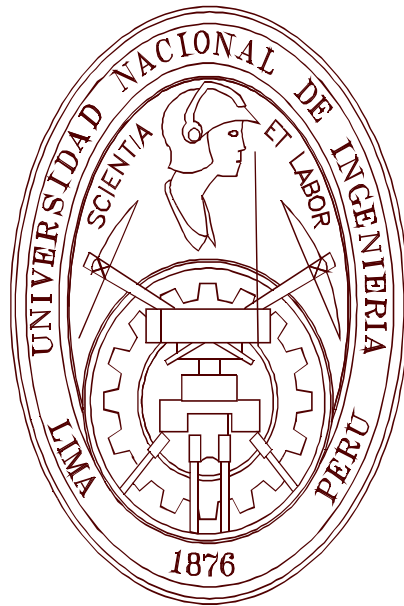


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
SECCION DE POSTGRADO



INVESTIGACIÓN DE LA MATRÍZ EN LAS GRAVAS DEL PERÚ
MODELO GRAVA DE VENTANILLA

TESIS

Para optar el Grado de Maestro en Ciencias
con mención en

INGENIERIA GEOTÉCNICA

Ing^o LUISA ESTHER SHUAN LUCAS

Lima - Perú

2011

INVESTIGACIÓN DE LA MATRÍZ EN LAS GRAVAS DEL PERÚ MODELO GRAVA DE VENTANILLA

Ingº LUISA ESTHER SHUAN LUCAS

Presentado a la Sección de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en
cumplimiento parcial de los requerimiento para el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

2011

Autor : Ing. Luisa Esther Shuan Lucas
Recomendado : M.I.MS Alberto Martinez Vargas
Asesor de la Tesis
Aceptado por : CE.Ing. Francisco Coronado del Aguila
Jefe de la Sección de Posgrado

Mi sincero agradecimiento al M.I.MS. Ing. Alberto Martínez Vargas, asesor de la presente Tesis, ejemplo de dedicación a la noble labor de enseñanza y notable investigador.

Un agradecimiento especial a la Sección de Post Grado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería y a sus profesores, por la formación recibida en sus aulas.

De igual forma, mi agradecimiento al personal técnico del Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la FIC UNI, por el apoyo recibido en la presente investigación.

A mi hijo Franco.

RESUMEN

La presencia de gravas especiales en el Perú en las cuales se han registrado problemas de colapso, licuación, cementación y otros, es una evidencia de la influencia que tiene la matriz que las engloba y que condiciona su comportamiento.

Para la investigación de estos materiales es necesaria la ejecución de ensayos in situ y de laboratorio empleando equipos gigantes para el ensayo de especímenes con su granulometría real; en nuestro medio son escasos los equipos con tales características.

Considerando la limitación para el ensayo de las gravas con su granulometría completa, en el presente trabajo se desarrolla una investigación consistente en el ensayo de una grava pobremente gradada de granulometría reducida a las fracciones comprendidas entre los tamices N°4 y 1/4" factible de ensayar en laboratorio.

A la grava se le adicionó porcentajes variables de matriz para llenar progresivamente los vacíos y analizar la influencia en sus parámetros de resistencia al corte como consecuencia de la presencia de la matriz. Para estos fines se desarrolló una serie de ensayos de corte directo en la mezcla de grava y matriz, para obtener los parámetros C y ϕ en condiciones drenadas, las matrices utilizadas fueron arenas y suelos finos.

A medida que se incrementa la matriz en la grava, se produce una reducción en la relación de vacíos y consecuentemente el aumento del peso unitario seco. En la investigación se establece que el efecto es una reducción paulatina del ángulo de fricción interna relacionada al porcentaje de matriz empleado y un aumento de la cohesión, infiriéndole propiedades de los suelos finos.

ABSTRACT

The presence of special gravel in Peru in which there have been problems of collapse, liquefaction, cementation and others, is evidence of the influence of the matrix that joint and conditions their behavior.

For the investigation of these materials is necessary to perform field testing and laboratory with the use of giant equipments for the testing of specimens with real particle size, in our country are there few equipments with such characteristics.

Considering the limitation for the testing of gravels with full particle size, this work developments a research with tests a poorly graded gravel a reduced grain size in fractions between sieves No. 4 and $\frac{1}{4}$ " feasible to test at the laboratory.

Matrix for varying percentages is added progressively to the gravel for filling the gaps and then analyze their influence on shear strength parameters due to the presence of the matrix.

To this end developed a series of direct shear tests on the mixture of gravel and matrix, to obtain the parameters C and ϕ in drained conditions, the matrices used were sands and fine soils.

As the array increases matrix in the gravel, there is a decrease in void ratio and consequently in increase of dry unit weight, the investigation establishes that the effect is a gradual reduction of the angle of internal friction related to the percentage of added matrix and increased cohesion, inferring properties of the fine soils.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE	3
CAPÍTULO I	INTRODUCCIÓN	
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2	EXPERIENCIA EN EL EXTRANJERO Y EL PERÚ	8
1.3	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL SOBRE LA MATERIA	9
CAPÍTULO II	TIPOS DE GRAVAS	
2.1	GENERALIDADES	10
2.2	SEGÚN SU ORIGEN	10
2.2.1	GRAVAS DE ORIGEN FLUVIAL	10
2.2.2	GRAVAS DE ORIGEN ALUVIAL	11
2.2.3	GRAVAS DE ORIGEN ALUVIONAL.....	13
2.2.4	GRAVAS DE ORIGEN COLUVIAL	14
2.3	POR LA PETROGRAFIA DE LOS CANTOS	15
2.4	POR SU DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	16
2.5	INFLUENCIA DEL TIPO DE MATRIZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO- MECÁNICAS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONGLOMERADO.....	18
CAPÍTULO III	LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LAS GRAVAS EN EL PERÚ	
3.1	POR EL TAMAÑO DE LAS GRAVAS, BOLEOS Y BLOQUES	19
3.2	POR LA DIFICULTAD EN PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	19
3.3	POR LA PRESENCIA DE LAS GRAVAS ESPECIALES	20
3.4	EQUIPOS USADOS EN NUESTRO MEDIO	20
3.5	EQUIPOS USADOS EN EL EXTRANJERO	22
CAPÍTULO IV	PROBLEMAS DE GRAVAS EN CIMENTACIONES	
4.1	GENERALIDADES	26
4.2	GRAVAS LICUABLES	27
4.2.1	ANTECEDENTES	27
4.2.2	CAUSAS DE LA LICUACIÓN	30
4.2.3	CAUSAS DE LA LICUACIÓN EN SUELOS GRAVOSOS	31
4.3	GRAVAS COLAPSABLES	32
4.3.1	ANTECEDENTES	32
4.3.2	CAUSAS DEL COLAPSO	34
4.3.3	EVALUACIÓN DEL COLAPSO	35
4.3.4	EXPERIENCIAS PERUANAS Y CORRELACIÓN CON OTROS CASOS	39
4.3.5	IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRAVAS COLAPSABLES	39
4.4	OTRAS VARIEDADES	40

