

35
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES
GRUESOS**

T E S I S
PRESENTADA POR:
JOSE CARLOS CORREA VAZQUEZ
PARA OBTENER EL GRADO DE:
INGENIERO CIVIL

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO D. F.

JUNIO 1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNAS PALABRAS PARA...

Agradecer a las personas que de una u otra forma me han alentado a seguir adelante en la realización de mis metas es tal vez más difícil que efectuar nuevamente otra tesis, sin embargo ahora tengo la oportunidad de manifestarles mi gratitud y para ellos tengo las siguientes palabras:

A mi madre por todo y mucho más. Gracias....

A mi padre...nunca es tarde. Animo.

A Guadalupe por su amor. Vamos.

A mis hermanos: Kena, por motivarme. Salvador, por su apoyo. Anis, para dialogar. Gerardo, como cuates. Lety, con cariño. Mary, por chiquita. Pepe, por unir. Rafa, mi socio. Mil gracias.

A mis suegros, cuñados y cuñadas. También.

A mis sobrinos: Sais, Beto, Yabin, Fernanda, Lalis, Rodrigo, Genaro, Tona, Nahui, Claudia y Anita. Por que me comparten su alegría.

A mis amigos y maestros. Lo logramos.

Al Director del trabajo. Mil Gracias.

Al personal de la C.F.E. por sus enseñanzas y pa ciencia estoy agradecido.

INDICE

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

INTRODUCCION.	-1-
1.- ANTECEDENTES.	-2-
2.- DESCRIPCION DEL EQUIPO EMPLEADO.	-3-
2.1.- Estructura de la cámara.	
2.2.- Funcionamiento.	
3.- MATERIALES Y PROBETAS ENSAYADAS.	-17-
3.1.- Material 3C débil y 3C.	
3.2.- Compactación y peso volumétrico.	
3.3.- Muestras del enrocamiento Aguamilpa.	
3.4.- Las probetas.	
4.- CALCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.	-27-
4.1.- Cálculos efectuados.	
4.2.- Presentación de los cálculos realizados.	
4.3.- Resultados obtenidos.	
5.- CONCLUSIONES.	-48-
5.1.- Resumen.	
5.2.- Comentarios.	
5.3.- A manera de conclusiones.	
BIBLIOGRAFIA.	-51-

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

INTRODUCCION.

En el presente trabajo analizaremos el problema de las pruebas triaxiales en materiales gruesos. Nos avocaremos a las pruebas que se efectúan en el laboratorio de la Gerencia de Ingeniería Experimental y Control de la Comisión Federal de Electricidad, que utiliza la cámara triaxial CT-30-75, para efectuar pruebas triaxiales en gravas y enrocamientos.

El trabajo se dividió en 5 capítulos. En el primero, se dan algunos antecedentes que tuvo el estudio de éstas pruebas en el mundo y en México. En el segundo se hace una descripción del equipo empleado tratando de dar una idea general de los aparatos y su funcionalidad más que sus especificaciones. En el tercero se analizan las características del material ensayado y también se dan los lineamientos generales que deben cumplir las probetas que se elaboran para ensayar el material. El cuarto capítulo resume los cálculos que se efectuaron durante el período de pruebas y los resultados que se obtuvieron. El último capítulo presenta la interpretación de las gráficas del capítulo anterior en un resumen así como los comentarios y conclusiones del estudio realizado. La bibliografía se encuentra al final del trabajo.

Para la realización de éste trabajo se contó con la colaboración de personal de la oficina de Mecánica de Suelos de la Comisión Federal de Electricidad, al cual se le está muy agradecido, así como también a las autoridades de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la propia Comisión que aceptaron por común acuerdo que realizara mi servicio social y desarrollara el tema de tesis a la vez.

Capítulo 01

ANTECEDENTES

En el estudio de pruebas triaxiales en materiales gruesos fué la Universidad de Harvard la institución que presentó los primeros estudios, en 1944, ahí se proyectó y construyó un equipo para pruebas triaxiales para 1 kg/cm^2 de presión de confinamiento y 4 pulgadas de diámetro en las probetas.

En el Instituto de Mecánica de Suelos y Rocas de la Universidad Técnica de Karlsruhe en la R.F.A. se contruyó un equipo triaxial para probar gravas y muestras de enrocamientos a 15 kg/cm^2 de presión de confinamiento con 1 m^2 de sección transversal en las probetas. La Universidad de California por su parte en 1968 efectuó pruebas triaxiales de materiales gruesos en ensayos de 91 cm de diámetro y hasta 50 kg/cm^2 de esfuerzo confinante. En otras partes del mundo se han fabricado equipos para probar materiales gruesos, cabe mencionar a Bélgica, Rusia, Alemania, Japón y Australia como los países que han obtenido los mejores resultados en sus pruebas.

En México en 1949 se diseñó y proyectó una cámara triaxial para ensayar probetas de gravas de 15 cm de diámetro con una presión confinante de 8 Kg/cm^2 , equipo que se realizó bajo el patrocinio de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Cuando se construía la presa El Infiernillo en el estado de Michoacán, se proyectó un laboratorio que tuviera un equipo para probar gravas y muestras de enrocamiento. El equipo debería permitir trabajar probetas que tuvieran 1 m^2 de sección transversal por 2.50 m de altura y pudieran contener partículas de hasta 20 cm de diámetro, la presión confinante de diseño fué de 25 kg/cm^2 .

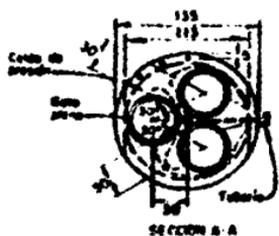
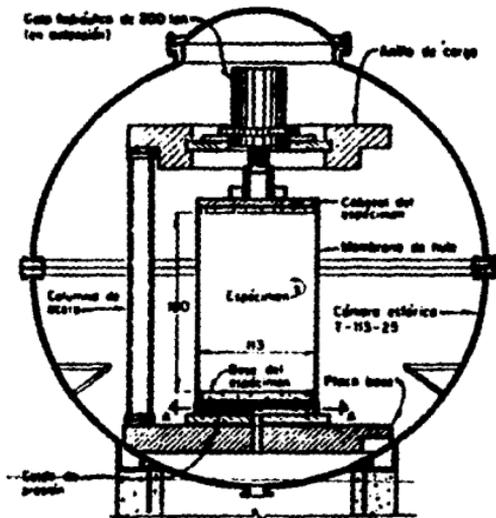
El aparato para pruebas triaxiales que se montara en el laboratorio de la presa El Infiernillo se muestra en las dos ilustraciones siguientes. El equipo de cámara triaxial T-113-25 y los resultados obtenidos con el mismo los explica el Dr. Raúl J. Marsal en diversas publicaciones. (referencias, 1,4 y 6).

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: E-1 FECHA: FEBRERO/91 NOJA: 1 DE 2

OBJETIVO: APARATO T-113-25



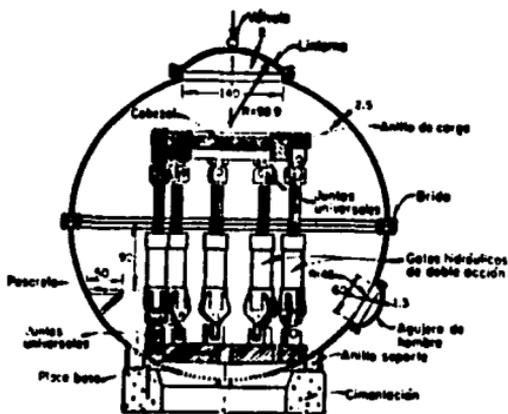
Dimensiones, en cm

Modelo anterior al aparato
E 111-25 para hacer
pruebas triaxiales

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA : T-2 FECHA : FEBRERO/91 HOJA : 2 DE 2
OBJETIVO : APARATO T-113-25



Anillo de carga



Cabezal



Placa base

Dimensiones en cm



Juntas universales

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: 1-1 FECHA: MARZO/61 HOJA: 1 DE 3
OBJETIVO: DATOS Y RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION
TRIAIXIAL EN EL APARATO T-113-25.

Cuerpo	Eje	D	L	Carga				Carga Final	Elongación Final	Elongación Unitaria	Elongación Unitaria Final	Elongación Unitaria Final
				1	2	3	4					
Cuerpo 1	Eje 1	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 2	Eje 2	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 3	Eje 3	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 4	Eje 4	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 5	Eje 5	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 6	Eje 6	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 7	Eje 7	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 8	Eje 8	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 9	Eje 9	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		
Cuerpo 10	Eje 10	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
				100	100	100	100	100	100	100		

1. El presente informe es el resultado de los trabajos realizados en el laboratorio de Pruebas de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante el mes de marzo de 1961.

2. El presente informe es el resultado de los trabajos realizados en el laboratorio de Pruebas de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, durante el mes de marzo de 1961.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA**

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA : B-3 FECHA : MARZO/91 HOJA : 3 DE 3

OBJETIVO : DATOS Y RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMPRESION

TRIAXIAL EN EL APARATO T-113-25.

Muestra	Estrada	%	E - M - T				Estrada	Comentarios
			E	M	T	σ ₃		
10	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
11	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
12	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
13	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
14	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
15	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
16	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
17	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
18	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
19	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	
20	●	0.66	0.17	0.17	0.17	11.6	0.6	Estrada destruccion por comp.
		0.51	0.04	0.04	0.04	0.62	0.07	
		0.07	0.17	0.17	0.17	0.06	0.07	
		0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.07	

Se realizaron 20 pruebas de compresion triaxial en el aparato T-113-25. Las condiciones de prueba fueron: velocidad de carga de 0.1 mm/min, tiempo de reposo de 10 minutos y temperatura ambiente.

