



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO GEOTÉCNICO - CISMID

IMPLEMENTACIÓN Y ENSAYOS EXPERIMENTALES DE SUELOS
REFORZADOS CON GEOMALLA A TRAVÉS DE UN MODELO A
PEQUEÑA ESCALA

Aguilar, Zenón.

INVESTIGADOR PRINCIPAL, CISMID

Muñoz, Henry.

ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN, CISMID



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y
MITIGACIÓN DE DESASTRES CISMID

Introducción

- Cimentar sobre áreas que poseen suelos blandos o material de relleno altamente compresibles involucra soluciones tradicionales como el uso de cimentaciones profundas o como el reemplazo grandes potencias de material suelto por otro de mejor calidad. Estos sistemas están ligados a un alto costo lo que ha significado buscar soluciones más económicas.
- Así para mejorar la capacidad de soporte y disminución del asentamiento de suelos blandos o sueltos que involucre menor costo, se han realizado diversas investigaciones que incluye el reforzamiento de estos suelos utilizando geomallas.
- Investigadores concluyen que el uso de geomallas mejora la capacidad de soporte última y reduce el asentamiento de las cimentaciones comparadas con suelos no reforzados. Sin embargo los beneficios de la geomalla actúan después de asentamientos considerables, por lo tanto esta técnica involucra diversos parámetros que requieren ser estudiados para obtener un mejor beneficio.



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Objetivos de la investigación

- Evaluar la capacidad de soporte con la presencia de un número variante de capas de geomallas dentro de una masa de suelo.
- Evaluar los niveles de deformación producido en la geomalla debido a los esfuerzos de tracción .
- Realizar un modelo matemático de este ensayo.
- Diseñar y construir los aditamentos para realizar los tópicos mencionados, todos bajos las mismas circunstancias.



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Implementación de la Estación Experimental

- Tamaño de la zapata para el ensayo: DeBeer (1965) y Das y Omar (1994) después de una serie de las pruebas en laboratorio de capacidad de soporte sugieren usar como ancho mínimo B de una zapata para determinar la capacidad de soporte última en laboratorio, el valor de 150 a 180 mm.
- Dimensiones del pozo de ensayos: en función a la distribución de esfuerzos Boussinesq.
- Dimensiones:

B = 15 cm
ANCHO = 10 x B = 1.50 m
PROFUNDIDAD = 13.3 x B = 2.00 m



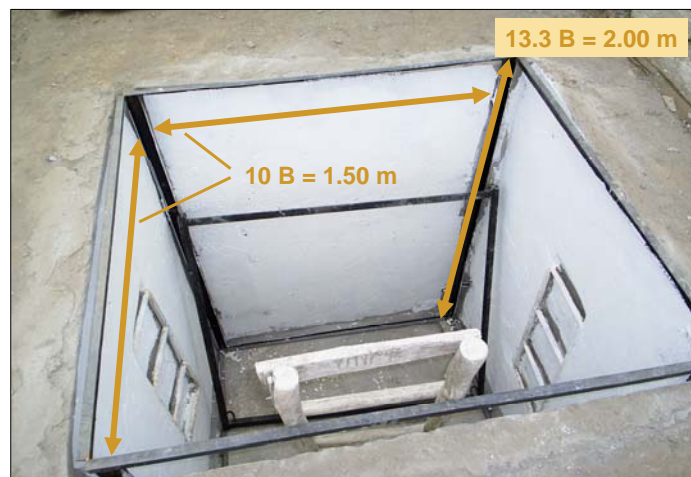
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Implementación de la Estación Experimental (Patio del Laboratorio Geotécnico CISMID)



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Implementación de la Estación Experimental



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Implementación de la Estación Experimental Aparato esparcidor de arena



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Equipos y dispositivos usados en el experimento

- **Load Cell Type CLU-50A**
 - Manufacturado 'Tokyo Sokki Kenkuyo Co., Ltd'
 - Capacidad 50 tf
 - Sensitivity $\pm 2,0$ mV/V

- **Data Logger TDS – 301**
 - Manufacturado 'Tokyo Sokki Kenkuyo Co., Ltd'
 - Sensitivity $\pm 0.05\%$ of readings