CAPÍTULO V CASOS DE GRAVAS ESPECIALES EN EL PERU

5.1	GRAVA DEL LITORAL DE LIMA – ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE	42
5.1.1	GENERALIDADES	42
5.1.2	GEOLOGÍA	42
5.1.3	GEOMORFOLOGÍA	43
5.1.4	ESTABILIDAD DE TALUDES	46
5.1.5	VULNERABILIDAD DE LOS ACANTILADOS	47
5.2	GRAVA COLAPSABLE DE VÍTOR – AREQUIPA, MOQUEGUA, TACNA	49
5.3	LICUACIÓN DE GRAVAS EN EL PUENTE YAUCA – AREQUIPA	52
5.4	GRAVA CEMENTADA CON CARBONATO DE CALCIO EN EL RÍO HUAURA – HUACHO Y EN JAUJA	52
5.5	OTRAS MATRICES AÚN NO ESTUDIADAS	53

CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN LA GRAVA DE LIMA

6.1	GENERALIDADES	57
6.2	METODOLOGÍAS	58
6.2.1	EN LABORATORIO CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	58
6.2.2	EN CAMPO CON EL ENSAYO DE PLACA	59
6.2.3	EN CAMPO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU	60
6.2.3.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	61
6.2.3.2	PROCEDIMIENTO DE CORTE	61
6.2.3.3	DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA	63
6.3	ENSAYOS IN SITU EFECTUADOS	64
6.3.1	CENTRO DE LIMA – 1972	64
6.3.2	UNIVERSIDAD DE SAN MARCOS - 1996	66
6.3.3	ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE – 1997	67
6.3.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	68

CAPÍTULO VII GRAVA MODELO UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN

7.1	INTRODUCCIÓN	73
7.2	PROPIEDADES FÍSICAS	77
7.2.1	PESO ESPECÍFICO DEL CONGLOMERADO	77
7.2.1.1	PESO ESPECÍFICO GRAVA < 3/4 ”	78
7.2.1.2	PESO ESPECÍFICO GRAVA < 3/8 ”	78
7.2.1.3	PESO ESPECÍFICO GRAVA < 1/4 ”	78
7.2.2	PESO ESPECÍFICO DE LA MATRÍZ	79
7.2.3	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA GRAVA	80
7.2.4	GRANULOMETRÍA	81
7.2.5	EVALUACIÓN DE LAS GRAVAS DEL CONGLOMERADO DE LIMA	86
7.3	CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LA GRAVA DE VENTANILLA	88
7.3.1	ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO DE LOS CANTOS RODADOS ..	88
7.3.1.1	LITOLOGÍA DE LOS CANTOS	88
7.3.1.2	MORFOMETRÍA	89
7.3.2	ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LA GRAVA MODELO	92
7.3.3	DUREZA DE LOS CANTOS	94
7.3.4	ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA MATRÍZ	94
7.3.5	CONTENIDO DE SALES	95

7.4	RESISTENCIA MECÁNICA DE LA MATRIZ	95
7.4.1	DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO IN SITU DE LA GRAVA POR EL MÉTODO DEL CONO Y LA ARENA	95
7.4.2	DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DE LA FRACCIÓN FINA POR CORRECCIÓN	98
7.4.3	DETERMINACIÓN DE ϕ y C CON PRUEBA DE CORTE DIRECTO DE LA MATRÍZ	99
7.4.4	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA Y LIMITACIONES DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES	100
7.5	CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	101

CAPÍTULO VIII RESULTADOS EXPERIMENTALES – INFLUENCIA DE LA MATRIZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS

8.1	INTRODUCCIÓN	104
8.2	PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA GRAVA MODELO	106
8.2.1	CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS REQUERIDAS	106
8.2.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA GRAVA SELECCIONADA	107
8.2.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA GRAVA SIN MATRÍZ	109
8.3	MATRIZ ARENOSA Y VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE FINOS	111
8.3.1	MATRÍZ M.A 1	111
8.3.1.1	PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES	111
8.3.1.2	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	111
8.3.1.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRÍZ	112
8.3.1.4	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRÍZ	112
8.3.1.5	PROPORCIÓN DE MATRÍZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLÚMEN DE VACIOS INICIAL DE LA GRAVA	113
8.3.1.6	RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ	114
8.3.1.7	RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A.1	117
8.3.2	MATRÍZ M.A. 2	121
8.3.2.1	PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES	121
8.3.2.2	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	121
8.3.2.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRÍZ	121
8.3.2.4	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRÍZ	121
8.3.2.5	PROPORCIÓN DE MATRÍZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLÚMEN DE VACIOS INICIAL DE LA GRAVA	122
8.3.2.6	RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ	123
8.3.2.7	RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A. 2	126
8.3.3	MATRÍZ M.A 3	130
8.3.3.1	PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES	130
8.3.3.2	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	130
8.3.3.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRÍZ	130
8.3.3.4	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRÍZ	130
8.3.3.5	PROPORCIÓN DE MATRÍZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLÚMEN DE VACIOS INICIAL DE LA GRAVA	131
8.3.3.6	RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ	132
8.3.3.7	RESÚMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A. 3	135
8.4	MATRIZ FINA Y VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE FINOS	139
8.4.1	MATRÍZ M.F 1	139
8.4.1.1	PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES	139
8.4.1.2	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	139
8.4.1.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRÍZ	139
8.4.1.4	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRÍZ	140

8.4.1.5	PROPORCIÓN DE MATRÍZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLÚMEN DE VACIOS INICIAL DE LA GRAVA	140
8.4.1.6	RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ	142
8.4.1.7	RESÚMEN DE ENSAYOS GRUPO M.F. 1	144
8.4.2	MATRÍZ M.F 2	
8.4.2.1	PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES	148
8.4.2.2	DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA	148
8.4.2.3	RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRÍZ	148
8.4.2.4	CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRÍZ	148
8.4.2.5	PROPORCIÓN DE MATRÍZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLÚMEN DE VACIOS INICIAL DE LA GRAVA	149
8.4.2.6	RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ	150
8.4.2.7	RESÚMEN DE ENSAYOS GRUPO M.F. 1	153
8.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	157

CAPÍTULO IX CORRECCIONES Y APLICACIONES

9.1	CORRECCIONES EN LOS PARÁMETROS ϕ Y C	161
9.2	APLICACIONES	165

CAPÍTULO X CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1	CONCLUSIONES	166
10.2	RECOMENDACIONES	168

ANEXO I	169
----------------------	-----

ENSAYOS DE LABORATORIO EN LA GRAVA MODELO

ANEXO II	198
-----------------------	-----

ENSAYOS DE LABORATORIO EN LA MEZCLA GRAVA-MATRÍZ

BIBLIOGRAFÍA	412
---------------------------	-----

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos gravosos son materiales poco estudiados, debido al gran tamaño de sus componentes como boleos, cantos rodados, gravas y finos, se presenta dificultades en la investigación; es difícil la obtención de muestras inalteradas para la realización de ensayos especiales, además el equipamiento de laboratorio para ensayar estos materiales es limitado, son pocos los laboratorios con equipos especiales que permiten el ensayo con especímenes gigantes.