Capítulo 02:

DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El equipo y herramientas necesario para efectuar las pruebas triaxiales en materiales gruesos se describena en éste capítulo, debiendo advertirse que es una descripción sonera, si el lector se interesa en algún componente en especial deberá consultarse el manual del fabricante o la publicación que aclare el funcionamiento del mismo. Para ello se sugiere revisar la publicación interna del Instituto de Ingeniería que editó el Ing. Alberto Jaime Paredes con referencia a la cámara triaxial CT-30-75. (Instituto de Ingeniería # 205 interno).

Para efectuar los análisis granulométricos del material, se emplean los sistemas tradicionales de cualquier laboratorio de mecánica de suelos debiendo únicamente contar con las mallas que satisfagan las grandes granulometrías que se muestran en la forma F-4. Para pesar el material es suficiente una báscula para 50 kg ya que las probetas se forman por pequeñas capas. La herramienta menor como pinzas, desarmadores, llaves, flexómetros, vernier, espátulas, etc.. es de utilidad tenerlas en diversas medidas y formas. Los complementos de la cámara triaxial se describirán en el momento que se citen dentro de la descripción de la misma.

2.1.- Estructura de la Cámara:

La estructura de la cámara tiene forma de campana, constituida por un gato hidráulico, una cámara de alta presión y una placa base que correspondería la tapa de la campana. El gato hidráulico se encuentra en la parte superior de la campana su cuerpo es de acero fundido y tratado, el, cual fué torneado con el fin de hacer coincidir su eje con el eje de las probetas y evitar esfuerzos por excentricidades entre ambos.

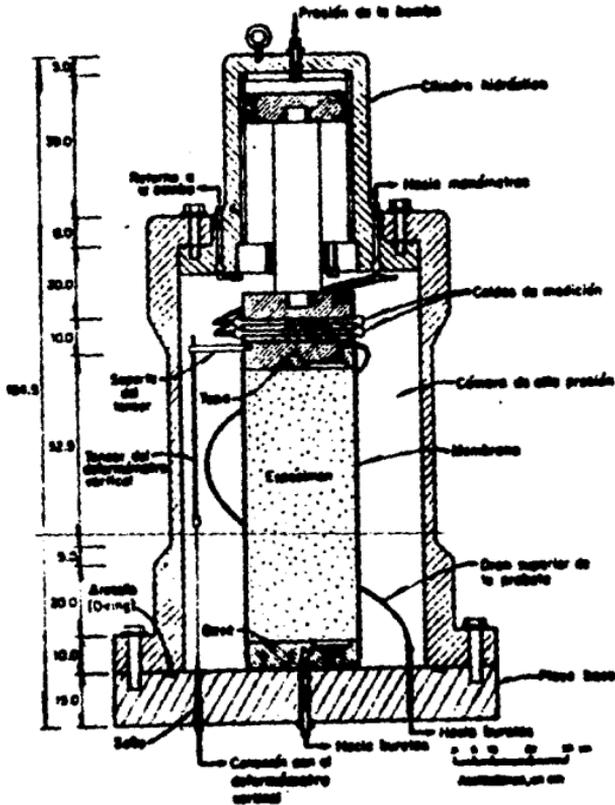
El cuerpo de la cámara de alta presión es de acero fundido y tratado, fué además torneado con mucho cuidado para tener un perfecto asentamiento en la base. Para sujetar la cámara y la base se atraviesa con 24 tornillos de acero cold rolled, que se aprietan con un taladro eléctrico.

La forma A-1 ilustra esquemáticamente el cuerpo de la cámara de alta presión y sus principales partes y dimensiones.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: A-1 FECHA: ENEO/78 NOJA: 1 DE 2
OBJETIVO: ESQUEMA DE LA CAMARA TRIAXIAL TC-30-75



Cámara triaxial TC-30-75

El conjunto formado por el cilindro y la cámara de alta presión está provisto de unas asas que permiten que sea izado el conjunto y trasladado hasta la placa base, que es fija y sirve para formar la probeta por ensayarse. La placa base es una sola pieza de acero, que fué torneada para permitir un ajuste exacto, el cual es reforzado con una junta de arosello (O ring) y evita cualquier fuga de agua o aire cuando trabaja el equipo. En la base se encuentran 24 perforaciones que reciben a los tornillos que sujetan a la brida de la cámara con ésta base. El conjunto puede trabajar a presiones confinantes de hasta 75 kg/cm^2

2.3.- FUNCIONAMIENTO:

En el capítulo siguiente veremos como se forma una probeta de ensayo y el material que se ha estudiado para obtener los resultados que muestra el trabajo. Ahora expondremos el funcionamiento del equipo, su sistema de control y medición.

Las pruebas pueden ser con o sin consolidación bajo la aplicación de la presión confinante y drenadas o no, durante la aplicación del esfuerzo desviador. Estas variantes en las pruebas se realizan en el arreglo de los equipos de medición que más adelante definiremos. La presión confinante es la primera en actuar sobre los ensayos, debiendo aplicarse gradualmente para permitir que el material se consolide en caso que así sea la prueba. los incrementos de carga por aplicar son función del esfuerzo de confinamiento. Este último se aplica por medio de aire a presión conectado a tanques de agua que expulsan el fluido alrededor de la muestra. La lectura del esfuerzo confinante, se lee en los manómetros que se localizan en el tablero de control (letras A y B figura A-2) cuyo rango es de 0-70 y 0-15 kg/cm^2 respectivamente, éstos son accionados por la combinación de las válvulas C-7 abierta y C-8 cerrada para lecturas en el manómetro A y ambas abiertas para trabajar con el manómetro B. Como purga de ellos tenemos la válvula C-9, que mientras no se efectúe la purga de los manómetros debiera estar permanentemente cerrada.

En la siguiente ilustración encontramos la representación esquemática del conjunto formado por la cámara triaxial y su tablero de control y medición proyectado en el Instituto de Ingeniería (ref.2). Este diseño a sufrido pequeñas adecuaciones en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la C.F.E. pero en general su diseño y distribución sea ha respetado.

Es importante señalar que las pruebas que se reportan en el trabajo son pruebas triaxiales consolidadas y drenadas en cuatro series, la 1,2,3 y 5 y no consolidada en la serie 4, por lo tanto la presión de poro ,no es significativa en éstas pruebas y las lecturas del transductor nos sirven exclusivamente para determinar si la probeta se ha estabilizado en su comportamiento o no, en cuyo caso daremos unos minutos más para su estabilización. Una vez terminada la etapa de consolidación se procede a efectuar el contacto entre el gato y la probeta, para lo cual se bombea aceite al gato que se encuentra en la parte alta de la campana de alta presión, registrandose dicho contacto mediante los extensómetros y los manómetros. Una vez establecido el contacto se procede a la aplicación de incrementos de esfuerzo desviador a cada 10 minutos debiendo tomarse lecturas a los 5 y 10 minutos. De ésta manera podemos controlar los incrementos y esperar la reacción del material.

Para efectuar los incrementos del esfuerzo desviador se tiene que bombear aceite y generar un empuje que sea transmitido al gato. Se tienen unos manómetros que nos permiten medir la magnitud del empuje que se produce sobre el gato hidráulico, se recomienda que los incrementos sean de magnitudes constantes en tiempos constantes siempre y cuando la presión de poro no crezca de manera considerable, si esto sucede tendrá que esperarse unos minutos para que ésta presión disminuya. Para interpretar las lecturas de cada manómetro se utiliza su constante correspondiente. Así para el de 0-35 kg/cm^2 la constante es de 812.5, mientras que para el de 0-60 kg/cm^2 la constante es 800.

El sistema de bombeo está formado por una bomba hidráulica eléctrica de alta presión, una válvula de cuatro vías H-3, una válvula de aguja H-2, una válvula de control H-1 y un conjunto de cuatro manómetros conectados en serie para poder accionar el que se requiera. Este sistema trabaja con 25 litros de aceite por lo que fué necesario acoplarle un depósito adicional.

En la parte inferior de la placa del gato, donde hace el contacto con la probeta, tiene unas celdas de medición interconectadas con los manómetros de medición y sostenidas mediante unos resortes que se fijan a una lámina troquelada formando parte del gato.

Para medir el cambio volumétrico del espécimen se tienen dos sistemas, uno sirve para aplicar vacío y el otro para saturar el material por ensayar. Es importante el sistema de aplicación de vacío ya que permite sostener la muestra una vez que se ha quitado a ésta el molde (en el siguiente capítulo comentaremos más del molde) y también para permitir tener una saturación del material cercana al cien por ciento. El sistema para saturar la muestra consta de un tanque de saturación, un regulador de presión, dos buretas S y L , un manómetro BP-1 y válvulas V-n .

El agua que es desplazada durante la prueba pasa directamente a las buretas y ya que el sistema está saturado la diferencia de lecturas correlaciona el cambio volumétrico del material. La capacidad de las buretas es de 1.5 y 5.3 lts respectivamente, debiéndose elegir la que convenga en función de las necesidades del ensayo. Es necesario trabajar las pruebas con agua desalada, para lo cual se cierra la válvula D-1 y se gira la válvula V-9 a la posición de vacío.

La medición de la deformación vertical de las probetas, se efectúa mediante tres deformómetros fijados en la superficie inferior de la placa base de la cámara, conectados a la placa superior de la probeta mediante tres extensómetros y sus respectivos tensores, que sirven para ajustarse. El sistema es conectado a un potenciómetro eléctrico donde se leen las deformaciones de cada extensómetro adoptándose el promedio de las tres lecturas como la deformación vertical de la probeta.

