

COMPARACION DE LA RESISTENCIA CORTANTE DRENADA DE UN SUELO IN-SITU Y EN LABORATORIO

Jorge E. Alva Hurtado ⁽¹⁾
José W. Gutiérrez Lázares ⁽²⁾
Vicente Chariarse Cabrera ⁽³⁾

RESUMEN

Como parte del análisis de la estabilidad de un tajo abierto ubicado en la Sierra Central del Perú, se realizaron ensayos de campo y de laboratorio para determinar los parámetros drenados de la resistencia cortante del suelo.

El material del talud es un depósito cuaternario del tipo calcáreo terroso, cruzado por horizontes de travertino y arcilla. Se ejecutaron trincheras en el talud existente con el objeto de definir la estratigrafía y obtener muestras inalteradas para realizar ensayos de resistencia cortante drenada en el laboratorio.

Con el propósito de verificar los valores de los ensayos de laboratorio, se diseñó y construyó un equipo de campo para realizar ensayos de corte directo in-situ. En este artículo se describe el equipo de campo utilizado y se comparan los valores de las resistencias cortantes obtenidas en los ensayos de corte directo in-situ y en laboratorio.

INTRODUCCION

Los parámetros de resistencia cortante utilizados en el análisis de estabilidad a largo plazo son del tipo consolidado drenado. La manera usual de determinarlos es mediante ensayos de laboratorio de corte directo o triaxiales en muestras inalteradas. La obtención y transporte al laboratorio puede producir perturbaciones en las muestras, con la consecuencia de obtener resultados de ensayo de laboratorio que no reflejan las condiciones de campo.

Dadas las características especiales del suelo del talud y con el propósito de verificar los resultados de los ensayos de corte directo en el laboratorio, se diseñó y construyó un equipo de campo para ejecutar ensayos de corte directo in-situ. En este artículo se describe el equipo de campo y el procedimiento de ensayo, y se presenta una comparación de las resistencias

(1) Profesor Principal, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

(2) Jefe de Prácticas, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

(3) Profesor Asociado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima Perú.

cortantes drenadas obtenidas con dicho equipo y los resultados de los ensayos de corte directo en el laboratorio, ejecutados en muestras de distintas partes del talud.

EXPLORACION DE CAMPO

El talud en estudio está ubicado en la sierra central del Perú, en una altiplanicie a 3800 m.s.n.m. Consiste de un depósito cuaternario del tipo calcáreo terroso cruzado por horizontes de travertino y arcilla. En el área, desde el Triásico superior hasta el Jurásico, ocurrió sedimentación continua dando origen al Grupo Pucará. Posteriormente ocurre un levantamiento que origina el Geoanticlinal del Maraón, produciendo dos cuencas. En la cuenca occidental, desde el Cretáceo inferior-superior se acumularon sedimentos de areniscas que forman el grupo Goyllarizquisga; luego por hundimiento de la cuenca se depositaron calcáreos de la Formación Chulec, Pariatambo y Celendín.

El talud en estudio tiene predominio de material calcáreo del cuaternario, con fragmentos de cuarzo y gran porcentaje de travertino y limolitas. La zona está expuesta a lluvias intensas en determinadas épocas del año.

Con el propósito de estudiar las características del talud, se ubicaron tres ejes de trincheras. En las trincheras se obtuvieron muestras inalteradas y alteradas de los suelos constituyentes, para realizar los análisis de laboratorio. Se ejecutaron también ensayos de corte directo in-situ. Las trincheras se dividieron en zonas representativas para obtener muestras de los diferentes estratos. Por ejemplo, la identificación 24-C indica la muestra C de la cuarta zona de la trinchera 2. La Figura N° 1 presenta un esquema de la ubicación y zonificación de cada trinchera. Además, se indican los lugares donde se extrajeron muestras para ensayos de laboratorio y donde se realizaron los ensayos de corte in-situ.

ENSAYOS DE LABORATORIO

Se ejecutaron, para clasificar los suelos del talud, 61 ensayos de granulometría, 26 ensayos de límite líquido, 10 ensayos de límite plástico y 41 ensayos de contenido de humedad. También se realizaron análisis químicos y ensayos de sedimentación en las muestras del talud. Estos ensayos estándar se realizaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Los ensayos especiales de corte directo en muestras de contenido de humedad natural y saturado se efectuaron en el Laboratorio de Mecánica de Suelos del Ministerio de Agricultura. Los resultados obtenidos de los ensayos de corte directo en laboratorio se presentan en la Tabla N° 1.