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

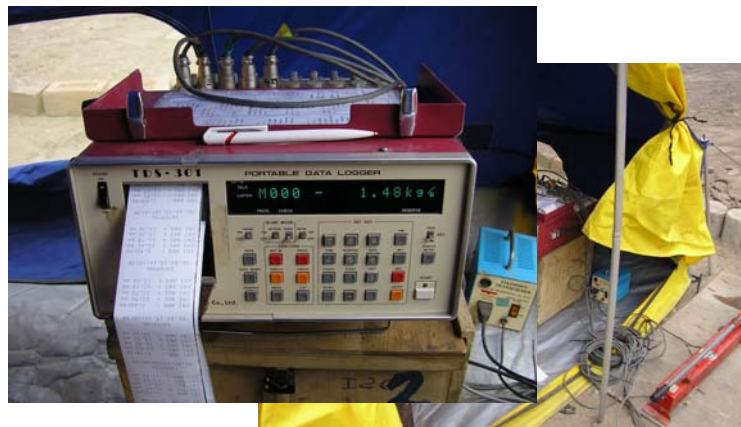
Equipos y dispositivos usados en el experimento

- **Sensores**
 - Manufacturado *'Tokyo Sokki Kenkyo Co., Ltd'*
 - Tipo Peacock DDP-50A
 - Sensitivity $100 * 10^{-6} / \text{mm}$
- **Precision Strain Gage EA-Series**
 - Manufacturado *'Measurements Group, Inc'*
 - Tipo EA-13-125BB-120
 - Sensitivity $(+0.7\% \pm 0.2) \%$



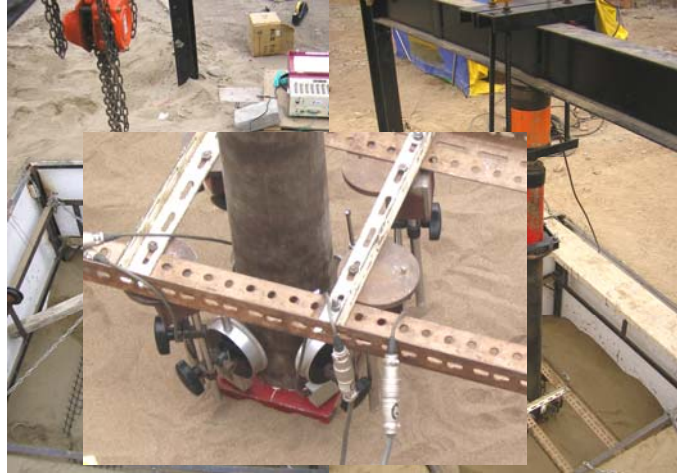
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Equipos usados en el experimento: Data Logger TDS – 301



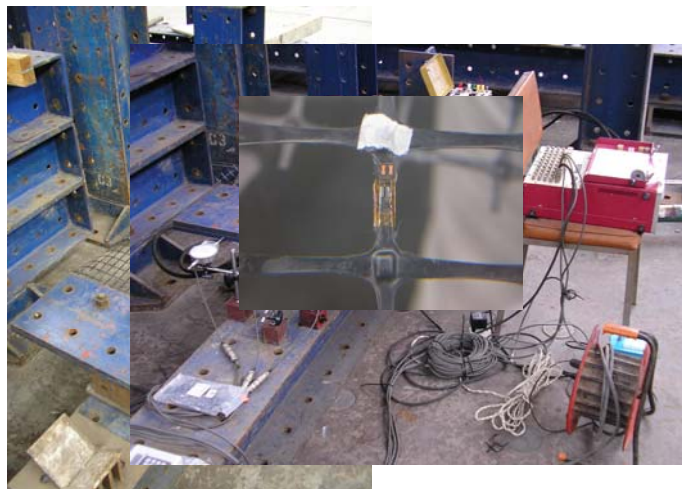
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Equipos usados en el experimento: Celda de Carga y Sensores



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Equipos usados en el experimento: Strain Gages.



