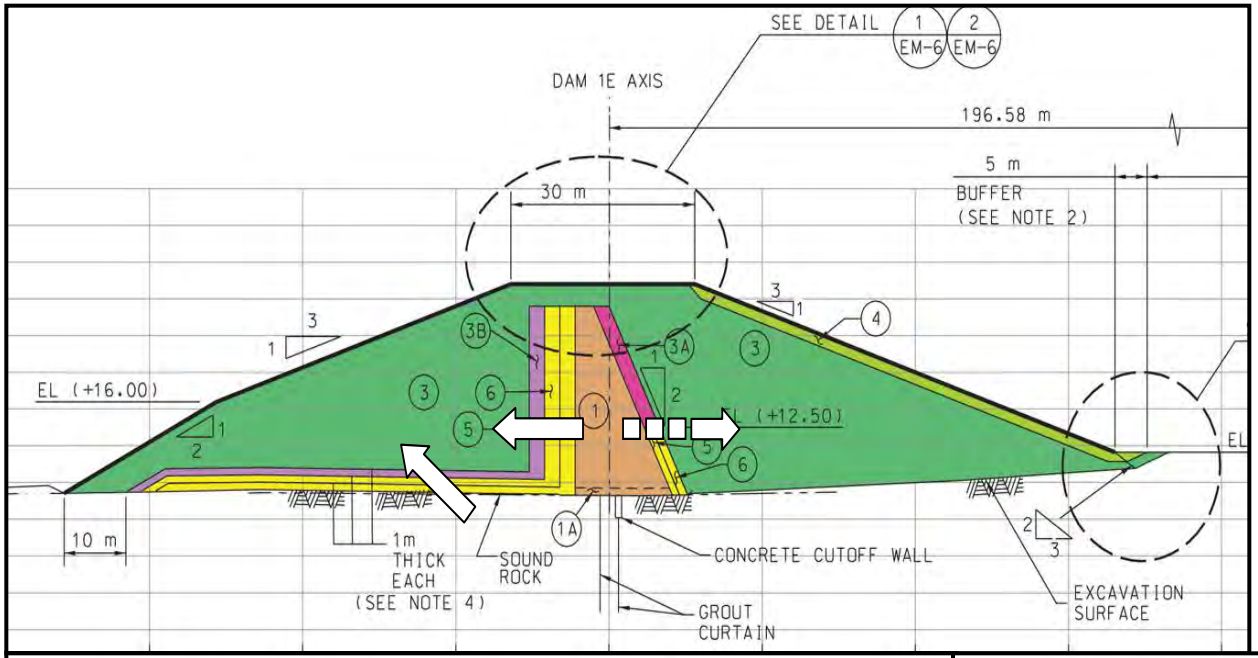
Formación Pedro Miguel

- Las fuentes son adecuadas
- Ambas fuentes tendrán que ser procesada
  - Remover piezas de gran tamaño (Basalto y Mezcla de materiales (Pedro Miguel)
- Se anticipa que hay suficiente material residual para el núcleo, pero se va requerir algún tipo de procesamiento.
- Durante construcción otros sitios de prestamos se tendrán que analizar y probar.