De acuerdo a los perfiles estratigráficos y los ensayos de laboratorio se concluye que el talud está conformado en un 70% por material limo-arcilloso y en un 30% por material areno-limoso. El contenido de material calcáreo en este depósito es elevado

ENSAYOS IN-SITU

Se realizaron cinco ensayos de corte directo in-situ en distintas partes del talud, para determinar los parámetros de resistencia cortante drenada del suelo. Los ensayos los realizó el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería. El equipo de ensayo se construyó de acuerdo a las características mostradas en la Figura N° 2.

Equipo.- Los principales componentes del equipo son:

- a) Caja metálica.- empleada para confinar la muestra y aplicar las cargas horizontal y vertical, las dimensiones son 0.30 x 0.30 x 0.30 m.
- b) Sistema de transmisión de carga.- sobrecarga apoyada sobre dos vigas de acero para transmitir la carga vertical. Una placa y el terreno para transmitir la carga horizontal.
- c) Polines.- cilindros de acero de 2" de diámetro colocados entre dos planchas metálicas de 1" de espesor. Este sistema evita el desplazamiento del gato que transmite la carga vertical.
- d) Gatos hidráulicos.- capaces de transmitir la carga vertical y horizontal al espécimen. Los gatos tienen una capacidad de 20 toneladas.
- e) Extensómetros.- para medir desplazamientos verticales y horizontales desarrollados durante el ensayo (aproximación de 0.01 mm).

Preparación de la Muestra.- Se realiza la excavación del terreno y el tallado inicial de las muestras a ensayar, tal como se indica en la parte superior de la Figura N° 3. El tallado inicial se realiza empleando pala, pico y barreno, consiguiendo posteriormente las dimensiones de ensayo con espátulas, barretillas y cuchillos. Se monta luego la caja metálica de confinamiento y el resto del equipo sobre el espécimen de ensayo, tal como se muestra en la parte inferior de la Figura N° 3.

Procedimiento.- Teniendo la muestra y el equipo listos, se procede a la aplicación de las cargas vertical y horizontal mediante los gatos hidráulicos. Se aplica la carga vertical en incrementos hasta alcanzar el esfuerzo vertical requerido, anotándose la deformación vertical alcanzada. Luego se aplica la carga horizontal en incrementos, registrando las deformaciones producidas, hasta notar un decremento de la carga horizontal, que indica falla. Se emplearon en los ensayos esfuerzos verticales normales de 1,2 y 4 kg/cm². Se midieron esfuerzos tangenciales máximos de hasta 3.2 kg/cm² en los ensayos. Los resultados de los ensayos de corte directo in-situ se presentan en la Tabla N° 2.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Los parámetros de resistencia cortante drenada obtenidos de los ensayos de corte directo en el laboratorio son función del tipo de suelo, su composición química y su contenido de humedad durante el ensayo
- 2) Los parámetros de resistencia cortante drenada obtenidos del ensayo de corte directo in-situ presentan valores muy similares a los obtenidos en el ensayo de corte directo en el laboratorio. En promedio los valores del ángulo de fricción obtenidos en el laboratorio son mayores en 2°, y los valores de la cohesión de laboratorio son menores en 0.2 kg/cm², que los valores de campo.
- 3) Los materiales más arcillosos presentan valores de resistencia cortante drenada menores que los materiales limosos. Los materiales limosos contienen un porcentaje mayor de carbonatos.
- 4) El equipo presentado para realizar ensayos de corte directo in-situ es relativamente sencillo de construir, tiene un costo bajo y necesita adicionalmente solo 2 gatos hidráulicos.
- 5) El procedimiento de preparación de especímenes y ejecución del ensayo es simple y rápido, descartándose en el ensayo la perturbación que puede sufrir la muestra inalterada de laboratorio durante su extracción y transporte.
- 6) Se recomienda el empleo del equipo de corte directo in-situ, presentado en este artículo, en otros suelos del Perú.

AGRADECIMIENTO

Se agradece al personal técnico que participó en la fabricación del equipo y en la ejecución de los ensayos in-situ y de laboratorio.

REFERENCIAS

- 1) Alva Hurtado J.E. (1985), "Estudio Geotécnico de Cimentación"
- 2) Alva Hurtado J.E. (1985), "Notas de Clase-Mecánica de Suelos", Maestría-UNI.
- 3) Annual Book of ASTM (1986), "Soil and Rock; Building Stones", Standards volume 04.08.