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

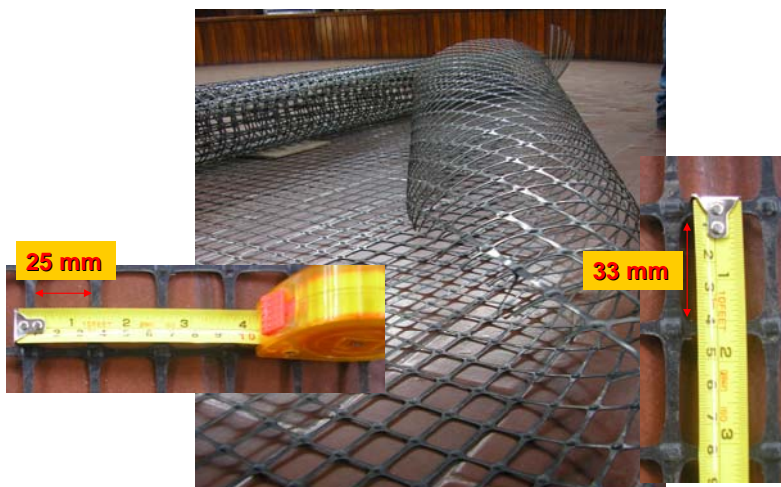
Material: Geomalla Biaxial

- Biaxial Geogrid BX 1100
 - Manufactured by 'Tensile Earth Technologies, Inc'
- Properties in Axis
 - Aperture thickness 25 mm
 - Tensile Strength @ 2% Strain 4.1 kN/m
 - Tensile Strength @ 5% Strain 8.5 kN/m
 - Ultimate Tensile Strength 12.4 kN/m
- Properties in Transverse
 - Aperture thickness 33 mm
 - Tensile Strength @ 2% Strain 6.6 kN/m
 - Tensile Strength @ 5% Strain 13.4 kN/m
 - Ultimate Tensile Strength 19.0 kN/m



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Geomalla Biaxial



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

Programa Experimental

1. CONTROL DE LA DENSIDAD.
 - APARATO ESPARCIDOR DE ARENA: ESTRATO SUELTO.
 - COMPACTACIÓN: ESTRATO SEMI DENSO
2. CALIBRACIÓN DE STRAIN GAGES.
3. ENSAYOS DE CARGA.

ENSAYOS DE CARGA EN UN SUELO SIN REFORZAMIENTO
Monitoreo del esfuerzo y asentamiento superficial.

ENSAYOS DE CARGA EN UN SUELO REFORZADO:
Monitoreo del esfuerzo y asentamiento superficial.
Monitoreo de la deformación de la geomalla: strain gages.



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS
Y MITIGACIÓN DE DESASTRES -CISMID

1. CONTROL DE LA DENSIDAD: APARATO ESPARCIDOR DE ARENA

El método de la pluviación es sugerido como un buen método para simular depósitos naturales.

Esta técnica involucra la caída de las partículas de arena desde una altura conocida, en el cual es principalmente la energía cinética de estas partículas que en el instante que impactan en la superficie controlan la densidad relativa del material que se está depositando (Vaid y Negussy, 1988).



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CALIBRACIÓN DEL APARATO ESPARCIDOR DE ARENA

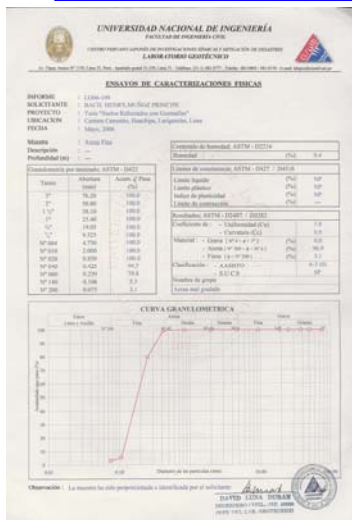
OBJETIVO DEL MÉTODO:

Obtener densidades uniformes y homogéneas para un estrato de arena. Usando este aparato puede ser alcanzado un rango de densidades relativas variando solamente la altura de caída de las partículas de arena.