En las formas F-1, F-2 y F-3 se ilustran las partes principales que componen el equipo para efectuar las pruebas triaxiales en materiales gruesos con que cuenta la oficina de Mecánica de Suelos de la C.F.E.

En la figura F-1 encontramos un panorama general de los instrumentos y equipos para efectuar las pruebas triaxiales a materiales gruesos. La figura F-2 muestra la cámara de alta presión ya montada en su base y comenzando a ser saturada. En la figura F-3 se presenta la base de la campana que resguarda a los extensómetros debajo de ella.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: F-1 FECHA: MARZO/18/91 HOJA: 1 DE 3
OBJETIVO: INSTRUMENTOS Y EQUIPO DE PRUEBA TRIAXIAL.



VISTA GENERAL.

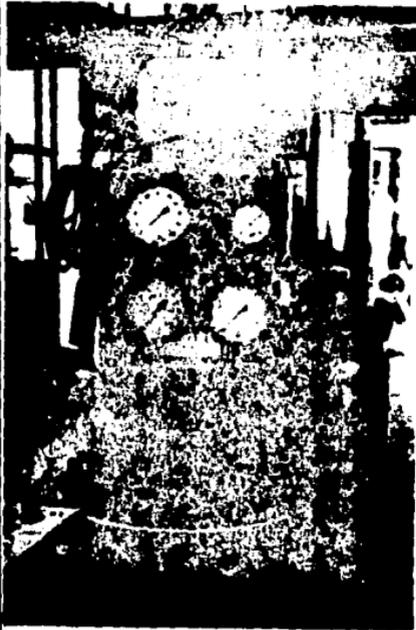
- 1.- Cámara para compresión.
- 2.- Base de cámara.
- 3.- Molde para formar las probetas.
- 4.- Transductor para medir presión de poro.
- 5.- Potenciómetro para medir deformación axial.
- 6.- Tablero de control.
- 7.- Equipo neumático.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA
OBJETIVO

FECHA MARZO/18/91 HOJA 2 DE 3
CAMARA TRIAXIAL CT-40-75



EQUIPO DE CAMARA TRIAXIAL.

En esta ilustración apreciamos el equipo ensamblado y listo para trabajar. La fotografía se tomó instantes antes de conectar las mangueras a la bomba, las que se pueden ver en la parte superior de la figura.

La cámara es de acero fundido y tratada para corregir imperfecciones. Puede trabajar a presiones confinantes de 0 a 75 Kg/cm² y aplicación de esfuerzo desviador si la prueba lo requiere.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: F-3 FECHA: MARZO/19/91 HOJA: 3 DE 3

OBJETIVO: BASE DE CAMARA TRIAXIAL.



PLACA BASE.

Esta fotografía ilustra la placa base de la cámara triaxial. Se aprecia en la parte superior la base para los especímenes, después el soporte donde asentará la campana y luego un espacio donde están los extensómetros y válvulas de alivio.

En la parte superior de la derecha se observan tres botellas que forman parte del sistema de vacío del equipo de pruebas triaxiales.

Capítulo 03.

MATERIALES Y PROBETAS ENSAYADOS.

3.1.- Material 3C Débil y 3C.

En la cámara triaxial CT-30-75 se estudiaron muestras de enrocamiento del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa en el estado de Nayarit, producto de excavación que fué definido como material 3C débil, así como material 3C. El estudio de éste material se realizó en el periodo noviembre/90-abril/91.

En la figura I-1 se muestra la ubicación geográfica del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa, así como el desarrollo hidroeléctrico del río Santiago, mientras que en la figura I-2 aparece el arreglo general de las obras donde se indica el sitio de donde proviene el material estudiado y una sección transversal de la presa.

La muestra de enrocamiento proviene de una roca volcánica terciaria de composición riolítica-dacítica, formada por tobas o ignimbritas bien litificadas y masivas.

Con el material 3C débil se realizaron dos series de pruebas triaxiales, ambas saturando el espécimen. En la primera serie se observó que el peso volumétrico de la muestra resultó mucho mayor del valor deseado, por lo que, en la segunda serie se dejó al material con manos compactación.

Para el material 3C, enrocamiento que se utilizará en el talud de aguas abajo de la presa, se efectuaron tres series de pruebas triaxiales: dos saturadas, una en estado suelto y otra en estado denso, y una con el material seco y suelto.

Para ambas muestras de enrocamiento se determinó su densidad de sólidos, obteniéndose para el enrocamiento débil un valor de 2.72 y para el 3C un valor de 2.68.

3.2.-Compactación y Peso Volumétrico.

Los reportes de campo muestran que se está alcanzando un peso volumétrico al material entre 1,900 y 2,100 kg/m³, por lo tanto el material en las pruebas triaxiales debe tener un peso volumétrico en este rango.

En la forma F-4 observamos a un laboratorista cribando material en fotografía superior y material ya cribado en la foto inferior.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA 1-1 FECHA ABRIL/51 HOJA 1 DE 2
OBJETIVO UBICACION GEOGRAFICA Y APROVECHAMIENTO DEL P.H.
AGUANILPA EN EL ESTADO DE NAYARIT.

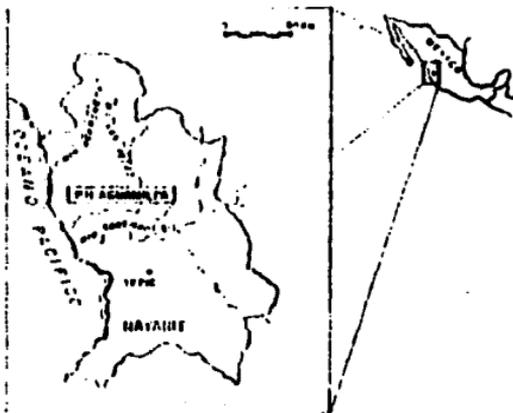


Fig. 1. Ubicación geográfica del P.H. en Aguascalientes.

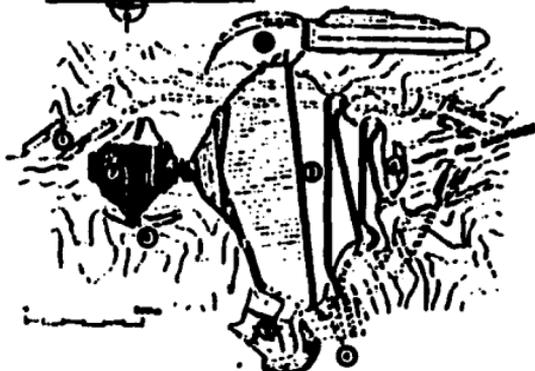


Fig. 2. Perfil topográfico de la zona de Aguascalientes.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

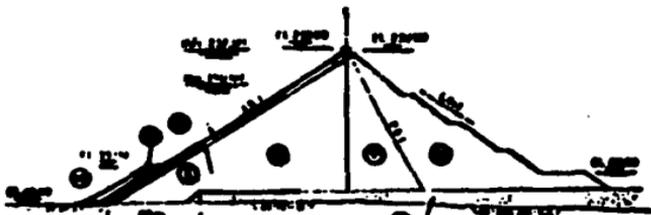
PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: 1-2 FECHA: ABRIL/61 HOJA: 2 DE 2
OBJETIVO: DISTRIBUCION DE LAS OBRAS Y SECCION DE LA CORTINA
DEL P. N. AGUANILPA.



ARREGLO GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS PRINCIPALES.

- | | |
|--|---------------------------|
| 1) Túneles de desvío. | 4) Casa de máquinas. |
| 2) Ataguías. | 5) Vertedor. |
| 3) Cortina de concreto. | 6) Canal y dique fusible. |
| 7) Sitio de excavación del material estudiado. | |



SECCION TRANSVERSAL MAXIMA DE LA PRESA.

- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1A Material no clasificado. | 3C Ensacamiento. |
| 1B Arena fina limosa. | T Transición, 3B & 3C. |
| 2, 2F Filtros. | CT Cara de concreto. |
| 3B Aluvión compactado. | NA Aluvión natural. |

Con el fin de determinar el peso volumétrico con el cual se van a efectuar las pruebas triaxiales se realizaron estudios de compactación del material. Las pruebas reportaron que el material debe compactarse entre 5 y 20 segundos por capa para obtener el peso volumétrico idóneo.

3.3.-Muestras del Enrocamiento Aguamilpa.

Las muestras del enrocamiento fueron como ya se mencionó, producto de las excavaciones en el sitio de la presa que se encuentra en construcción en el estado de Mayarit. Estas muestras fueron encostaladas y transportadas al laboratorio donde se efectuó su granulometría, en las figuras F-4 y F-5 observamos la manera de cribar y almacenar el material una vez clasificado.

De la observación visual del material podemos apreciar que es un material anguloso de aristas vivas con fisuras, en el caso del material débil se desprenden partículas finas con relativa facilidad. En el caso del material 3C se observa mayor cohesión en sus partículas y las fisuras no se aprecian con facilidad.

La primera muestra del material que se estudió fué del material 3C débil. Se realizaron dos series de pruebas triaxiales una con tres variaciones de la presión confinante (1,5 y 10 kg/cm²) y la otra con cuatro variaciones (1,2,3 y 10 kg/cm²) el tamaño de la muestra fué de 3.5 ton.