- 4) Bowles, J. (1978), "Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil".
- 5) Cassan, M. (1982), "Los Ensayos In-Situ en la Mecánica del Suelo".
- 6) Gutiérrez Lázares J. (1987), "Estudio de Canteras y Fuentes de Agua", Tesis de Bachiller.
- 7) Humala Aybar G. (1982), "Ensayo de Corte Directo In-Situ en Lima".
- 8) Lambe, W. (1972), "Ensayos de Suelos para Ingeniería".
- 9) Lambe, W-Whitman, R. (1981), "Mecánica de Suelos".
- 10) Rico R.- Del Castillo H. (1987), "La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres".
- 11) Universidad Nacional de Ingeniería (1987) "Ensayos de Corte Directo In-Situ".

TABLA N° 1
RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO EN LABORATORIO

CORTE DIRECTO	MUESTRA	CLASIFICACION SUCS	ω %	DENSIDAD SECA (gr/cm³)	$\bar{\sigma}$ (kg/cm ²)	τ máx. (kg/cm ²)	\bar{C} (kg/cm ²)	$\bar{\phi}^{\circ}$
CD – 1 (N)	31 - A	CL	19.39	1.728	1.00	0.86	0.35	27.0
					2.00	1.60		
					4.00	2.16		
CD – 2 (S)	24 - B	ML	34.81	1.427	1.00	1.00	0.45	29.5
					2.00	1.64		
					4.00	2.56		
CD – 3 (N)	14 – A	ML	20.40	1.535	1.00	0.92	0.28	33.0
					2.00	1.72		
					4.00	2.72		
CD – 4 (S)	21 – A	ML	27.16	1.193	1.00	1.10	0.60	24.5
					2.00	1.64		
					4.00	2.24		
CD – 5 (N)	23 - B	CL	16.27	1.816	1.00	1.00	0.55	21.0
					2.00	1.56		
					4.00	1.60		

(N) : MUESTRAS ENSAYADAS BAJO CONDICIONES NATUALES
(S) : MUESTRAS ENSAYADAS BAJO CONDICIONES SATURADAS

TABLA N° 2
RESULTADOS DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN-SITU

CORTE DIRECTO	MUESTR A	CLASIFICACION SUCS	ω %	$\bar{\sigma}$ (kg/cm²)	τ máx. (kg/cm²)	\bar{C} (kg/cm²)	$\bar{\phi}^{\circ}$
CD – 1	31 - A	CL	22.36	1.00	0.81	0.34	24.5
				2.00	1.22		
				4.00	2.17		
CD – 2	24 - B	ML	25.77	1.00	0.65	0.49	18.5
				2.00	1.43		
				4.00	1.74		
CD – 3	14 – A	ML	19.77	1.00	0.99	0.61	29.5
				2.00	2.03		
				4.00	2.78		
CD – 4	21 – A	ML	24.12	1.00	1.57	0.91	23.8
				2.00	1.74		
				4.00	3.19		
CD – 5	21 - B	CL	22.61	1.00	0.99	0.634	22.5
				2.00	1.57		
				4.00	2.26		