DENSIDAD OBJETIVO:

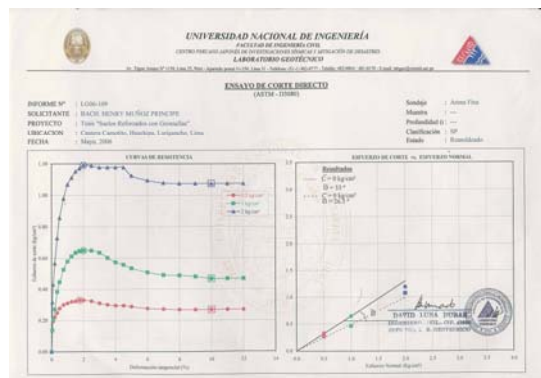
SIMULAR UN SUELO SUELTO: DENSIDAD RELATIVA $D_r = 40\%$

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ARENA



Clasificación SUCS : SP, ARENA MAL GRADADA.

CU: 1.8, Cc: 0.9, Arena: 96%, Finos: 3.1 %

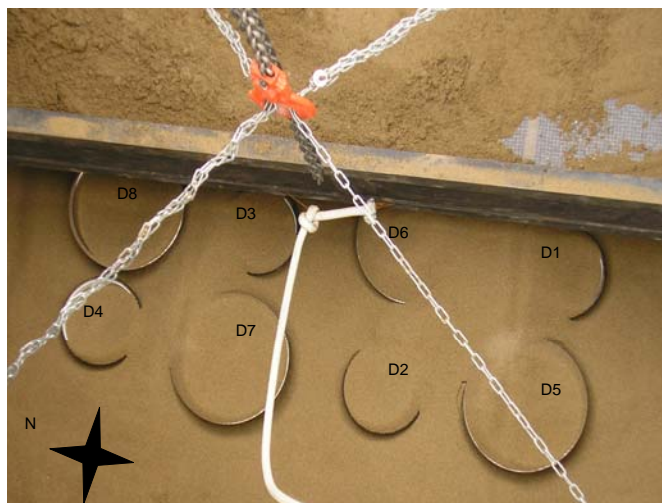


Ubicación de los recipientes en la base del pozo de ensayo.



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

Vista de la disposición de los recipientes para la obtención de la densidad.