La segunda muestra de material proveniente del proyecto hidroeléctrico citado fué también de alrededor de 3.5 ton nada más que en esta ocasión el material era el enrocamiento 3C y se le efectuaron pruebas de densidad de sólidos, compactación, rotura de granos en estado seco y saturado y una serie de pruebas triaxiales saturadas a 1,3 y 10 kg/cm² de presión confinante.

La tercera y última muestra proveniente de Aguamilpa. Llegó al laboratorio a mediados del mes de enero. De éste material se cribaron inicialmente 40 costales y se efectuaron dos series de pruebas triaxiales una en estado seco variando la presión confinante de 1,3 y 10 kg/cm² y la otra saturando el material y compactándolo 60 s por capa variando el confinamiento de 0.5,1 ,3 y 10 kg/cm². en pruebas saturadas.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA : F-4 FECHA : MARZO/51 HOJA : 1 DE 2
OBJETIVO : ILUSTRAR MATERIAL 3C DE AGUANILPA.



CRIBADO DE MATERIAL GRUESO.

El material grueso se criba en
mallas rectangulares que permi
tan trabajar con volúmenes ad
cuados.

CHAROLAS CON MATERIAL 3C.

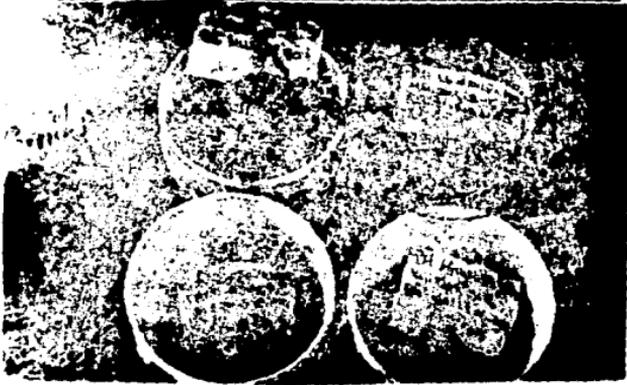


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA: F-5 FECHA: MARZO/91 NOJA: 2 DE 2

OBJETIVO: ILUSTRAR MATERIAL 3C DE AGUANILPA.



MATERIAL 3C DEL P.R. AGUANILPA.

La tercera muestra del material de Aguanilpa se cribará en dos partes. En la ilustración - apreciamos material retenido por las mallas # 40, 60, 100, y 200. Este material es clasificado con el método Roll-top en el laboratorio.

Este material se emplea en las probetas que se forman capa a capa según sea determinado en el inicio del estudio.

Como podemos observar la muestra de los diferentes materiales fué grande y de igual manera el número de pruebas triaxiales que se efectuaron.

3.4.- Las probetas.

En la elaboración de las probetas es fundamental la técnica con que éstas son elaboradas ya que facilmente pueden variar los resultados de las pruebas. Es importante que el operador y el ingeniero encargado chequeen las condiciones generales del equipo y del material por ensayar. Antes de elaborar las probetas deberán revisarse las dos membranas que soportarán al material durante la prueba. En caso necesario se vulcanizarán las membranas en donde muestren orificios. Es deseable que cuando menos una de las dos membranas no presente parches, esta precaución dará mayor seguridad al procedimiento de la prueba

Las probetas se diseñan por capas de aproximadamente 10 cm necesitando siete capas para formar un ensaye. El material es colocado capa por capa en el interior de la membrana que a su vez está sostenida por un cilindro metálico que rigidiza la probeta durante su elaboración, (molde) el cual es retirado una vez que se conformó el espécimen, quedando el material sostenido por las membranas y el vacío que se transmite mediante una bomba al interior del ensaye. En la primera fotografía de la forma f-6 se observan las oquedades que se forman por la aplicación del vacío, y la segunda fotografía muestra el espécimen ya con las dos membranas colocadas.

Una vez tomados los datos iniciales de la probeta que deben tener 70 cm. de altura y 30 cm de diámetro aproximadamente se colocan dos mangueras, en la base del aparato triaxial una que mide la presión de poro y otra que es el retorno del agua. Después se colocan los sensores que conectados a los extensómetros medirán la deformación axial que sufra el ensaye durante la prueba. En ese momento se calibran los extensómetros con el transductor que registra la variación de la altura de la probeta formada.

Para efectuar la prueba se cubre la probeta con la cámara de alta presión, se fija ésta a la placa base con los tornillos, después se inicia la saturación, que en condiciones normales dura alrededor de 50 a 60 minutos. El paso siguiente es confinar el material para poder quitar el vacío a la muestra. Si la prueba es saturada, se conecta el depósito de saturación y se empieza éste proceso, que puede variar su duración de acuerdo al material y a la compactación del mismo.

La presión confinante se va dando por incrementos determinados y esperando que el material vaya consolidándose, llegando al término de la consolidación se efectúa el contacto gato probeta, e inmediatamente después se comienza la etapa de falla, aplicando incrementos de esfuerzo desviador, por medio de la presión hidráulica del gato, regulada en el tablero de control.

La falla del material se registra cuando la bomba impulsa al gato sobre el espécimen con tal rapidez que las lecturas del potenciómetro varían constantemente.

Durante la prueba es importante registrar los cambios volumétricos del material, que se pueden observar en las variaciones de las lecturas de la bureta.

Una vez terminada la prueba, se vacía la cámara y se puede separar de su placa base, entonces podrá observarse el cambio que sufrió la probeta. Generalmente los ensayos sufren un efecto de barrilamiento.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: T-6 FECHA: MARZO/92 NOJA: 1 DE 2
OBJETIVO: FIJACION DE LAS MEMBRANAS E IZADO DE CAMPANA.



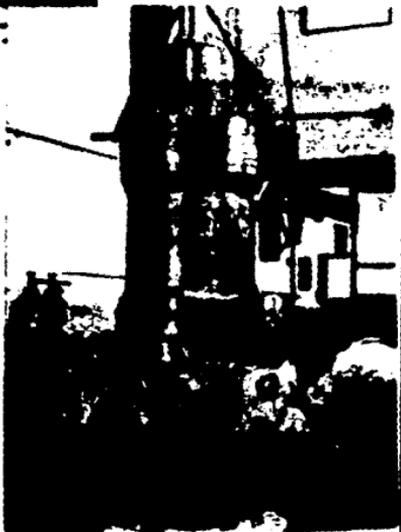
PROBETA FORMADA.

Lista la probeta con la primera membrana (se puede observar aquellos por la aplicación del vacío) se coloca una segunda membrana que se fija con arillos como se ilustra. (Ruben Elizalde Laboratorio).

IZADO DE CAMPANA.

La campana es izada con cables de acero por una grúa que desliza sobre rieles y trasladada a la campana encima de la probeta y pronto a poco se baja para ser acoplada a su base.

Se fija el equipo por medio de los arillos de acero.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: F-7 FECHA: MARZO/81 HOJA: 2 DE 2
OBJETIVO: ILUSTRAR EL PROCEDIMIENTO DE ENSAMBLAJE.



ACOPLAMIENTO CAMPANA-BASE.

Esta ilustración muestra la probeta formada e instrumentada, lista para ser ensayada. En la figura observamos los tensores de los deformómetros, las mangueras que miden la presión de poro y otra que lleva el retorno del agua.

Capítulo 04

CALCULOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

4.1.- Cálculos efectuados.

En este capítulo reportamos los cálculos efectuados a 17 pruebas triaxiales, de las cuales 14 fueron saturadas y 3 en estado seco. Las hojas de registro de las pruebas fueron diseñadas en el Instituto de Ingeniería y adaptadas en la oficina de Mecánica de Suelos de la C.F.E. con el nombre de Registro de Datos y Cálculos - Cámara Triaxial TC-10-75. Estos registros no se anexan en este trabajo ya que lo interesante son los cálculos y resultados que se obtienen con estos datos, pero los originales están en la oficina de la C.F.E. citada y una copia está en poder del autor, para cualquier aclaración o duda.

Más adelante podemos observar una copia reducción de las formas citadas donde se anotan: Serie, Muestra No., Prueba No., Presión confinante, Banco, Fechas de extracción y prueba, Observaciones, Peso del material, Perímetros, Alturas, Diámetro, Área, Volúmen, Peso volumétrico, seco y húmedo, Contenido de agua, Relación de vacíos, densidad de sólidos, Fecha y Hora de la prueba, Operación, Tiempo transcurrido, Presión confinante, Lectura transductor, Diferencia de lectura, Presión de poro, Tapa y Base, Lectura de manómetro, Presión aplicada, Carga, Esfuerzo desviador, Deformómetros, Deformación unitaria y acumulada. Datos de cada prueba.

Para efectuar el cálculo de la prueba es conveniente referir que se distinguen dos etapas durante la misma, una que es la etapa de consolidación y la otra que es la etapa de falla del ensayo.

El proceso para los cálculos de las pruebas son los siguientes:

- 1) Determinar la diferencias de lecturas de los deformómetros con la lectura inicial de los mismos y obtener el promedio de los tres.
- 2) Se multiplica el promedio obtenido por la constante de los deformómetros que en este caso están calibrados y su valor es 20.
- 3) El valor obtenido se divide entre la altura inicial de la probeta en mm. y así tenemos la deformación unitaria axial. ϵ (%).
- 4) Si la prueba tiene etapa de consolidación se corrigen la altura inicial, el volumen y la lectura de bureta.
- 5) Se determina el área corregida para cada incremento del esfuerzo desviador con la expresión siguiente.

$$A_c = \frac{A_0 - \Delta v}{1 - \frac{\Delta v}{c_0}} \cdot \frac{W_0}{c_0}$$

6) Se calcula la carga aplicada en cada incremento, multiplicando la lectura del manómetro menos la presión confinante, por la constante del manómetro donde se tomaron las lecturas (una misma prueba puede variar de manómetro).