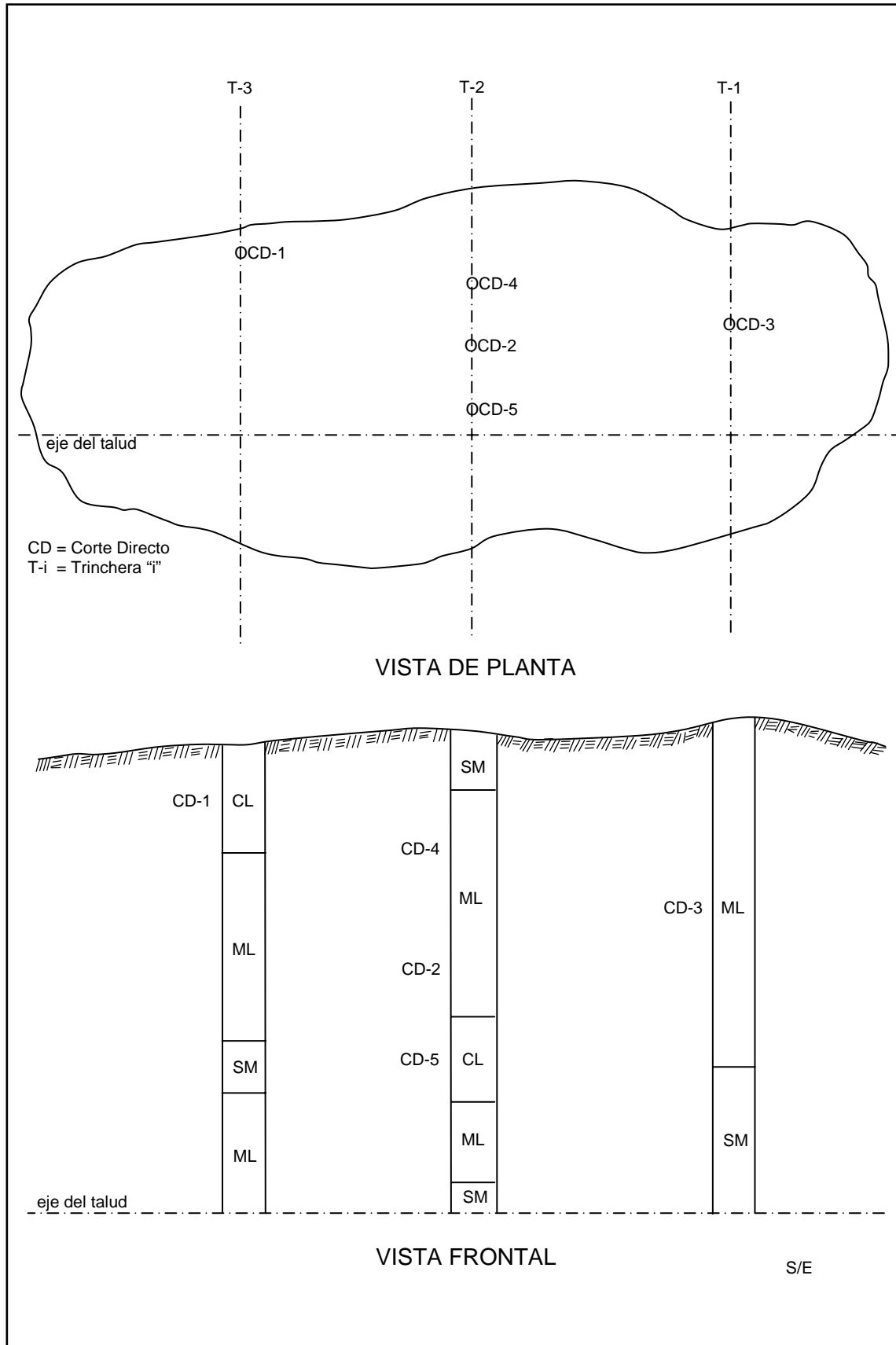


FIGURA Nº 1 UBICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE TRINCHERAS EN EL TALUD

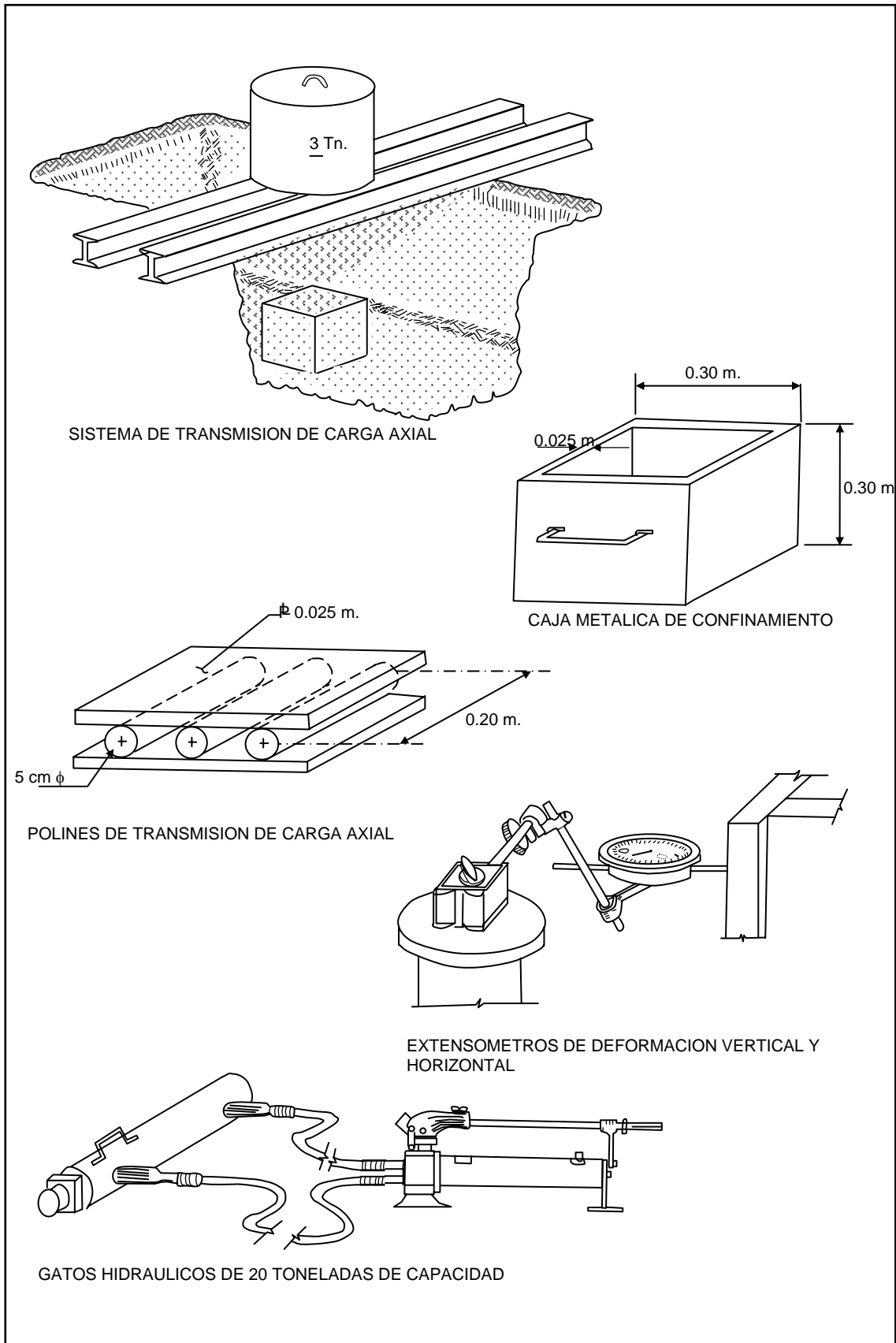
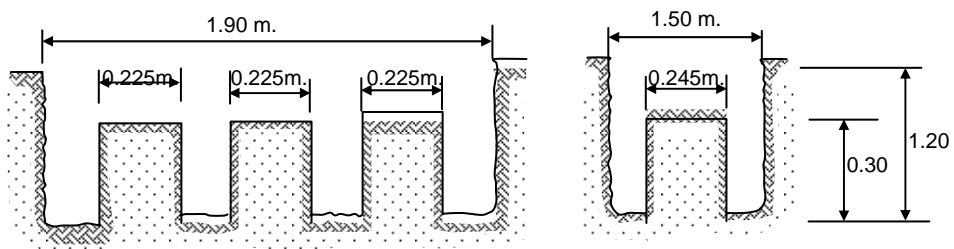