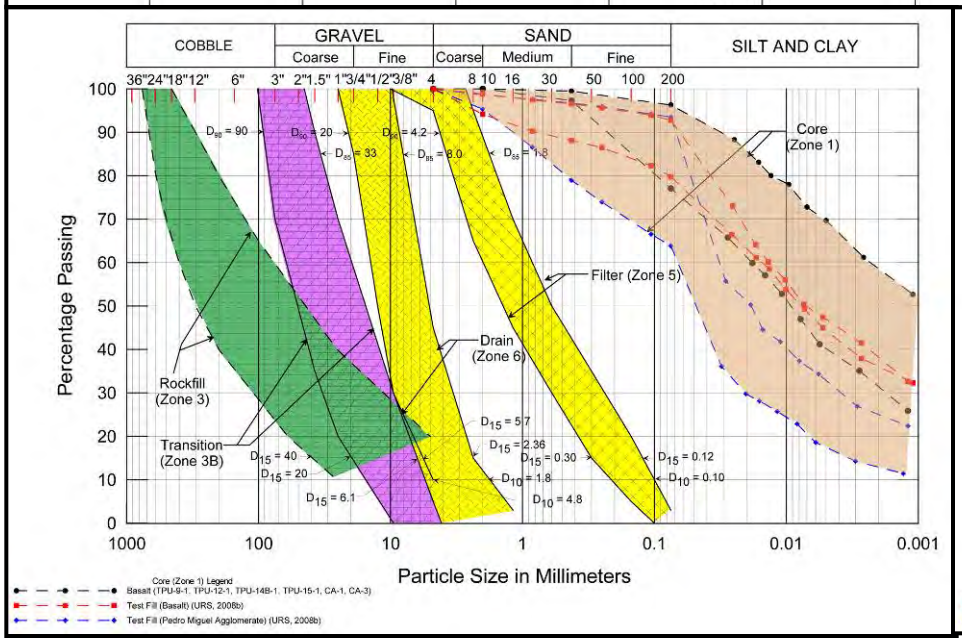
Material del Núcleo

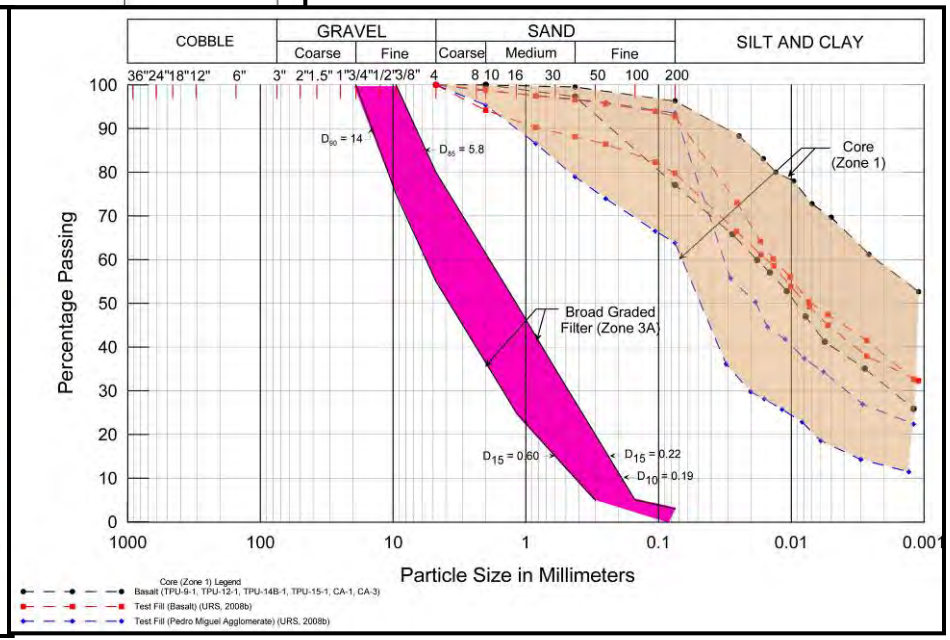
- Requisitos (Zona 1)
  - Finos (No. 200) > 35 %
  - PI >= 10
  - Tamaño máximo 150 mm (75 mm en Zona 1A)
- Colocación del Núcleo
  - 225 mm espesor de capa de compactación
  - Humedad (+2 @ +12 % OMC)
  - Resistencia minima no-drenada de 75 kPa medida con la prueba de veleta.
  - Remover los 50 mm superiores cuando la precipitación excede los 3 mm
  - Control de asentamientos del núcleo.

Importancia de los Filtros



Filtros/drenajes/ transiciones:
Deben acomodar la ruptura de las fallas dentro de una zona de 50m (ambos lados).
El espesor de las zonas debe ser mayor de 1.5 veces el máximo desplazamiento horizontal (3m) & vertical (0.5 m).