7) Se divide la carga aplicada entre el área corregida obtenida del paso cinco y se obtiene el esfuerzo desviador, $\sigma_1 - \sigma_3$, en Kg/cm.²

8) Se obtiene la deformación volumétrica de acuerdo con la siguiente expresión que involucra el volumen inicial, la lectura de la bureta y su constante.

$$c_v = \left(\frac{V_0 - (LEC.B) \text{ cte.B}}{100} \right) - 100$$

100

9) Para el cálculo del ángulo ϕ se elige el valor máximo del esfuerzo desviador se le suma dos veces la presión confinante se dividen éstas cantidades y se obtiene el inverso de la función seno expresión que proviene de analizar los resultados del círculo de Mohr.

$$\phi = \sin^{-1} \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$$

10) Con los valores del esfuerzo desviador y la deformación axial se traza la gráfica esfuerzo deformación. Con los valores de la deformación volumétrica se traza la gráfica deformación volumétrica - deformación axial.

11) Para los valores de cada serie se dibujaron los diagramas p-q

6.2 Presentación de los cálculos realizados.

Como ya se mencionó el presente trabajo reporta los resultados de 16 pruebas triaxiales en muestras de enrocamiento del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa que efectúa la Comisión Federal de Electricidad en el estado de Nayarit. Estas 17 pruebas se efectuaron en 5 series, los cálculos se presentarán por serie llevando el siguiente orden:

- 1) Curvas granulométricas.
- 2) Círculos de Mohr.
- 3) Diagrama P-Q para cada serie de pruebas.

4.3.- Resultados Obtenidos.

Los datos iniciales de los ensayos aparecen en la siguiente tabla.

Serie Prueba	Perímetro	Altura	Peso total	Deformación		σ_1, σ_2	
No.	No.	cm.	Kg.	Axial	& volumétrica	Kg/cm ²	
MATERIAL 3C DEBIL. SATURADO.							
1	01	95.18	69.38	107,010	8.09	-0.71	2.04
1	02	95.00	69.45	107,478	8.75	2.50	16.91
1	03	94.03	69.55	107,478	12.67	21.18	26.31
MATERIAL 3C DEBIL. SATURADO.							
2	01	95.00	70.58	102,278	8.87	1.39	1.94
2	02	95.07	70.51	103,120	11.07	1.79	5.46
2	03	95.00	70.35	101,863	12.96	3.06	8.57
2	04	95.05	70.68	103,088	13.38	3.05	26.03
MATERIAL 3C. SATURADO. SUELTO							
3	01	95.22	70.42	98,517	5.64	0.38	3.66
3	02	95.32	70.45	97,971	9.47	1.03	12.28
3	03	96.10	70.68	99,803	11.23	2.55	38.99
5	01	96.10	70.58	97,840	6.27	-2.60	1.46
MATERIAL 3C. EN ESTADO SECO.							
4	01	96.18	70.65	99,400	5.40	-----	5.20
4	02	96.16	70.52	99,400	4.94	-----	17.61
4	03	96.26	70.82	98,889	7.35	-----	43.99
MATERIAL 3C. SATURADO. DENSO.							
5	02	96.24	70.45	103,800	3.56	-1.72	7.11
5	03	96.16	70.35	103,800	4.17	0.00	18.95
5	04	96.22	70.58	103,950	5.11	1.54	47.28

Los resultados obtenidos en base a los cálculos efectuados para cada prueba se resumen en el siguiente cuadro sinéptico.

Serie	Prueba	Confinamiento	Peso Volumétrico	Angulo ϕ	$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$	E_u
No.	No.	Kg/cm ²	Kg/m ³	en °	Kg/cm ²	t
MATERIAL 1C DEBIL SATURADO.						
1	01	1	2,212	30.25	2.03	8.59
1	02	5	2,228	38.45	16.44	14.09
1	03	10	2,224	34.62	26.31	10.30
MATERIAL 1C DEBIL SATURADO.						
2	01	1	2,086	29.5	1.94	11.45
2	02	2	2,102	35.25	5.46	10.08
2	03	3	2,084	36.0	8.57	12.9
2	04	10	2,098	34.4	26.03	17.24
MATERIAL 1C. SATURADO. SUELTO.						
3	01	1	2,004	40.3	3.66	3.57
3	02	3	1,988	42.2	12.28	5.61
3	03	10	1,977	41.3	38.79	9.16
5	01	0.5	1,949	36.4	1.46	2.50
MATERIAL 1C SECO.						
4	01	1	1,975	46.2	5.2	2.02
4	02	3	1,980	48.2	17.61	4.5
4	03	10	1,957	43.4	43.99	5.03
MATERIAL 1C SATURADO. DENSO.						
5	02	1	2,067	51.3	7.11	2.0
5	03	3	2,072	49.4	18.95	3.5
5	04	10	2,065	44.6	47.28	6.0

Con el fin de tener un cuadro comparativo, ordenaremos los resultados que tengan la misma presión de confinamiento y sean del mismo material probado. De esta manera quedan:

Para el material 3C débil.

Serie	Prueba	σ_3	γ_d	ϕ	σ_1/σ_3	$(c_u)r$	$(c_v)r$	e_1	B_u
No.	No.	Kg/cm ²	Kg/m ²	en °		(%)	(%)		(%)
1	01	1	2,212	30.25	3.03	8.09	-0.71	0.23	8.59
2	01	1	2,086	29.5	2.94	8.87	1.39	0.30	11.45
1	03	10	2,224	34.62	3.63	12.67	21.18	0.22	10.30
2	04	10	2,098	34.40	3.60	13.38	3.05	0.29	17.24

Los datos y resultados de las pruebas faltantes de las dos primeras series se anotan a continuación.

Serie	Prueba	σ_3	γ_d	ϕ	σ_1/σ_3	$(c_u)r$	$(c_v)r$	e_1	B_u
No.	No.	Kg/cm ²	Kg/m ²	en °		(%)	(%)		(%)
2	02	2	2,102	35.25	3.73	11.07	1.79	0.31	10.8
2	03	3	2,084	36.0	3.86	12.96	3.06	0.29	12.9
1	02	5	2,228	34.62	4.29	8.75	2.50	0.22	14.09

Para el material 3C tenemos:

Serie	Prueba	σ_3	γ_d	ϕ	σ_1/σ_3	$(c_u)r$	$(c_v)r$	e_1	B_u
Para $\sigma_3 = 1 \text{ Kg/cm}^2$									
3	01	2,004	40.3	4.66	5.64	0.38	0.34	3.57	
4	01	1,975	46.2	6.2	5.40	0.00	0.36	2.02	
5	02	2,067	51.3	8.11	3.56	-1.72	0.30	2.00	

Para $\sigma_3 = 3 \text{ Kg/cm}^2$									
3	02	1,988	42.2	5.09	9.47	1.03	0.35	5.61	
4	02	1,980	48.2	6.87	4.94	sin	0.35	4.5	
5	03	2,072	49.42	7.32	3.56	-1.72	0.29	3.5	

Para $\sigma_3 = 10 \text{ Kg/cm}^2$									
3	03	1,977	41.3	4.88	11.23	2.55	0.35	9.16	
4	03	1,957	43.4	5.40	7.35	sin	0.37	5.03	
5	04	2,065	44.6	5.73	5.11	1.54	0.30	6.05	

Capítulo 05

CONCLUSIONES

5.1.- Resumen:

En las formas de las Curvas Granulométricas de cada serie, obtuvimos los datos de granulometrias de salida según la presión confinante. En cada serie de pruebas, anotamos la rotura de granos que sufrió el material en la prueba, el peso volumétrico del material y su relación de vacíos inicial.

Podemos observar con claridad que el material 3C débil sufre una rotura de granos mayor que el material 3C. y que en éste se aumenta su disgregación cuando el material está en estado suelto que denso.

Cabe aclarar que la primera prueba de la serie cinco debería estar considerada en la serie tres que representa al material 3C en estado suelto y no con el denso de la quinta serie de pruebas.

Las formas C.M. presentan los Círculos de Mohr y relacionan los esfuerzos principales con los esfuerzos cortantes del material en cada prueba. Podemos concluir que como era de esperarse, el material débil obtuvo valores mucho menores que el material 3C. Los valores del ángulo de fricción interna ϕ y de relación de esfuerzos principales en el material débil lo hace no apto para la construcción de la presa.

Para el material 3C éstas pruebas ayudaron a determinar el grado de compactación que debe tener el material según vaya siendo colocado en la construcción de la presa y la humedad que puede ayudar para su consolidación.

Las formas G-1 a G-5 resumen el comportamiento del material durante las pruebas. La gráfica superior izquierda establece la relación esfuerzo-deformación axial, la inferior del mismo lado vincula a la deformación axial con la deformación volumétrica del material. El esfuerzo desviador con el esfuerzo octaédrico está correlacionado en la gráfica superior derecha que apreciamos mayor para el material 3C. Por último establecemos la relación entre el promedio de esfuerzos y la relación de vacíos al final de cada prueba.