FIGURA Nº 2 ESQUEMA DEL EQUIPO DE CORTE DIRECTO IN-SITU



ESQUEMA DEL TALLADO DE MUESTRAS A ENSAYAR

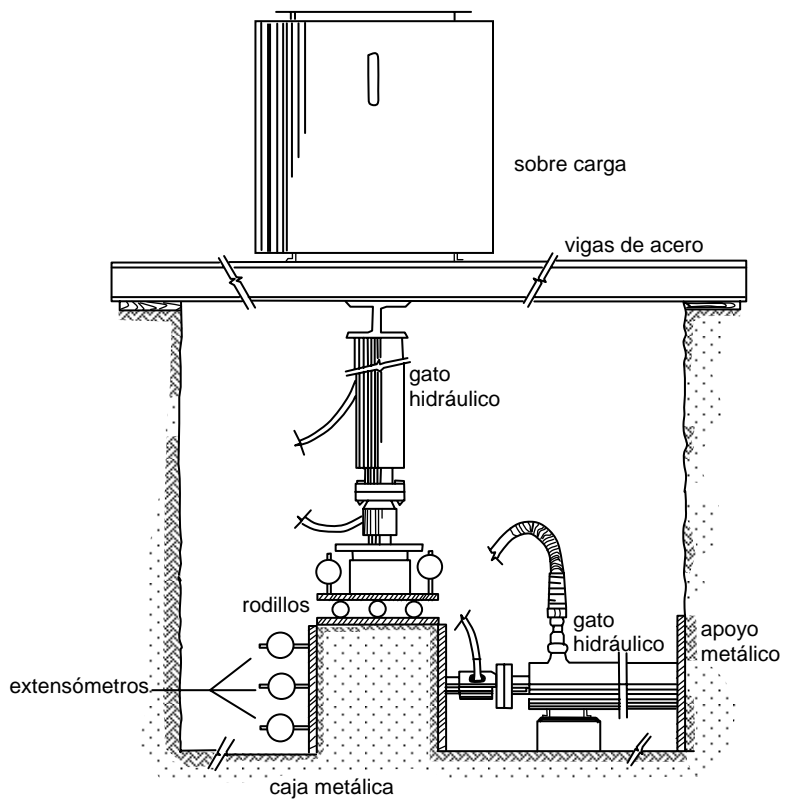


FIGURA Nº 3 PREPARACION DE MUESTRAS Y EJECUCION DE ENSAYOS