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

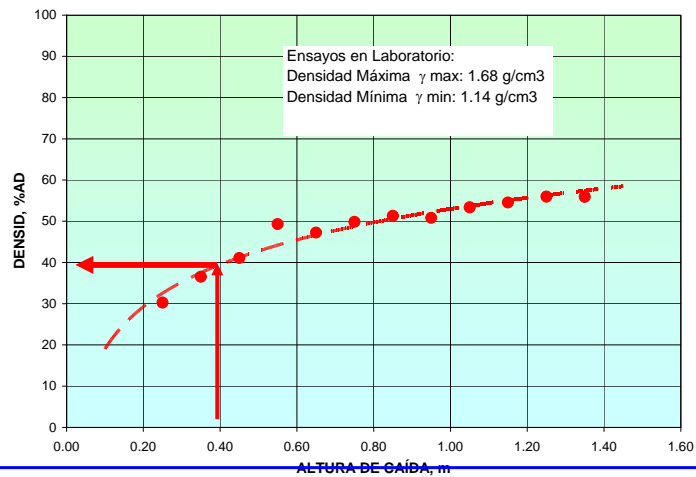
RESUMEN DE DENSIDADES

Altura de Caída (m)	Campaña No. 1			Campaña No. 2			Campaña No. 3			Campaña No. 4							
	Densidad húmeda promedio (g/cm ³)		Contenido de Humedad promedio (%)	Densidad húmeda promedio (g/cm ³)		Contenido de Humedad promedio (%)	Densidad húmeda promedio (g/cm ³)		Contenido de Humedad promedio (%)	Densidad húmeda promedio (g/cm ³)		Contenido de Humedad promedio (%)					
	P.1	P.2		P.1	P.2		P1	P2		P1	P2						
0.25	1.28	1.25	0.9	1.29	1.27	0.7	1.39	1.41	0	1.24	1.25	0.7					
0.35	1.25	1.26	NR	1.31	1.3	0.7	1.4	1.41	0	1.31	1.31	0.6					
0.45	1.3	1.27	NR	1.32	1.31	0.7	1.41	1.41	0	1.34	1.34	0.9					
0.55	1.34	1.33	1.1	1.34	1.35	NR	1.39	1.39	0	1.38	1.38	0.5					
0.65	1.34	1.34	NR	1.33	1.33	NR	1.41	1.39	0	1.37	1.35	0.8					
0.75	1.35	1.35	NR	1.36	1.36	0.5				1.36	1.37	0.6					
0.85	1.39	1.37	NR							1.35	1.36	0.7					
0.95	1.37	1.37	NR							1.35	1.36	0.6					
1.05	1.38	1.39	0.8							1.37	1.37	0.7					
1.15	Contenido de humedad promedio de la Campaña 1 (%): 0.9												1.38	1.38	0.6		
1.25													1.39	1.39	0.7		
1.35													1.39	1.39	0.6		
Contenido de humedad promedio de la Campaña 2 (%): 0.7													Contenido de humedad promedio de la Campaña 4 (%): 0.7				
Contenido de humedad promedio de la Campaña 1 (%): 0.9													Contenido de humedad promedio de la Campaña 4 (%): 0.7				



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

Densidades Relativas Dr obtenidas usando el aparato esparcidor a distintas alturas de caída.



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CONTROL DE COMPACTACIÓN

OBJETIVO DEL MÉTODO:

Obtener densidades uniformes y homogéneas para un estrato de arena SEMI DENSA. Controlando la humedad de la arena y el esfuerzo de compactación.

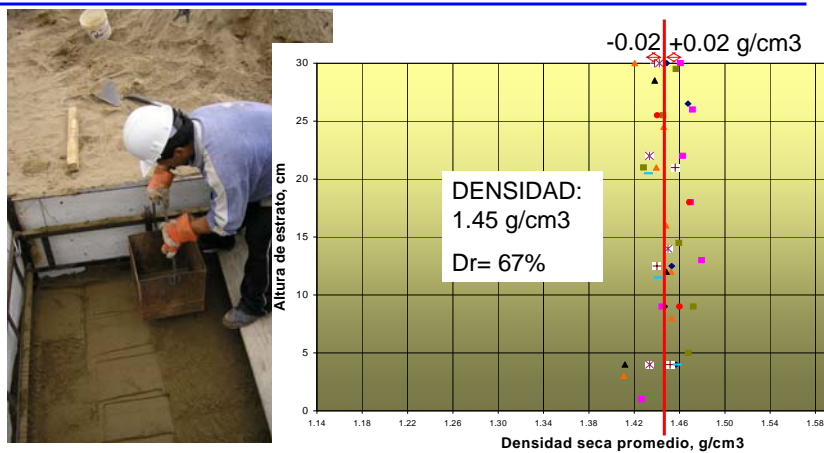
DENSIDAD OBJETIVO:

SIMULAR UN SUELO SEMI COMPACTO: DENSIDAD RELATIVA
 $Dr = 67\%$



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CONTROL DE COMPACTACIÓN



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

2. CALIBRACIÓN DE STRAIN GAGES

Strain gages adheridas al material de refuerzo deben ser calibradas versus la deformación global del refuerzo.

Deformaciones locales o gages strain se refiere a la deformación registrada en el punto en donde este ha sido adherido.

Deformación global se refiere a la deformación promedio sobre una longitud que es mucho mayor que el strain gages. (Bathurst, et al 2002)



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CALIBRACIÓN DE STRAIN GAGES

OBJETIVOS:

Medir las deformaciones producidas en la geomalla para inferir los esfuerzos de tensión al que es sometida.

Encontrar un factor de calibración (FC), que relacione el valor de deformación global (extensómetros) y el valor de deformación local (Strain gage) en un espécimen de geomalla.