Tradicionalmente, la literatura existente en mecánica de suelos reporta investigaciones en arcillas, limos, arenas, cimentaciones en roca, se ha profundizado el estudio de los suelos especiales como los colapsables, expansivos, licuables y otros; sin embargo, la investigación en gravas quedó rezagada mayormente por los motivos señalados.

En los últimos años el panorama ha empezado a cambiar especialmente en los países desarrollados, se tiene mayor interés en el estudio de estos materiales y la problemática que puede presentarse en ellos.

La matriz presente en el conglomerado tiene una influencia fundamental en su comportamiento principalmente por las variaciones en la proporción de la matriz, el tipo de suelo y presencia de elementos cementantes, a los cuales se agrega las condiciones de saturación, compacidad, relación de vacíos, etc., propiedades que deberían permitir vislumbrar su comportamiento.

1.2 EXPERIENCIA EN EL EXTRANJERO Y EL PERÚ.

En el extranjero se han desarrollado la mayor parte de las investigaciones efectuadas en gravas; tenemos por ejemplo el estudio de la licuación en gravas en Japón, motivados por los problemas de ese tipo reportados en algunos sismos. Se tiene también los casos de colapso ocurridos en algunas presas de Estados Unidos y China.

En la Universidad de Chuo de Japón, con la dirección del profesor Takaji Kokusho se vienen desarrollando investigaciones sobre las propiedades mecánicas de los suelos gravosos, tales como resistencia cíclica no drenada en aparatos triaxiales, resistencia no drenada durante sismos, deformación volumétrica de suelos gravosos por prueba de corte simple, aplicabilidad de los ensayos de densidad máxima y mínima de suelos gravosos, entre otros.

La división de ingeniería geotécnica de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE, ha publicado numerosos artículos sobre gravas de investigadores de lugares diversos como Estados Unidos, Canadá, Japón, entre otros. También hay experiencias en México y España que es importante mencionar.

Regionalmente, en Chile se han efectuado estudios en la grava de Santiago desde los años 80, estos estudios incluyen la ejecución de ensayos triaxiales “in situ” y monitoreos de edificaciones para estudiar asentamientos en gravas. En laboratorio se han efectuado ensayos triaxiales en condición drenadas y no drenadas con especímenes de 1m. de diámetro por 2m. de altura y con presiones de confinamiento de hasta 20 kg/cm², según reporta el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales IDIEM de Chile.

En el Perú, se han realizado ensayos de corte directo “in situ” en el conglomerado de Lima, como parte de los estudios geotécnicos para el Metro de Lima en los años 70 y últimamente en los años 90, como parte de estudios de un proyecto vial y de la estabilidad del conglomerado de la Costa Verde. En el capítulo VI de la presente Tesis se dan mayores alcances de estas experiencias.

Recientemente el laboratorio geotécnico del CISMID – UNI, ha implementado un equipo de corte directo a gran escala para el ensayo de especímenes que contienen gravas de hasta 4 pulgadas de tamaño máximo, el equipo se usa desde el 2009 y es de los pocos existentes en nuestro medio para ensayos de laboratorio en gravas.

La investigación de laboratorio en nuestro medio aún es limitada por la falta de equipos apropiados para la realización de ensayos especiales de resistencia como el corte directo y triaxial, la mayor parte de los equipos existentes en nuestro medio son de dimensiones reducidas y apropiados para el ensayo en suelos finos y arenas.

1.3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL SOBRE LA MATERIA

Actualmente, en el extranjero se observa un creciente interés por el estudio de las gravas y se está implementando el equipamiento de laboratorio y equipos de sondaje apropiados.

En el Perú muchas ciudades se ubican sobre conglomerado y se han reportado casos de gravas especiales en varios lugares, siendo necesaria mayor investigación de estos materiales. Es importante la implementación de los laboratorios con equipos adecuados y el desarrollo de exploración con equipos gigantes.

CAPÍTULO II

TIPOS DE GRAVAS

2.1 GENERALIDADES

Los suelos granulares gruesos en los cuales se incluyen las gravas en mayor porcentaje con gujarros, bolones y bloques, tiene un comportamiento poco estudiado en nuestro medio, en este capítulo se resume su clasificación considerando su origen, composición y tipo.

La clasificación SUCS solo considera como grava el material menor de 3", pero en cimentaciones el suelo natural puede tener tamaños mayores de 3 pulgadas y debería hacerse una corrección por la fracción gruesa contenida.

2.2 SEGÚN SU ORIGEN

Los suelos gravosos se originan a partir de diversos tipos de afloramientos rocosos que se presentan en la naturaleza debido a agentes físicos que causan su desintegración mecánica in situ, el transporte por los ríos le dan forma de cantos rodados a las gravas del conglomerado.

De acuerdo a su formación las gravas pueden ser de diversas características en cuanto a su forma, gradación y el contenido de finos.

2.2.1 GRAVAS DE ORIGEN FLUVIAL

Son materiales depositados por los ríos, el tipo de material depende del estado de desarrollo del valle por donde discurre el río, así como del lugar de donde es arrancado el material y también del lugar donde es depositado, dependiendo también del caudal fluvial.

Los materiales son transportados teniendo en cuenta la pendiente del río, quebrada, etc.; según su tamaño y peso, los grandes y pesados bloques son dejados cerca del lugar de origen y los de menor peso son llevados lejos de su origen.

2.2.2 GRAVAS DE ORIGEN ALUVIAL

Son depósitos transportados por las corrientes de agua y depositados en las depresiones. El tamaño varía desde la matriz arenosa o fina hasta las gravas, cantos y bloques, los materiales gruesos son redondeados debido al transporte. El depósito es en forma estratificada de acuerdo al peso unitario de los componentes.

Como ejemplo tenemos en Lima el depósito aluvial del río Rímac (Foto 2.1), las gravas aluviales de los ríos Mantaro y Shullcas en Huancayo (Fotos 2.2 y 2.3), el depósito aluvial de Jauja que es una grava que presenta estratos cementados con carbonato de calcio, similar a la grava formada por el río Huaura en su desembocadura en Huacho en el departamento de Lima.



Foto 2.1: Depósito aluvial formado por el río Rímac, perfil ubicado en el distrito de Jesús María.

El conglomerado de Lima está compuesto por cantos rodados, gravas, arenas y limos, en algunos sectores se ubican boleos mayores de 12 pulgadas, superficialmente presenta una cobertura con suelo fino de espesor variable según el lugar.

La compacidad relativa es variable, hay zonas de buena compacidad y en otras el conglomerado se halla semisuelto a suelto.

Foto archivo Ing. Luisa Shuan



Foto 2.2: Valle del río Mantaro en Huancayo, amplio cono de deyección formado por depósitos aluviales del río Mantaro y con aportes de los ríos Shullcas y Chilca.

Foto archivo Ing.Luisa Shuan



Foto 2.3: Depósito aluvial de Huancayo, perfil ubicado en el sector de El Tambo. En dicho lugar se registran gravas con matriz arcillosa (GW-GC y GP-GC) de buena compacidad.

Foto archivo Ing.Luisa Shuan

2.2.3 GRAVAS DE ORIGEN ALUVIONAL

Los depósitos aluvionales son materiales arrastrados por huaycos ó aluviones y depositados en los cambios de pendiente y conos de deyección de las quebradas; están conformados por sedimentos clásticos heterogéneos en cuanto a tamaño, forma y composición. Se tienen bloques rocosos de gran tamaño y fragmentos detríticos unidos con matriz arenosa limosa, los depósitos recientes son inestables y pueden presentar asentamientos.