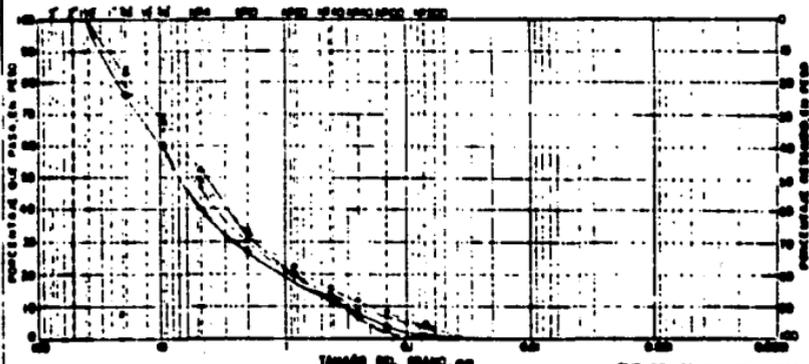
El material 3C débil sufre mayor variación volumétrica que el material 3C por lo que es más confiable estructuralmente este último.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRESOS

FORMA CIPIVAC GRANULOMETRICAS FECHA ABRIL/91 HOJA 1 DE 3
OBJETIVO : CIPIVAC GRANULOMETRICAS DE LA SERIE: 91

GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
GRUESA	FINA	GRUESA	MEDEA	FINA	
MALLAS U.S. STANDARD Y ASTM					MILIMETROS



CURVA	SERIE	MATERIAL	MUESTRA	LÍMITES DE LIQUIDEZ		LÍMITES DE PLASTICIDAD		C _u	C _c	C _u - C _c	C _u / C _c	C _u - 1	C _c - 0.4
				W _L (%)	W _P (%)	PI (%)	PL (%)						
ENTRADA				19.2	10.3	8.6	2.21					0.21	
				19.2	10.3	8.6	2.22					0.22	
				10	10.3	8.6	2.30					0.18	

CURVAS GRANULOMETRICAS

Proyecto E.M. AGUILAR
NAVARIT

Serie y peso
Fecha ABRIL/91

C_u = 2.22
C_c = 0.22

Clasificación de muestra: ARTIFICIAL - SILTY SAND

Fg _____

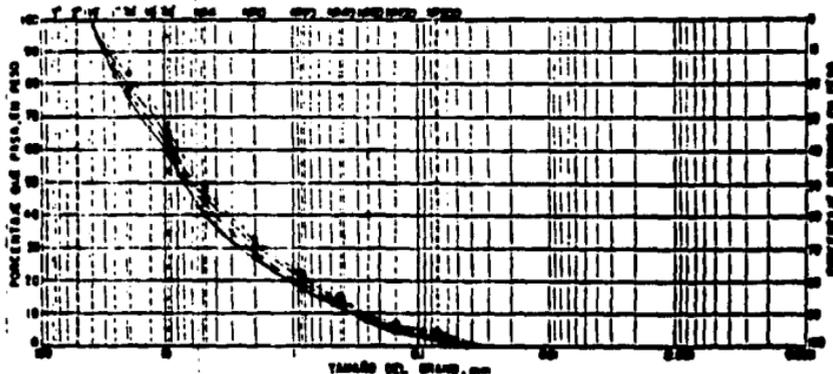
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA**

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA: CURVAS CARILOMETRICAS FECHA: ARRIL/91 HOJA 3 DE 5
 OBJETIVO: CURVAS CARILOMETRICAS DE LA SERIE # 3.

SI	GRANA		ARENA		LIMO O ARCILLA
S	GRANZA	FINA	GRANZA	FINA	

MALLAS US. STANDARD Y ASTM INCREMENTO



Grado	mm	mm	P.C. (Kg/cm ²)	lg(V)	L _u (Kg/m ³)	U	C _u	C _c	GRUPO
0.075	0.075	0.15							
0.15		0.3							
0.3		0.6							
0.6		1.2							
1.2		2.5							
2.5		5.0							
5.0		10.0							
10.0		20.0							

Proyecto: P.H. AGUANILPA
RAYKIL

Serie o parte: _____
Fecha: ARRIL/91

CURVAS CARILOMETRICAS
(CANTONALES - SUC)

C_u = $\frac{D_{60}}{D_{10}}$ C_c = $\frac{D_{30} - D_{10}}{D_{60} - D_{30}}$

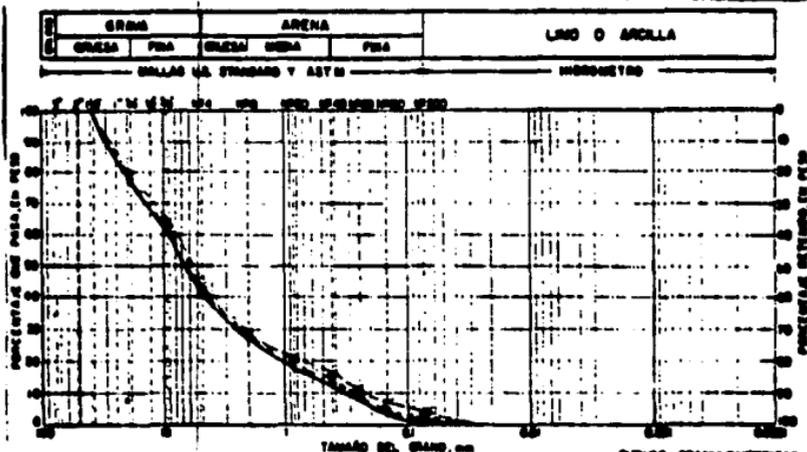
Elaboración del informe: RAYKIL J.C.

Pg. _____

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRESOS

FORMA CURVAS GRANULOMETRICAS FECHA ABRIL/93 NOJA 1 DE 1
OBJETIVO : CURVAS GRANULOMETRICAS DE LA SERIE 1.1.



GRANOS	GRANOS FINA	GRANOS MEDIA	GRANOS FINA						
d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}
0.075	0.15	0.3	0.6	1.18	2.5	5	10	20	
100	95	80	60	40	25	15	10	5	0

CURVAS GRANULOMETRICAS

Proyecto 1.1.1. AGUAYTILERA
AVARITU

Serie o grupo 1.1.1
Fecha ABRIL/93

$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$; $C_c = \frac{d_{30}^3 - d_{10}^3}{d_{60}^3 - d_{10}^3}$

Descripción del material MATERIAL 1.1.

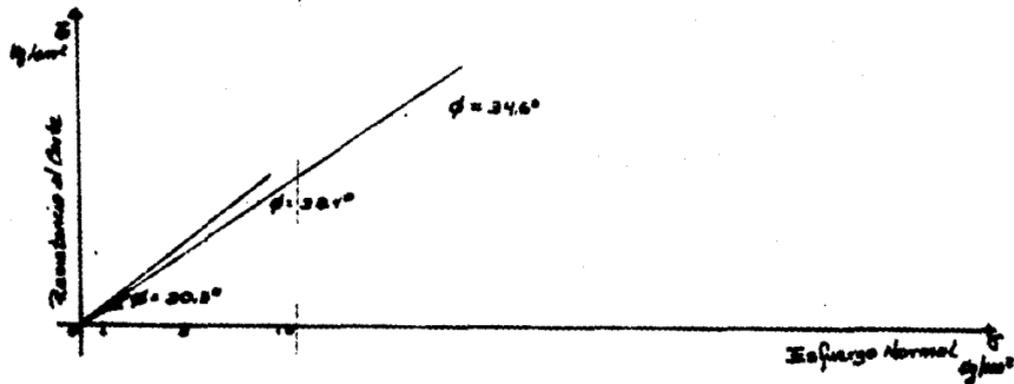
Fo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA
OBJETIVO

C.H. _____ FECHA ABRIL/93 NOJA 1 DE 3
CIRCULOS DE MOHR PARA LA SERIE # 01



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

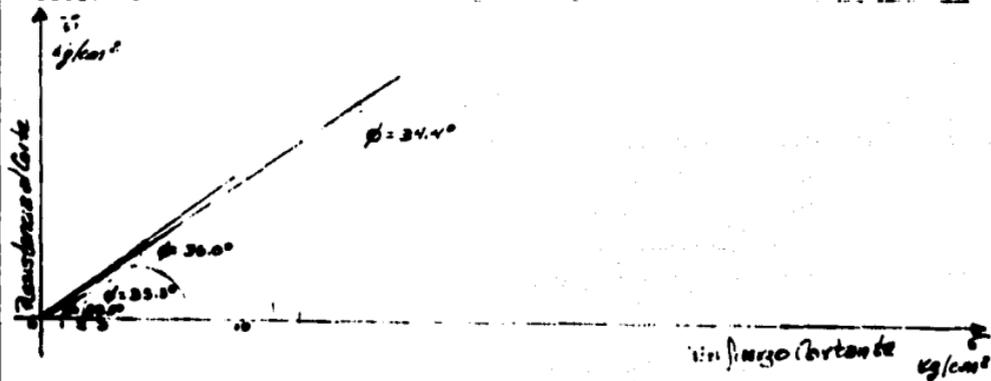
C.N.