Excavación a largo de la Ataguía Celular

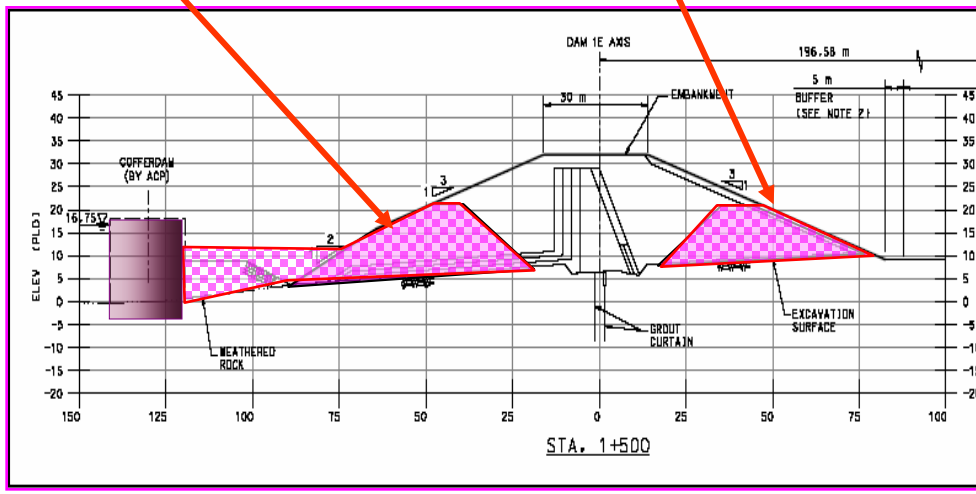
Relleno de enrocado

Relleno de enrocado

PAC-3 Limits

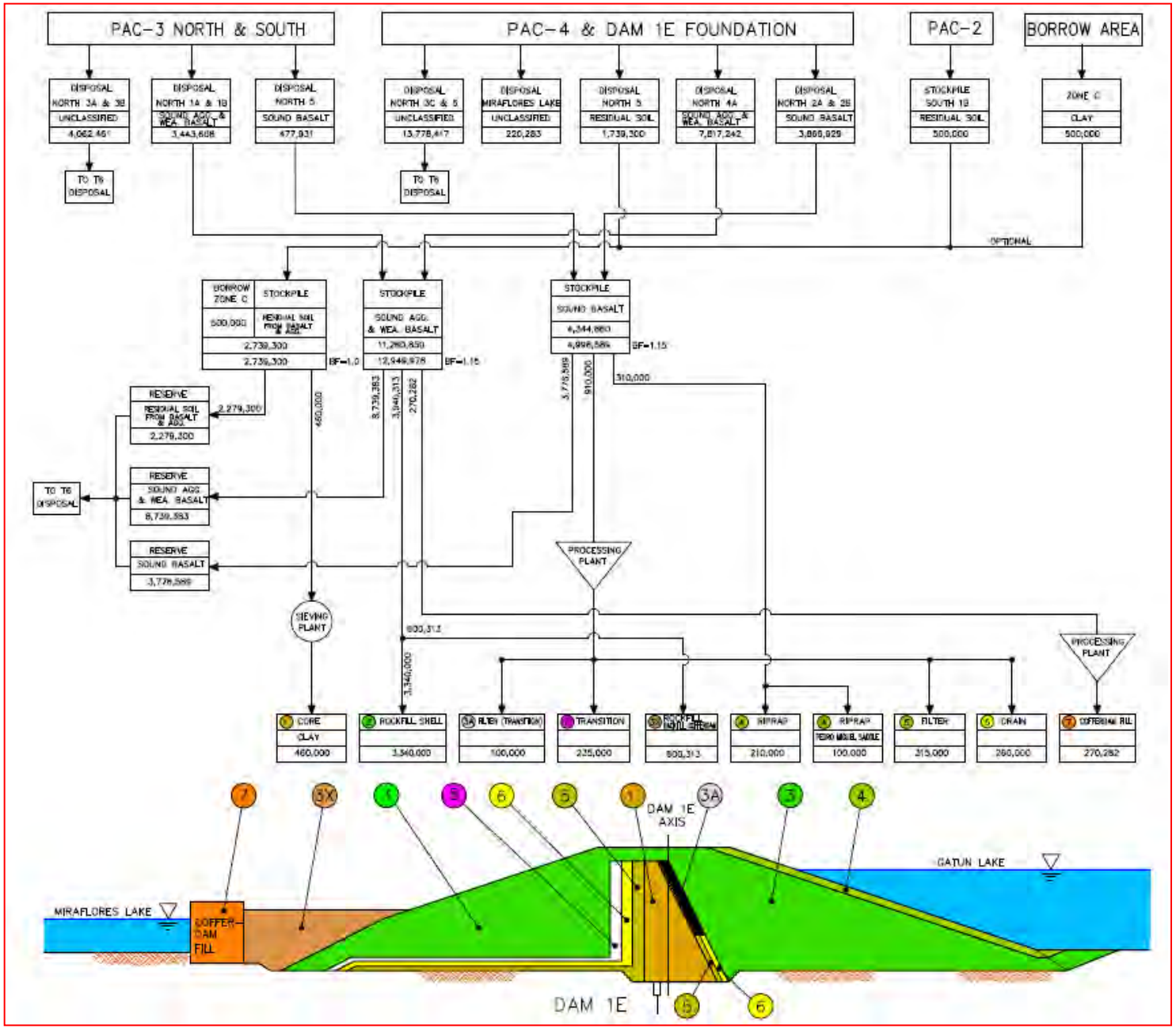
Limite del Contrato de Esclusas

La excavación de la fundación de la represa tendrá que ser secuenciada para mantener siempre un alto grado de estabilidad en la ataguía celular.