Un ejemplo típico es el suelo de las quebradas de la subcuencas de la zona de Chosica como Quirio, Pedregal, etc.



Foto 2.4: Depósito aluvional en la quebrada Quirio- Chosica cerca a la carretera Central, contiene fragmentos de roca mayores de 1m.

Foto cortesía PREDES (Medidas Preventivas en la Cuenca del río Rimac, Feb. 2006)

2.2.4 GRAVAS DE ORIGEN COLUVIAL

Son materiales transportados por gravedad, acción de hielo-deshielo o agua, son producto de la alteración in situ de las rocas y posterior transporte, se les puede ubicar en la pendiente de las laderas y al pie de los cerros. Su composición depende del tipo de roca de la cuenca o subcuenca y están formadas por fragmentos angulosos en las subcuencas y subredondeados en la cuenca, englobados en matriz limo arcillosa, areno limosa ó areno arcillosa.

Frecuentemente están asociados a masas inestables y susceptibles de presentar asentamientos, sobre todo en los materiales poco consolidados.

En Lima se tienen gravas coluviales angulosas y subangulosas en los conos que bordean la ciudad, como por ejemplo San Juan de Lurigancho, Huaycán , Comas, etc., también en algunas zonas de La Molina (Fotos 2.5 y 2.6)



Foto 2.5 : Depósito coluvial ubicado en el Rincón de La Planicie en La Molina.
El terreno se ha formado por el intemperismo de las rocas de los cerros circundantes y transporte por gravedad hasta depositarse en la parte plana, donde se ubican las viviendas y el pavimento.

Foto archivo Ing.Luisa Shuan

Foto 2.6 : Grava de origen coluvial, perfil del terreno sector Rincón de La Planicie en La Molina (vista anterior), se observa la típica forma subangulosa debido al escaso transporte.

Foto archivo Ing.Luisa Shuan



2.3 POR LA PETROGRAFÍA DE LOS CANTOS

La petrografía de los cantos de las gravas dependen del tipo de afloramiento del cual proceden. En un depósito de grava se pueden encontrar cantos de roca ígnea, sedimentaria o metamórfica, la mayor o menor proporción de algún tipo de roca en especial dependerá del predominio de los afloramientos en las laderas, valles, quebradas, cárcavas, etc. de la ubicación de la roca madre y las características del agente de transporte.

Los cantos del conglomerado de Lima se originan mayormente de las rocas de los contrafuertes de la cordillera occidental de Los Andes. En la zona del Infiernillo donde nace el río Rímac, predominan las calizas y en el valle rocas ígneas como granito, granodiorita y volcánicas.

Sin embargo, en su recorrido el río Rímac atraviesa afloramientos sedimentarios y metamórficos de los cuales proceden una porción reducida de los cantos. Según el profesor A.Martínez en el conglomerado de Lima no se encuentran calizas pues han sido disueltas y forman las costras calcáreas de Chorrillos en la Costa Verde.

De la petrografía de los cantos depende también su dureza, las gravas coluviales que proceden de rocas ígneas y metamórficas pueden ser frágiles.

Las gravas aluviales con predominio de cantos de roca ígnea volcánica e intrusiva son de buena resistencia mecánica, como ejemplo tenemos la grava de Lima.

Las gravas fluviales ó aluviales con predominio de cantos de roca sedimentaria tienen resistencia mecánica media a baja, por ejemplo las gravas formadas por los ríos de la selva alta (Foto 2.3).



Foto 2.7 : Depósito fluvial del río Cacazú (Villa Rica–Pasco), cantera de agregado con predominio de cantos de rocas sedimentarias.

Foto archivo Ing. Luisa Shuan

2.4 POR SU DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Los suelos granulares gruesos comprenden la mezcla de materiales tales como fragmentos de roca o bloques, boleos, cantos rodados, gravas, arenas y finos. Sin embargo la mayoría de los sistemas de clasificación consideran la granulometría de los tamaños menores de 3", no hay uniformidad en cuanto a la clasificación de los tamaños mayores.

Para el conglomerado de Lima es frecuente utilizar la siguiente nomenclatura para describir los diversos tamaños que puede contener un suelo granular grueso:

<i>Bloques</i>	:	<i>Fragmentos rocosos mayores o iguales a 1m.</i>
<i>Boleos</i>	:	<i>Material mayor de 12" y menor de 1m.</i>
<i>Cantos rodados</i>	:	<i>Material mayor de 3" y menor de 12"</i>
<i>Grava gruesa</i>	:	<i>Material que pasa la malla de 3" y retiene la malla 3/4"</i>
<i>Grava fina</i>	:	<i>Material que pasa la malla de 3/4" y retiene la malla N°4</i>

El sistema Internacional de clasificación SUCS (ASTM D2487) no considera la fracción mayor de 3pulgadas; aún cuando sea predominante, solo se clasifica la matriz menor de 3 pulgadas del conglomerado.

En la norma ASTM D2488 (Práctica Estándar para la descripción e identificación de Suelos- Procedimiento Visual Manual) se considera una apreciación global de la fracción gruesa en dos grupos:

<i>Bolones</i>	:	<i>Partículas de roca que pasan una abertura cuadrada de 12" y retiene el tamíz de 3".</i>
<i>Bloques</i>	:	<i>Partículas de roca que no pasan una abertura cuadrada de 12" .</i>

Existen algunos sistemas que proponen una clasificación integral para el conglomerado como por ejemplo el AGU (American Geophysical Union) y ASEE (American Society for Engineering Education System) en la cual se incluyen los términos "boulders" (bloques) y "Cobbles" (boleos), sin embargo no hay uniformidad en cuanto a los tamaños considerados.

La Tabla 2.1 presenta un resumen preparado por el Ing. Martínez Vargas ⁽¹⁾ con respecto a los sistemas que consideran las fracciones mayores. El sistema AGU es el más completo y considera subgrupos para los boleos, los sistemas ASTM y AASHTO son similares y consideran dos tipos de materiales que incluyen todas las gravas mayores.

TABLA 2.1 CLASIFICACIÓN POR GRANULOMETRÍA PARA TAMAÑOS MAYORES DE 3”- RESUMEN DEL ING. A.MARTÍNEZ VARGAS

DENOMINACIÓN		TIPOS TAMAÑOS	AGU	DIN 4022	ASTM D422, D653	AASHTO T-88	SUCS D-2487	ASEE
Inglés	Castellano		Tamaño (mm)					
Boulders	Bloques		>4000					(Bldr) > 230 (9”)
Cobbles	Bolones	Muy Grande	4000 a 2000	> 60	> 300 (12”)	> 300 (12”)	> 75	(cbl) 75 - 230 (3” – 9”)
		Grande	2000 a 1000					
Mediano	1000 a 500							
Pequeño	500 a 250							
	Guijarros	Grandes	250 a 125		300 a 75 (12” – 3”)	> 75		
		Pequeños	125 a 64					
Gravel	Gravas	Muy Gruesa	< 64	< 60	< 75(3”)	< 75(3”)	< 75 (3”)	< 75 (3”)

AGU American Geophysical Union

ASEE American Society for Engineering Education System (Burmister 1948)

Como se observa los sistemas SUCS y DIN son generales, solo considera una denominación para los tamaños mayores de 3 pulgadas.