FECHA ABRIL/91

HOJA 2 DE 5

ESTADIOS DE HOOR PARA LA PRUEBA # 02

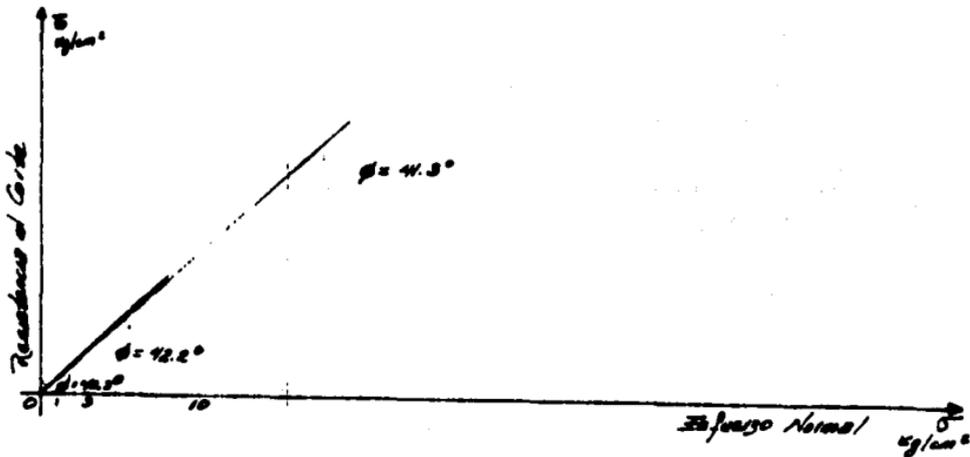
FORMA
OBJETIVO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA P.N. FECHA: ABRIL/91 HOJA DE
OBJETIVO CIRCUITOS DE HOJA PARA LA SERIE DE



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

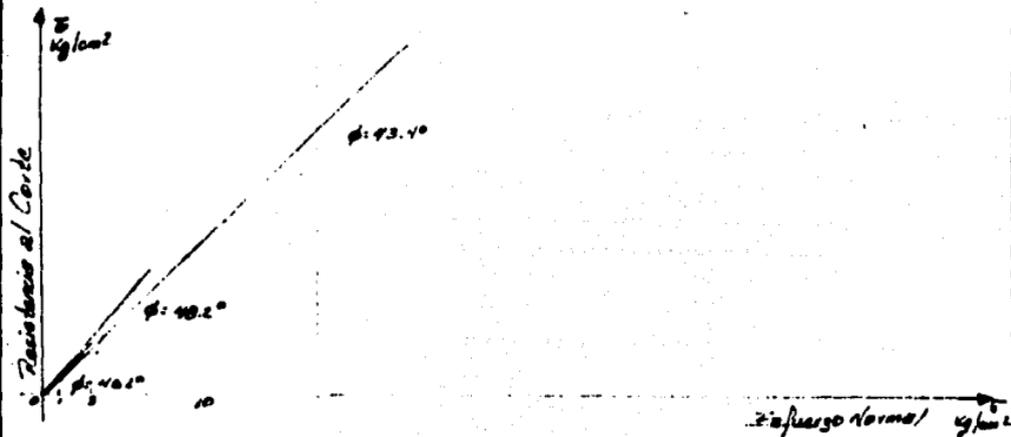
PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GROSOS

FORMA
OBJETIVO

C.M.

FECHA: ABRIL/01
CIRCULO DE HOJAS PARA LA SERIE 7 DE

NOJA 4 DE 5



-18-

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRESOS

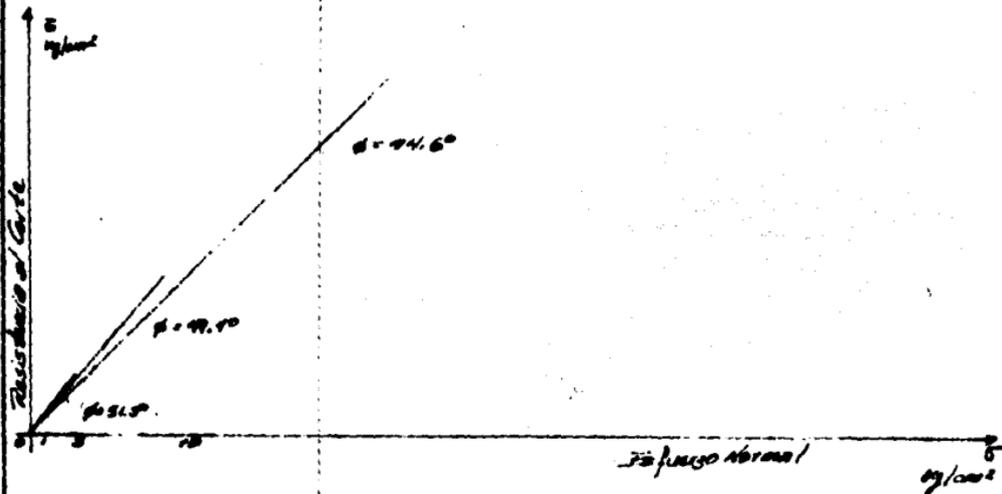
FORMA C.H.

FECHA ABRIL/71

HOJA 1 DE 2

OBJETIVO

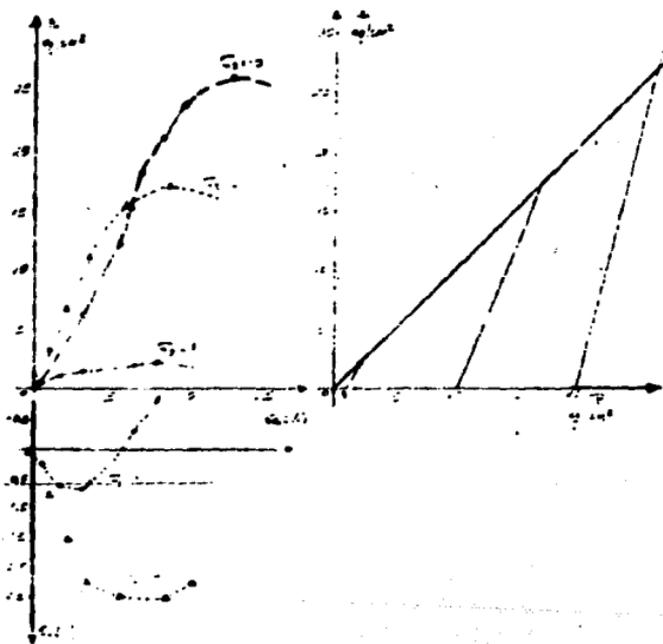
DETERMINAR LA RESISTENCIA DE ROTURA PARA LA SERIE #05



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRESOS

FORMA: G-1 FECHA: 28/11/51 HOJA: 1 DE 3
OBJETIVO: DIAGRAMA P-Q, ESFUERZO-DEFORMACION DE
LA SERIE # 1.



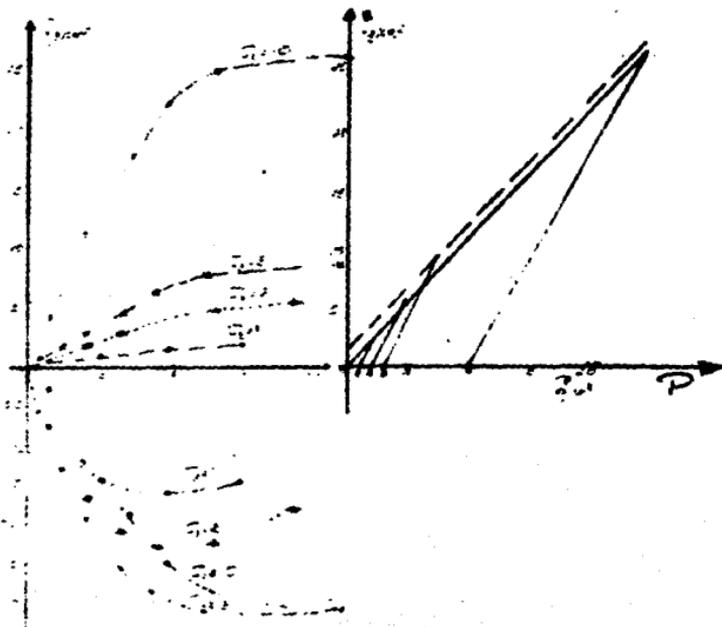
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: C-2 FECHA: APRIL/91 NOMA: 2 DE 5