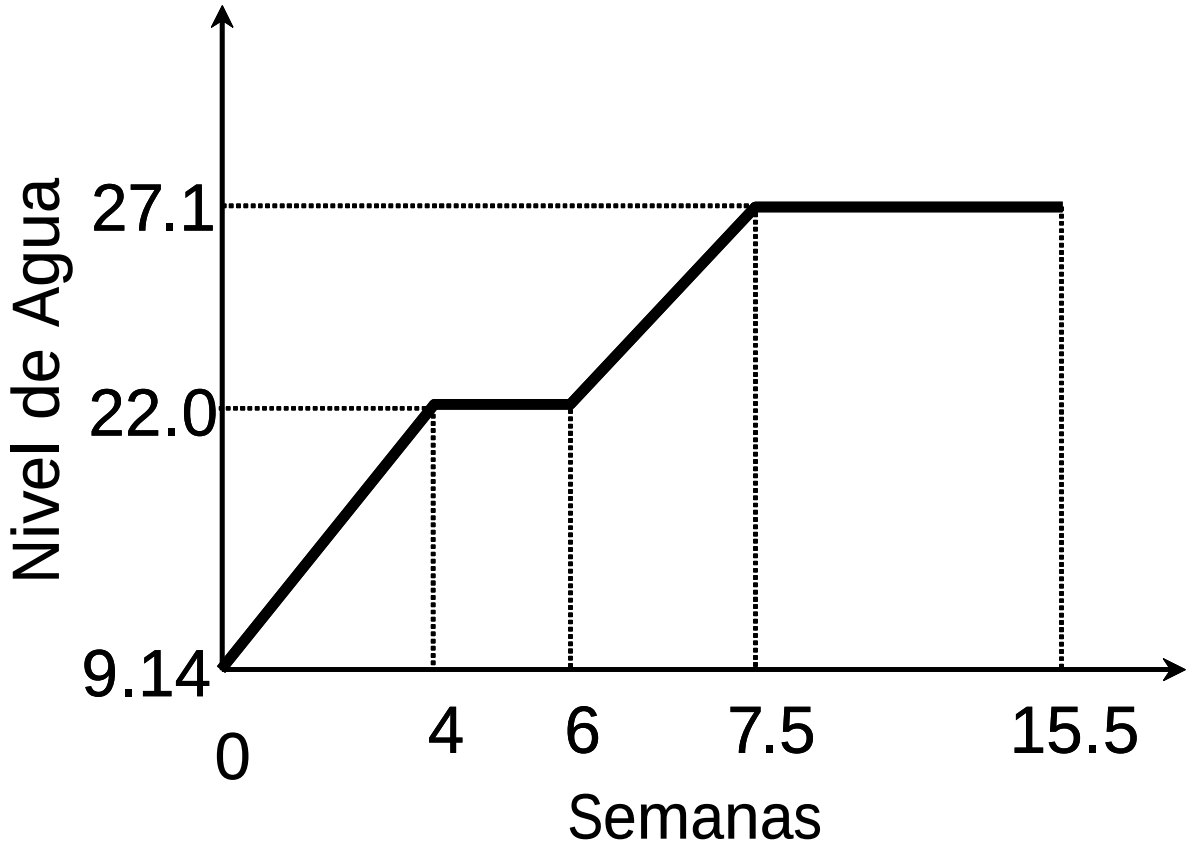


Cauce de Acceso del Pacífico – Represa Borinquen

Balance de Materiales



Prueba de Llenado



Velocidad máxima de llenado 0.5 m por día.
Llenado en dos etapas.

a) Hasta elevación 22.0m por dos semanas
b) Hasta elevación 27.1m por dos meses

Visualización de las áreas excavadas

Avance de las Excavaciones

Contrato	$M	Mm3	MEC Ha (orig)	Adjudicación	Contratista	Elev Fondo (m)	Avance
PAC 1	$38.4	7.3	146	17-Jul-07	Constructora Urbana	46	100%
PAC 2	$26.2	7.4	N/A	27-Nov-07	Cilsa-Minera María	30(N) 17(S)	100%
PAC 3	$36.7	8.2	190	16-Dec-09	Constructora MECO, SA	27.5	81%
PAC 4	$267.8	26.4	80.3	7-Jan-10	ICA-FCC-MECO	9.14	10%
PAC-0	$54.6	4	N/A	16Ago10(1)	Jan De Nul, NV	(PLD) 9.14	0%
Entrada Pacifica	$177.6	8.7	N/A	1-Apr-08	Dredging International	(MLWS) - 15.5	55%
Entrada Atlántica	$106.0	17.9	N/A	25-Sep-09	Jan De Nul, NV	(MLW) - 16.1	47%
Lago Gatún	$40.0	4.6	N/A	4-Jun-10	Dredging International	(PLD) 9.14	32%
Lago Gatún y Corte Gaillard		18.0	N/A		ACP	(PLD) 9.14	

Observaciones Finales

Las Excavaciones son realizadas con éxito porque se tiene:

- Una buena compresión de la geología, de los patrones de drenaje superficial y de las condiciones de agua subterránea.
- Una adecuada caracterización de la resistencia cortante de la masa del talud
- Una apropiada filosofía de diseño
- La experiencia local y de consultores
- Una administración transparente y profesional de los contratos de excavación

Gracias por su Atención