Martínez ⁽¹⁾, sugiere complementar el sistema SUCS e integrar los tamaños mayores de 3” y designarlo como Bo, además en algunos casos específicos recomienda diferenciar los tamaños según AGU como gravas, guijarros, bolones y bloques. Para aplicación en diversos casos se debe efectuar correcciones con respecto al material mayor de 3”.

2.5 INFLUENCIA DEL TIPO DE MATRIZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONGLOMERADO

El tipo y porcentaje de matriz fina influye en el comportamiento del conglomerado. Un contenido de matriz fina menor de 5% prácticamente no influirá en su comportamiento e incluso para fines de clasificación no se menciona su existencia.

En los suelos granulares con contenido bajo de finos, se puede evaluar la densidad relativa, sin embargo cuando éste es considerable y las partículas de gravas y arenas están adheridas entre sí por los finos ya no es posible su evaluación. En este caso la matriz fina influye en su comportamiento y para efectos de determinar sus parámetros de resistencia, es preferible considerar solo su matriz fina.

Se considera que un contenido mayor de 15% de finos afectará su resistencia y cuando éste es mayor de un 30% la resistencia no drenada es la más desfavorable para efectos de su evaluación geotécnica.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- (1) “Los Suelos Granulares Aluvionales del Perú” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos; Guadalajara – Jalisco México, 1995.

CAPÍTULO III

LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LAS GRAVAS EN EL PERÚ

3.1 POR EL TAMAÑO DE LAS GRAVAS, BOLEOS Y BLOQUES

Un suelo granular grueso está compuesto mayormente por fracción gruesa, la fracción fina ocupa los espacios vacíos y puede estar conformada por arena limpia, arena con finos ó finos arenosos. La clasificación de la fracción gruesa diferencia los tamaños menores de 3” en grava fina y grava gruesa, los tamaños comprendidos entre 3” y 12”son denominados cantos rodados, los boleos son los elementos mayores de 12” y en algunos suelos de naturaleza aluvional, se hallan fragmentos rocosos de 1m. a más.

Una muestra representativa del conglomerado debería incluir los tamaños mayores de 3” para un estudio real del conglomerado; si se reduce la muestra a un tamaño menor que el presente en campo entonces los resultados de la investigación no son reales y será necesario el empleo de correcciones para una aproximación de su verdadero comportamiento.

3.2 POR LA DIFICULTAD EN PRUEBAS DE CAMPO Y LABORATORIO

En nuestro medio, la ejecución de pruebas de campo y laboratorio se dificultan por la carencia de equipos adecuados que permitan un análisis real del conglomerado. Si bien es cierto que existen algunos equipos para pruebas de campo, aún resulta insuficiente para el avance en el estudio de estos materiales.

3.3 POR LA PRESENCIA DE LAS GRAVAS ESPECIALES

En el Perú se ha identificado y estudiado la presencia de gravas especiales que han causado problemas a obras de ingeniería; por ejemplo podemos citar el caso de gravas colapsables en el Sur del país, la licuación de gravas ocurridas en presas de tierra y cimentación de puentes, la presencia de gravas cementadas como costras calcáreas superficiales, el caso de las gravas en laderas con altura y pendiente considerable como es el caso de la Costa Verde en Lima.

La presencia de estas gravas especiales amerita una investigación minuciosa sobre el conglomerado, las propiedades de la matriz y su influencia en el conjunto.

3.4 EQUIPOS USADOS EN NUESTRO MEDIO

En nuestro medio se dispone de equipos para medición de densidades in situ, utilizando el método tradicional del cono y la arena, con diámetro de cono de hasta 12 pulgadas, con el cual se ha obtenido información de pesos específicos del conglomerado de Lima, en lugares en los cuales el tamaño máximo promedio de cantos es del orden de 8 pulgadas.

El laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería ha implementado la ejecución de ensayos de corte directo in situ, para tal fin ha diseñado un equipo que permite ensayar especímenes del orden de 0.70m. de ancho tomando como modelo la metodología normalizada para rocas. Los primeros ensayos con este equipo datan del año 1972 ⁽¹⁾ y los resultados obtenidos han sido concordantes al conglomerado de Lima.

El ensayo de carga directa sobre placas se ha efectuado también en diversos lugares sobre conglomerado, habiéndose observado en la mayoría de las experiencias, un reducido tamaño de la placa de transmisión de esfuerzos, motivado por la elevada carga de reacción que es necesario para registrar asentamientos en gravas.

En sondajes, dada la imposibilidad del empleo del ensayo de penetración estándar, en nuestro medio se utiliza como alternativa el denominado cono “Peck” que consiste en un cono macizo de acero que permite un registro continuo de golpes sin opción de recuperar muestras.

La Norma Técnica E-050 recomienda el registro de “N” para cada 0.30m. para el uso del Cono Peck y para el uso de conos superpesados DPSH con peso de martillo mayores de 60kg. se recomienda el registro de “N” para cada 0.20m. en forma continua.

El uso de estos conos es limitado en gravas de densidad relativa semisuelta a semidensa, al aumentar el tamaño máximo y la densificación de la grava se produce rechazo y los resultados obtenidos no son confiables como para ser empleados en cálculos geotécnicos.

En equipos para ensayos en laboratorio, el laboratorio geotécnico del CISMID-UNI ⁽²⁾ dispone de un equipo de corte directo a gran escala que permite el ensayo de especímenes de 0.60m.x0.60m.x0.60m. y con gravas de hasta 4 pulgadas de tamaño máximo (Foto 3.2). En las Fotos 3.1 y 3.3 se observa el sistema instalado en un pozo de prueba, el esfuerzo normal se aplica por reacción en un pórtico de acero de 10 Tn, de capacidad y el esfuerzo tangencial por reacción en la pared del pozo de prueba.

El uso de este equipo es reciente y ya se reporta resultados en especímenes de gravas remoldeados a densidades variables.



Foto 3.1: Equipo de corte directo para suelos gravosos del laboratorio Geotécnico CISMID-UNI.



Foto 3.2: Caja de corte de 0.60m.x0.60x0.60m. para especímenes de 4 pulgadas

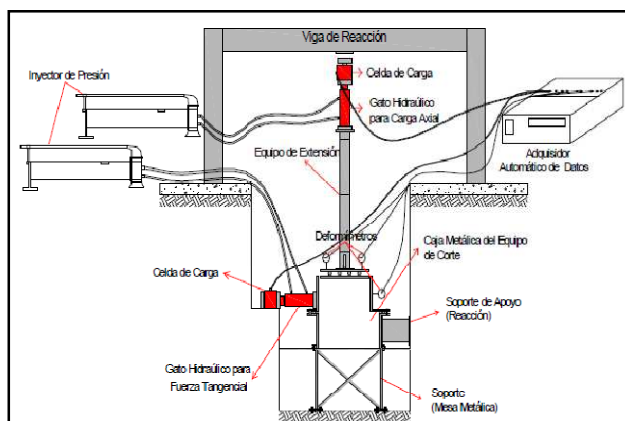


Foto 3.3. Esquema del sistema de reacción y aplicación del esfuerzo.