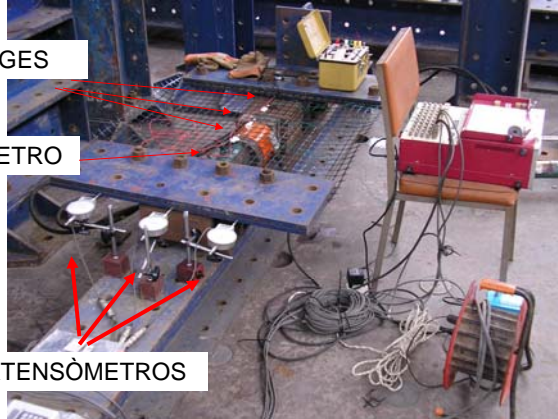
Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CALIBRACIÓN DE STRAIN GAGES (Laboratorio de Estructuras CISMID)

3 STRAIN GAGES

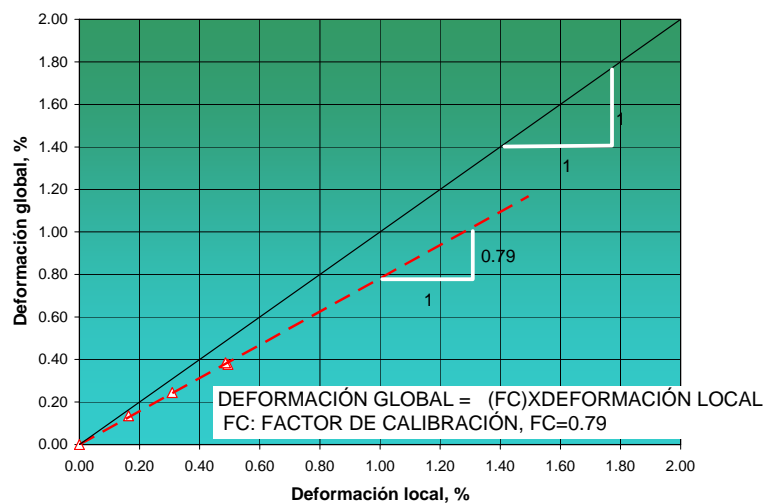
1 EXTENSÓMETRO

EXTENSÓMETROS



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

CALIBRACIÓN DE STRAIN GAGES



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

3. ENSAYOS DE CARGA.

Exposición general.

Para mejorar la calidad de los suelos sueltos y/o blandos con fines de cimentación existen soluciones que incluyen técnicas como la densificación, la consolidación, el reforzamiento y la estabilización química de suelo. Todas estas técnicas deben ser capaces de incrementar la capacidad de soporte del suelo, de controlar los asentamientos, de incrementar la resistencia a la liquefacción entre otros (Wayne, et al 1998).



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

Las diferentes configuraciones de reforzamiento y las condiciones del suelo pueden resultar diferentes modos de falla. La meta es determinar el control de los modos de falla (Wayne, et al 1998).

B: ancho de la zapata

u: distancia desde la base de la zapata a la geomalla superior.

h: espaciamiento entre las capas de geomallas.

d: profundidad de reforzamiento.

b: ancho de la capa de la geomalla.

L: Largo de la geomalla.

N: número de geomallas.

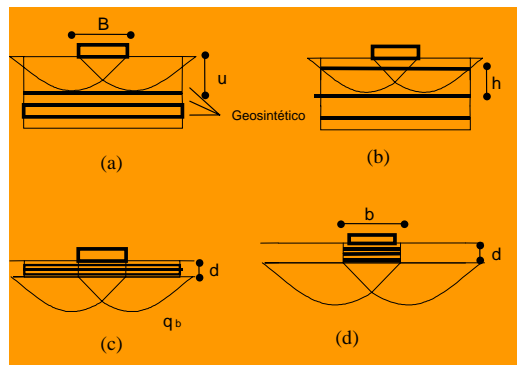


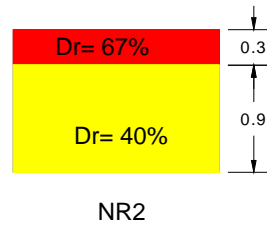
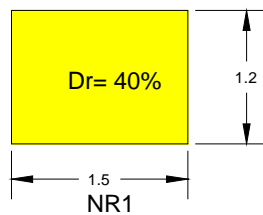
Figura 1. Posibles mecanismos de falla para cimentaciones reforzadas con geosintéticos. (a) Falla superficial, (b) Falla entre los reforzamientos, (c) Punzonamiento profundo a través de la zona de refuerzo, (d) Punzonamiento a lo largo de la zona reforzada.