DIAGRAMA: A 9-0 esfuerzo-deformacion de

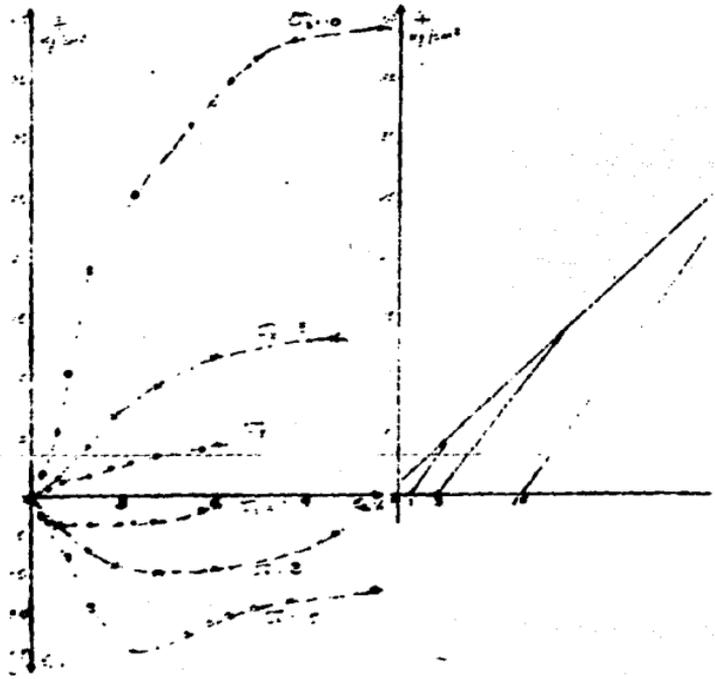
la serie 0 2



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

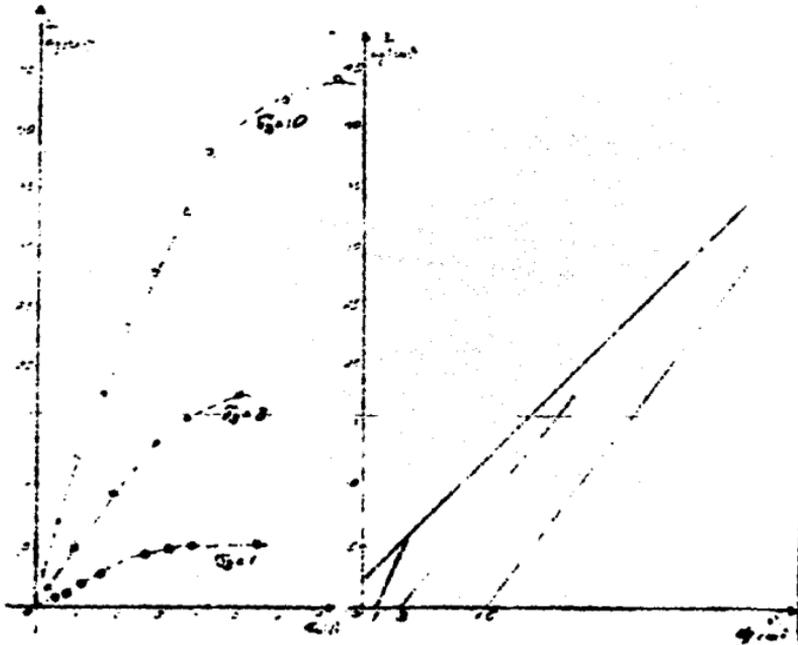
FORMA G-3 FECHA ABRIL/91 HOJA 3 DE 5
OBJETIVO DIAGRAMA P-Q ESPUEZO-DEFORMACION DE LA
SEPE 3 T



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: G-4 FECHA: ABRIL/91 HOJA: 4 DE 5
OBJETIVO: DIAGRAMA $\sigma_1 - \sigma_3$ ESFUERZO DEFORMACION DE
LA SERIE 8-4.

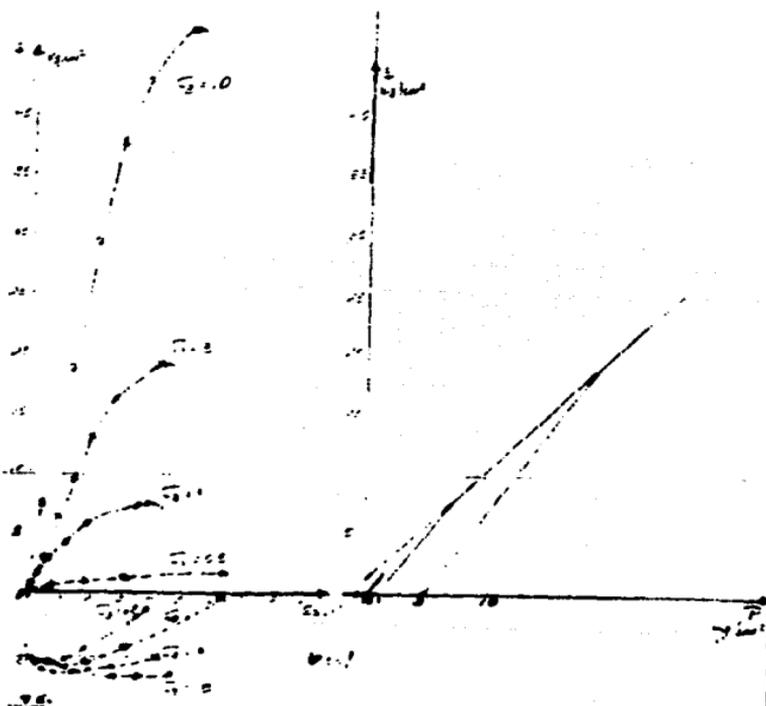


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

PRUEBAS TRIAXIALES EN MATERIALES GRUESOS

FORMA: 2-5 FECHA: ABRIL/91 HOJA: 5 DE 5

OBJETIVO: DIAGRAMA P-Q ESPUERZO-DEFORMACION DE
LA SERIE = 3



CONCLUSIONES

5.1.- Resumen:

En las formas de las Curvas Granulométricas de cada serie, obtuvimos los datos de granulometrías de salida según la presión confinante. En cada serie de pruebas, anotamos la rotura de granos que sufrió el material en la prueba, el peso volumétrico del material y su relación de vacíos inicial.

Podemos observar con claridad que el material 3C débil sufre una rotura de granos mayor que el material 3C. y que en éste se aumenta su disgregación cuando el material está en estado suelto que denso.

Cabe aclarar que la primera prueba de la serie cinco debería estar considerada en la serie tres que representa al material 3C en estado suelto y no con el denso de la quinta serie de pruebas.

Las formas C.M. presentan los Círculos de Mohr y relacionan los esfuerzos principales con los esfuerzos cortantes del material en cada prueba. Podemos concluir que como era de esperarse, el material débil obtuvo valores mucho menores que el material 3C. Los valores del ángulo de fricción interna ϕ y de relación de esfuerzos principales en el material débil lo hace no apto para la construcción de la presa.

Para el material 3C éstas pruebas ayudaron a determinar el grado de compactación que debe tener el material según vaya siendo colocado en la construcción de la presa y la humedad que puede ayudar para su consolidación.

Las formas G-1 a G-5 resumen el comportamiento del material durante las pruebas. La gráfica superior izquierda establece la relación esfuerzo-deformación axial, la inferior del mismo lado vincula a la deformación axial con la deformación volumétrica del material. El esfuerzo desviador con el esfuerzo octaédrico está correlacionado en la gráfica superior derecha que apreciamos mayor para el material 3C. Por último establecemos la relación entre el promedio de esfuerzos y la relación de vacíos al final de cada prueba.

El material 3C débil sufre mayor variación volumétrica que el material 3C por lo que es más confiable estructuralmente este último.

5.2.- Comentarios:

Trabajar con el aparato triaxial TC-30-75 es impresionante y más aún si tomamos en cuenta que fué proyectado y construido con tecnología mexicana. Claro debemos tomar en cuenta que la investigación en México ha dejado buenos frutos y éste equipo es solo una pequeña muestra de ésto. Por ello creo necesario, confiar más en nosotros y algo muy importante debemos seguir fomentando el desarrollo en el área de la investigación.

Ahora me viene a la memoria un comentario que realizó el Dr. Daniel Resendiz Muñoz cuando era Director de la Facultad de Ingeniería y se le cuestionó acerca de sino era frustrante ver, que gran cantidad de ingenieros egresados de la Facultad, desempeñaran funciones muy alejadas del conocimiento que habían obtenido en su preparación profesional, a lo que contestó: " Pensemos que el ingeniero que es egresado de la Facultad es capaz de desenvolverse en diversas áreas del quehacer humano y puede ser un buen administrador, gerente de una compañía o formar su empresa, por lo tanto lo que nos debe interesar es formar seres aptos y útiles a la sociedad ". Vaya que buena reflexión cuando recuerdo ésto siento que debemos ser capaces de todo o casi todo y no vencernos a la primera.

Con todo y ésta reflexión siento un poco de pesar al ver la realidad que no tenemos suficientes fuentes para poder desarrollar la investigación. Tal vez es momento de pensar en alternativas que permitan comercializar más tanto a los equipos como a los técnicos e ingenieros mexicanos que se pongan a nivel mundial y puedan dedicarse de lleno a sus tareas.

5.3.- Conclusiones.

Tener que dar una conclusión única al presenta trabajo es difícil, creo más bien que puede ser el inicio de un estudio más profundo que basado en los trabajos que tenemos en la publicación # 106 del Instituto de Ingeniería encabezados por el Profesor Marsal podemos tener una idea más completa del enrocamiento ensayado.

Sin embargo atando cabos del trabajo concluiremos que el enrocamiento probado, manifiesta dos tendencias:

El material 3C débil permite grandes deformaciones axiales y volumétricas y valores pequeños del esfuerzo desviador quedando el ángulo de fricción interna muy bajo, por lo tanto, no es un material confiable en la construcción del talud de la presa siendo material de desecho.

El enrocamiento 3C en estado saturado y denso tiene bajas deformaciones para relativamente grandes esfuerzos desviadores y el ángulo de fricción interna del material lo hace apto para la construcción del talud de aguas abajo de la presa.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- 1) RAUL J. MARSAL
Resistencia y Compresibilidad de Enrocamientos y Gravas.
Instituto de Ingeniería U.N.A.M. # 306.
México 1972.

- 2) ALBERTO JAINE PAREDES
Cámara Triaxial IC-30-75.
Instuto de Ingeniería U.N.A.M. # 408 y # 205. (interno).
México 1979.

- 3) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa Descripción y Datos Generales.
Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos.
México, D.F. 1988.

- 4) RAUL J. MARSAL
Triaxial Apparatus For Testing Rockfill Samples.
Second Panamerican Conference.
Brasil 1963.

- 5) LUIS E. MONTAÑEZ C.
Presa Aguamilpa-Criterios de Diseño.
XV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos
Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.
San Luis Potosí, 1990.

- 6) RAUL J. MARSAL, EDMUNDO MORENO GOMEZ, ARTURO NUÑEZ G., RAUL CUELLAR
RUBEN MORENO RAMOS.

Investigación Sobre el Comportamiento de Suelos Granulares y Muestras
de Enrocamientos.

México, D.F. 1965.

- 7) RAUL CUELLAR BORJA.

Cámara Triaxial para Ensayo de Enrocamientos.

Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

México, 1964.