En términos generales, en el equipamiento de los laboratorios de nuestro medio hay una seria limitación, los equipos triaxiales son de dimensiones reducidas y permite el ensayo solo hasta cierto tamaño máximo de partículas.

Ante esta limitación se acostumbra efectuar ensayos en la matriz fina del conglomerado sin efectuar correcciones para el material global; Martínez Vargas en 1995 ⁽³⁾ propone aplicar correcciones a tales resultados.

3.5 EQUIPOS USADOS EN EL EXTRANJERO

En el extranjero, se tiene un mayor avance de la tecnología en equipos especiales para estos materiales. En países como Japón, Canadá y Estados Unidos se ha desarrollado pruebas de penetración dinámicas a gran escala, similares a la prueba de penetración estándar pero con variaciones en el peso del martillo, altura de caída, energía y otros, la correlación de estos métodos con la prueba de penetración estándar es materia de diversas investigaciones; el objetivo principal es poder obtener valores de “N” para el estudio de la licuación en suelos gravosos.

En la Tabla 3.1: “Pruebas de Penetración Dinámica”, se presenta algunas pruebas de penetración dinámica a gran escala y su comparación con la prueba SPT ⁽⁴⁾.

TABLA 3.1 PRUEBAS DE PENETRACIÓN DINÁMICAS

	Prueba de penetración estándar	Prueba de Penetración a Gran Escala Japonesa	Prueba de Penetración a Gran Escala Italiana	Prueba de Penetración Becker
Símbolo	SPT	LPT	LPT	BPT
Método	Caída de martillo	Caída de martillo	Caída de martillo	Martillo diesel
Peso martillo (N)	623	981	5592	7670
Altura de caída (mm)	760	1500	500	Variada
Energía Máxima (kJ)	0.47	1.47	2.8	11
Muestreador O.D.(mm)	51	73	140	170 *
Muestreador I.D. (mm)	35	50	100	Extremo cerrado

* Tamaño usual de funda

Sy, Campanella y Stewart (4)

Para la obtención de muestras inalteradas de gravas, en Japón ⁽⁵⁾ se ha implementado técnicas que combinan equipos de perforación y el congelamiento del material para evitar su perturbación (Fotos 3.4 y 3.5), también se emplea la protección del testigo con un recubrimiento de polímeros que se adhiere a la muestra como una funda (Fotos 3.6 y 3.7). Estas muestras se ensayan en laboratorio utilizando equipos con dimensiones adecuadas al tamaño máximo de grava.



Fotos 3.4 y 3.5 : Muestreo de gravas por congelación.
Undrained Strength of Gravelly Soil During Earthquakes-Takaji Kokusho – Professor of Chuo University



Fotos 3.6 y 3.7: Método reciente de muestreo de gravas utilizando polímeros.
Undrained Strength of Gravelly Soil During Earthquakes-Takaji Kokusho – Professor of Chuo Univeristy

En Chile ⁽⁶⁾ se efectúan ensayos triaxiales en condiciones drenadas y no drenadas con especímenes de 1m.de diámetro por x 2m. de altura y compresiones de confinamiento de hasta $20\text{kg}/\text{cm}^2$, según reporta el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales IDIEM (Foto 3.8).



Foto 3.8 : Equipo triaxial gigante de la IDIEM, Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “Ensayos de Corte Directo In Situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima” De la Rosa Anhuamán Felix ,Tesis de Grado FIC - UNI (1974)
- (2) “Diseño e Implementación de un equipo de Corte Directo para Suelos Gravosos en el Laboratorio” Dr. Ing. Zenón Aguilar Bardales, M.I.M.S. Ing. Alberto José Martínez Vargas, Bach. Daniel Basurto Ravichagua, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil-Chiclayo noviembre 2009
- (3) “Los Suelos Granulares Aluvionales del Perú” M.I.M.S Alberto Martínez Vargas, Guadalajara X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos; Guadalajara – Jalisco México, 1995.
- (4) “BPT-SPT Correlations for Evaluación of Liquefaction Resistence in Gravelly Soils” Alex Sy, Campanella y Stewart Geotechnical Special Publication N°56 ASCE ,Octubre 1995: Static and Dynamic Properties of Gravelly Soils
- (5) “Undrained Strength of Gravelly Soil During Earthquakes” Takaji Kokusho – Professor of Chuo University, conferencia Post Grado-FIC (Septiembre 2006)
- (6) <http://www.idiem.cl>, Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales IDIEM (2006)

CAPÍTULO IV

PROBLEMAS DE GRAVAS EN CIMENTACIONES

4.1 GENERALIDADES

En el Perú hay muchas ciudades y extensas áreas de terreno conformados por gravas, por ejemplo, Lima, Huancayo, Jauja, Huaráz, etc. tenemos ciudades ubicadas en conos de deyección de los ríos, lechos aluviales, en laderas de gravas coluviales, etc; hay obras de ingeniería construidas sobre estos materiales, como presas sobre suelos morrénicos, gravas ubicadas en el cuerpo de presas, canales, entre otros casos.

El estudio del comportamiento de estos materiales es limitado, aún a nivel mundial hay escasa información al respecto, la investigación de laboratorio se dificulta por la necesidad de equipos gigantes para el ensayo de muestras representativas con fracciones gruesas tipo boleas.

La existencia de gravas especiales tales como las gravas colapsables, licuables, cementadas, etc. es un problema poco estudiado, por muchos años se ha tenido el concepto de que tales casos sólo se presentaban en suelos finos; la experiencia de los últimos años ha demostrado que la ocurrencia de colapso, licuación y otros casos también se presenta en las gravas y depende fundamentalmente de la matriz y su comportamiento en el conjunto grava-matriz.

En nuestro medio, el profesor Martínez Vargas ha reportado la identificación de gravas especiales en Piura, Arequipa, Tacna y Moquegua, pero falta mayor investigación al respecto.

4.2 GRAVAS LICUABLES

4.2.1 ANTECEDENTES

El fenómeno de licuación de suelos consiste en la pérdida rápida de resistencia al esfuerzo cortante, el suelo cambia de un estado firme a un estado viscoso semilíquido y fluye, como consecuencia del incremento de la presión del agua de poros.

La licuación ocurre cuando el suelo es sometido a vibración como consecuencia de cargas dinámicas que actúan sobre él, como sismos, explosiones, operación de maquinarias y martillos, hincado de pilotes, tráfico intenso de vehículos pesados, etc. Cuando el depósito de grava se licua y comienza a fluir no es capaz de soportar el peso de cualquier suelo o estructura encima de él, debido a esto ocurren una serie de efectos como flujos, deslizamientos, hundimientos, surgimiento de volcanes de arena, asentamientos diferenciales, etc., tal como se ha registrado en numerosos terremotos en diferentes partes del mundo.