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

PROGRAMA DE ENSAYOS PROPUESTO:

No.	Descripción	Dr :	Estrato (m)
1. ENSAYOS SOBRE ARENA NO REFORZADA			
1	Ensayo de carga sobre un depósito de arena de densidad relativa(Dr) homogénea.	Dr= 40%	1.2
2	Ensayo de carga sobre un depósito de arena conteniendo 2 densidades relativas (Dr):	Dr= 70% Dr= 40%	0.3 0.9



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

PROGRAMA DE ENSAYOS PROPUESTO (CONTINUACIÓN)

EVALUAR EL ESPACIAMIENTO ÓPTIMO DE LA PRIMERA CAPA DE GEOMALLAS

b=L	N	u	h	d
Constante	Constante	Variable	Constante	Constante

EVALUAR EL NUMERO ÓPTIMO DE GEOMALLAS

b=L	N	u	h	d
Constante	Variable	Constante	Constante	Constante

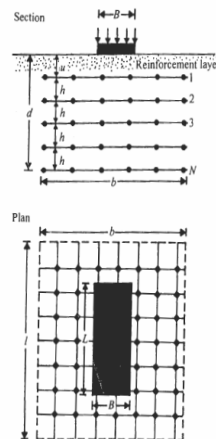
EVALUAR EL ANCHO ÓPTIMO DE GEOMALLAS

b=L	N	u	h	d
Variable	Constante	Constante	Constante	Constante

EVALUAR EL ESPACIAMIENTO ÓPTIMO ENTRE CAPAS DE GEOMALLAS

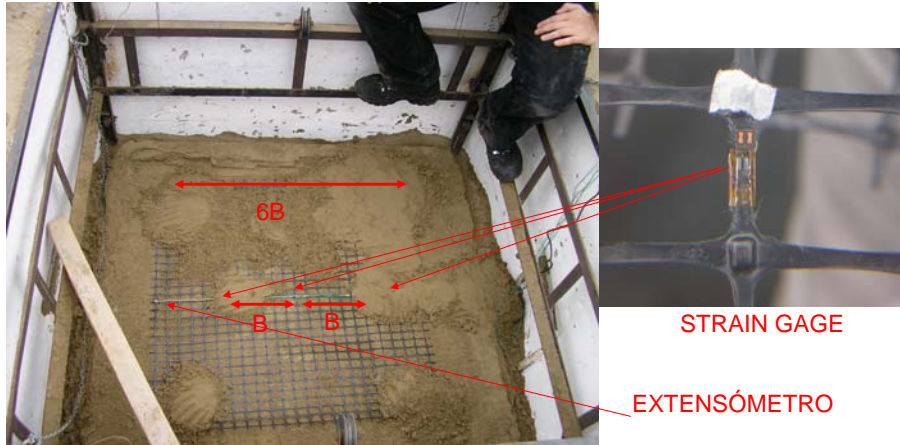
b=L	N	u	h	d
Constante	Constante	Constante	Variable	Constante

Cada campaña de ensayo en suelo reforzado, se realizará sobre la configuración de estratos descrita antes. CONFIGURACIÓN: NR1, NR2.