La licuación en suelos finos se ha estudiado desde hace muchos años, por los innumerables casos ocurridos en diversas regiones; la investigación de laboratorio ha sido viable en estos materiales y se han desarrollado metodologías para su evaluación. Sin embargo la licuación también puede presentarse en suelos granulares gruesos, hay evidencias de su ocurrencia en diferentes partes del mundo como China, Japón, Canadá etc., pero era confundida con otros fenómenos; recién a partir de los años 70 se reconoce la licuación en suelos gravosos.

En el artículo “Licuación de Gravas en el Perú” ⁽¹⁾, Martínez refiere que entre los casos notables de licuación de gravas a nivel mundial se tienen los ocurridos en el sismo de Fukui en Japón (1948) y sismo de Alaska en USA (1964), en esos años se consideró que eran deslizamientos tipo flujo o escalonado, posteriormente Ishihara (1985) y Couter-Migliaccio comprobaron que fue licuación de gravas. El colapso de presas en China por el terremoto de Shumen (1975) y la falla de talud en el sismo de Tongshen (1976) fueron licuación de gravas.

En la Tabla 4.1, Sy, Campanella y colaboradores ⁽²⁾, presentan una relación de los sismos más importantes a nivel mundial que causaron licuación en suelos gravosos

TABLA 4.1
CASOS DE LICUACIÓN EN SUELOS GRAVOSOS EN EL MUNDO
SEGÚN SY-CAMPANELLA Y COLABORADORES

AÑO	M	SISMO	REFERENCIAS
1891	7.9	Mino-Owari, Japón	Tokimatsu & Yoshimi (1983)
1948	7.3	Fukui, Japón	Ishihara (1985)
1964	9.2	Valdéz, Alaska	Coulter & Migliaccio (1966)
1975	7.3	Haicheng, China	Wang (1984)
1976	7.8	Tangshan, China	Wang (1984)
1978	7.4	Miyagiken-Oki, Japón	Tokimatsu & Yoshimi (1983)
1983	7.3	Borah Peak, Idaho	Youd et al (1985), Harder (1988)
1988	6.8	Armenia	Yegian et al (1994)
1992	5.8	Roermond, Netherlands	Maurenbrecher et al (1995)
1993	7.8	Hokkaido, Japón	Kokusho et al (1995)

Sy, Campanella y Stewart ⁽²⁾

En el Perú, Martínez ⁽³⁾ encuentra en 1962 una evidencia geológica histórica de licuación de gravas en la quebrada de los Cazadores de la presa del Fraile en Arequipa (Fotos 4.1 y 4.2). Sidiqi et al (1987) menciona que Park (1939) atribuye que la falla de la presa de Malpaso ocurrida en el cuerpo de la presa fue por licuación.



FOTO 4.1

Evidencia geológica de licuación de gravas en la Quebrada Los Cazadores, Arequipa.

Foto cortesía Ing. A. Martínez



FOTO 4.2
Flujo de grava en la Quebrada Los Cazadores.
Foto cortesía Ing. A. Martínez

El caso más reciente ocurrió durante el terremoto de Nazca en mayo de 1996, debajo del puente Yauca en Arequipa; el profesor Martínez verificó que las gravas habían fluido en la matriz arenosa por la evidencias dejadas en los vórtices (Foto 4.3).



FOTO 4.3
Licuación de grava en el Puente Yauca durante el sismo de Nazca 1996, según A.M.V.
Foto cortesía Ing. Julio Kuroiwa H.

4.2.2 CAUSAS DE LA LICUACIÓN

Entre los factores que determinan la ocurrencia de la licuación tenemos:

Magnitud del movimiento sísmico

Está relacionada con la magnitud de los esfuerzos y las deformaciones inducidas en el terreno por el movimiento. La aceleración máxima sufre amplificación dependiendo de las condiciones locales del suelo hasta llegar a la superficie, la propagación de las ondas de corte a través del esqueleto del suelo produce distribución de esfuerzos de corte en función del tiempo, causando deformaciones en la masa del suelo cuya magnitud dependerá de la magnitud del movimiento sísmico.

Duración del evento sísmico

Normalmente la duración de un sismo es corto entre 5 a 40 segundos, pero si éste es intenso predominará la condición no drenada, se producirá el aumento de la presión de poros hasta producirse en algún momento condiciones de esfuerzo efectivo nulo y por lo tanto licuación.

Granulometría del suelo

La forma, tamaño y gradación de las partículas influye en la susceptibilidad a la licuación.

Los suelos mal gradados son más susceptibles de presentar licuación que los suelos bien gradados; en el caso de las arenas, el problema de licuación será mayor si se tiene un coeficiente de uniformidad mayor o igual a 2. Las arenas finas uniformes son más propensas a licuarse que las arenas gruesas uniformes.

Los suelos de partículas redondeadas son más susceptibles que los suelos con granos angulosos.

En el caso de las gravas, se ha producido licuación en las gravas arenosas, faltando investigar la influencia de otras características granulométricas.

Densidad Relativa

Durante un sismo, un suelo en estado suelto es más propenso a sufrir licuación que un suelo en estado compacto o denso. En las arenas se puede determinar la densificación de un suelo a partir de la prueba de penetración estándar SPT , con valores de N igual a 20 golpes/pie se puede desarrollar grandes deformaciones por corte. En la práctica se puede identificar suelos licuables a aquellos que registren valores iguales o menores de 5 golpes/pie.

Profundidad del nivel freático

La saturación del suelo es condición necesaria para que ocurra licuación, por lo tanto la profundidad del nivel freático tiene influencia. La presión de poros producida por el agua debido a la posición del nivel freático se incrementa por efecto de la vibración.

4.2.3 CAUSAS DE LA LICUACIÓN EN SUELOS GRAVOSOS

En el estudio efectuado por Sy, Campanella y Stewart ⁽²⁾ sobre licuación en suelos gravosos, se llega a las principales conclusiones sobre los casos estudiados:

- Los suelos gravosos de densidad media a suelta, con valores de N del SPT menores de 20 son susceptibles a licuación.
- En una estructura de suelo con gravas y matriz fina de arena ó limo, la matriz fina controla la resistencia a la licuación de los depósitos gravosos.
- Las gravas limosas y arenosas tienen una permeabilidad significativamente menor comparadas a las gravas limpias, por consiguiente, no disipa el exceso de presión de poros rápidamente como para prevenir la licuación.
- Las condiciones de drenaje de las fronteras son importantes, ya que la presencia de capas superficiales impermeables puede impedir el drenaje permitiendo la licuación de los suelos gravosos subyacentes.
- La carta de licuación desarrollada por Seed para arenas es también aplicable a arenas gravosas.

4.3 GRAVAS COLAPSABLES

4.3.1 ANTECEDENTES

El fenómeno de colapso se produce al experimentarse una súbdita pérdida de la resistencia al corte por saturación y disminución de volumen. La existencia de estos suelos y los daños ocasionados a las edificaciones cimentadas sobre ellos han sido numerosos.

En nuestro medio por muchos años se tenía el concepto equivocado de que solo en los suelos finos se puede presentar el problema del colapso; sin embargo, en el año 1976 Martínez V.⁽⁴⁾ ya había identificado el fenómeno en gravas de Pimentel Chiclayo, en 1978 y 1980 estudió otros casos en el departamento de Arequipa y en 1984 y 1985 los casos de ventanilla y Piura. Sus estudios más recientes son del año 2007 y corresponden a Pampa Melchorita en Chíncha y la margen derecha del río Jequetepeque⁽⁵⁾.