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

ENSAYOS DE CARGA SOBRE SUELO REFORZADO



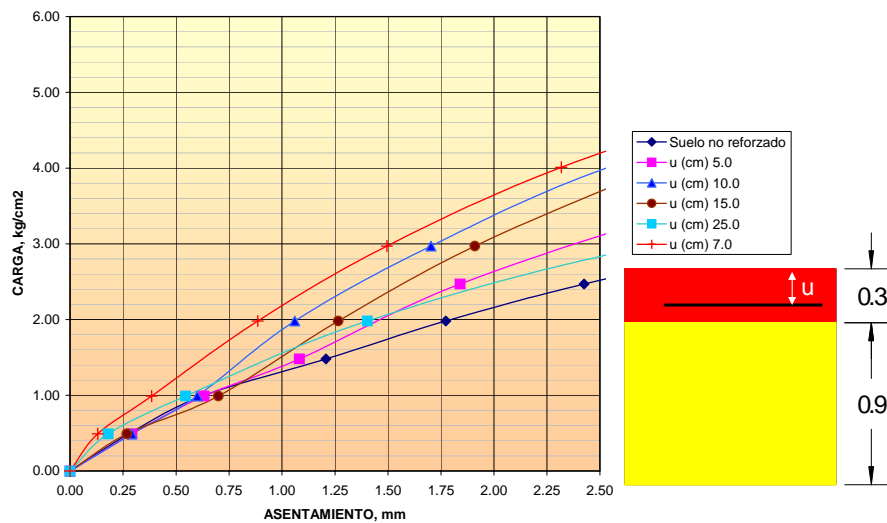
STRAIN GAGE

EXTENSÓMETRO



Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

ENSAYOS DE CARGA SOBRE SUELO REFORZADO

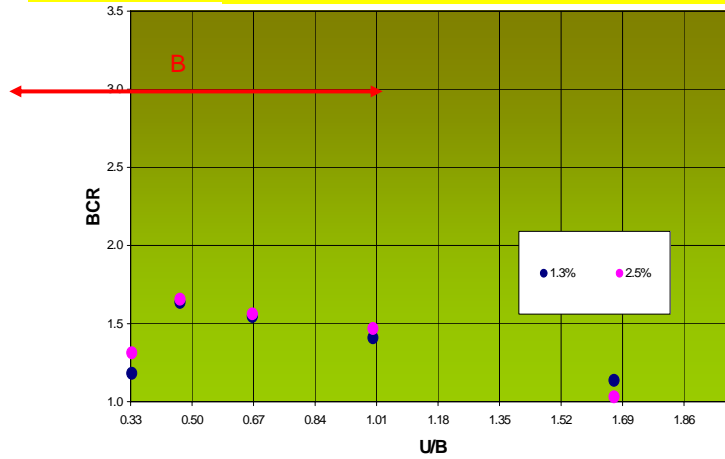


Japan- Perú Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

ENSAYOS DE CARGA SOBRE SUELO REFORZADO

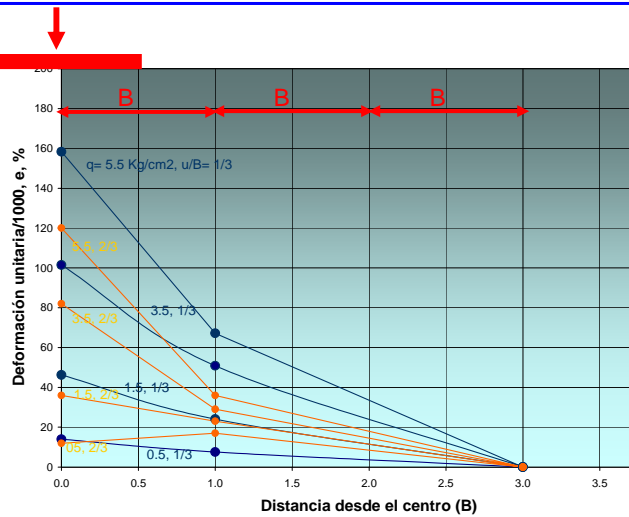
$$BCR_s = \frac{q(R)}{q}$$

En donde:
 BCRs: Relación de la capacidad de soporte para una asentamiento s.
 q(R), q: Capacidad de soporte con y sin refuerzo para un asentamiento s dado, respectivamente.



Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

ENSAYOS DE CARGA SOBRE SUELO REFORZADO MONITOREO DE STRAIN GAGES



Japan-Peru Center for Earthquake Engineering Research and Disaster Mitigation -CISMID

COMENTARIOS FINALES.

Se ha presentado el diseño, la construcción e implementación de los aditamentos del modelo a pequeña escala, como también los ensayos iniciales para evaluar los fenómenos involucrados en la evaluación de la capacidad de soporte de suelos reforzados con geomallas a través de un modelo instrumentado a pequeña escala.

Los resultados obtenidos servirán para proporcionar lineamientos en la selección de parámetros de diseño en suelos reforzados.