A nivel mundial recién en 1994 se da a conocer varios casos en los estados Unidos, la investigación fue publicada por Rollins M. et al en el Journal of Geotechnical Engineering de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles⁽⁶⁾.

Actualmente, con el conocimiento de los casos reportados en nuestro medio y a nivel mundial hay menos resistencia a aceptar la ocurrencia de este fenómeno en los suelos gruesos, pero falta mayor investigación que permita comprender su comportamiento.

En las Tablas 4.2 y 4.3 se presentan casos estudiados en el Perú y en el extranjero.

TABLA 4.2
CASOS DE GRAVAS COLAPSABLES EN EL PERÚ 1976 – 2007
 (A. MARTINEZ VARGAS 2008 ⁽⁵⁾)

LUGAR	CARACTERISTICAS	REFERENCIAS
Pimentel - Chiclayo	Gravas con matriz de sulfatos, compactas pero fáciles de excavar por estar húmedas	Cimentación Neumáticos Andinos S.A. -LAGESA, A.Martinez (1976)
Pampas La Joya - Arequipa	Gravas angulosas semisueltas con matriz de sales, sulfatos y carbonatos.	Aeropuerto La Joya, Presa Las Mellizas y La Colina "Misti de la Joya",1978
Valle Vitor- Arequipa	Gravas subredondeadas con matriz de carbonatos, coloidales y sulfatos, deslizamiento compuesto Pie de la Cuesta.Colapso con $\geq 5\%$ de humedad.	Irrigación La Cano - Vitor. A.Martinez (1980) ⁽⁸⁾
Ventanilla- Callao	Gravas angulosa arenosas con sales. Fallas en la cimentación de viviendas e instalaciones de agua y desagüe	Complejo Habitacional Antonia Moreno de Cáceres-A.Martinez (1984)
Ciudad de Piura	Cerro Gallinazo gravas con matriz arenosa con sulfatos de color blanco, conocida como Yapato.	Usada como afirmado en la pavimentación avenida Grau. A.Martinez (1985)
Laderas de la ciudad de Moquegua	Gravas angulosa con matriz arenosa arcillosa con sales y sulfatos. Se le llama moro moro.	Cerros del A.H. Mariscal Nieto. Cimentación de reservorio de 1000 m ³ -Cismid 1995
Pampas de Viñari - Tacna	Area de reubicación de los damnificados del terremoto del 23 de junio 2001	Supervisando el sistema de agua y desagüe (1998) ⁽⁵⁾
Río Tambo, margen izquierda	Gravas subredondeadas, cantos de andesitas, basaltos, granodioritas con matriz de sales	Vulnerabilidad de Pueblos rurales en Cuelgua-Villa El Carmen-PREDES 2001
Valle de Sigua - Arequipa	04 deslizamientos, uno en el canal antiguo margen izquierda y tres en la margen derecha. El más importante es el de Gloria	El Peligro y Vulnerabilidad - Planta Leche Gloria (2005) y CONIC- Arequipa (2007), revista Ing. Civil N° 36 al N°38
Chincha - Ica	Acantilados y Pampa de Melchorita. Entrega del Proyecto Gas de Camisea a la Playa	Playa arenosa y depósitos de desmontes, excavaciones, con deformaciones locales y derrumbes antiguos en las playas (2007). A.Martínez ⁽⁵⁾ .
Lambayeque Valle de Jequetepeque	Corte de la antigua Carretera Panamericana Norte margen derecha del río Jequetepeque.	Terraza de conglomerado Pleistoceno con gravas colapsables con cantos alterados (2007) A.Martínez ⁽⁵⁾

TABLA 4.3
CASOS DE GRAVAS COLAPSABLES EN EL MUNDO 1983-1995
 (A.MARTINEZ VARGAS ⁽⁴⁾)

UBICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	REFERENCIAS
NEGEV-ISRAEL (Sur)	Fallas en cimentación: Edificios residenciales, comerciales, industriales. Suelos gravosos-limosos (GM-SM)	Wiseman y Lalie (1983),referido por A.Martínez ⁽⁴⁾
E.E.U.U.(Zona árida)	Fallas en seis Presas. Caso histórico. Gravas con finos 10% a 20%	Day R.W. (1990), referido por Rollis et al (1994) ⁽⁶⁾
Nuevo México-CEDAR. UTA-E.E.U.U.	Falla de tres Presas Suelo (GC-GM) con 20% de finos	Rollis et al (1995) ⁽⁷⁾

4.3.2 CAUSAS DEL COLAPSO

Los suelos colapsables son aquellos que pierden estabilidad al producirse variación en algunas condiciones propias, como son el aumento del grado de saturación que puede activar las sales solubles presentes, aumento del nivel de esfuerzo actuante que pueda producir una disminución de la relación de vacíos, etc.

Las causas del colapso son las siguientes:

- Escaso contenido de humedad, generalmente los suelos colapsables se presentan en regiones áridas.
- Estructura macroporosa, con relación de vacíos alta y bajo peso específico. Esta condición es aplicable al caso de los suelos finos y no se cumple para el caso de las gravas, las cuales en varios casos han registrado pesos específicos mayores de 2Tn/m^3 .
- Estructura mal acomodada, las partículas de mayor tamaño están separadas por espacios abiertos donde se acomoda la matriz. Es decir se tiene una estructuración no uniforme.
- Agentes cementantes, tales como sales solubles, sulfatos, carbonato de calcio, óxido de hierro, entre otros que proporcionan esfuerzos resistentes en estado seco. Sin embargo al producirse la saturación del material pierden resistencia al producirse su disolución.
- Incremento en las cargas. Esta es condición no necesaria, ya que en algunas ocasiones ha ocurrido colapso solo con el humedecimiento y peso propio del material.

Con respecto a las causas anteriores, no existe un consenso generalizado, presentándose algunas excepciones. Pero en todos los casos, los suelos colapsables experimentan una súbita disminución de su resistencia al corte.

4.3.3 EVALUACIÓN DEL COLAPSO

Los métodos existentes para la evaluación del colapso están basados en la presión inicial del colapso y en la magnitud del colapso.

Los métodos basados en las características físicas como los cualitativos y los de prueba edométrica, son aplicables mayormente a suelos de grano fino como arena, limos, loess o arcillas. Sin embargo no son aplicables para gravas por el tamaño reducido de los equipos de laboratorio y por la dificultad en obtención de muestras inalteradas, en las gravas es preferible aplicar ensayos in situ como el de placa de carga a escala natural.

En su Tesis de Maestría “ Investigación del Conglomerado Colapsable de La Cano, Vítor-Arequipa” E.Fernandez Sixto ⁽⁹⁾ presenta las metodologías actuales para la evaluación del colapso, las cuales se resumen a continuación:

MÉTODOS BASADOS EN LA PRESIÓN INICIAL DE COLAPSO

La hipótesis de este método se basa en que el colapso por humedecimiento ocurre a partir de una cierta presión por encima de la cual se supera la resistencia del suelo, la magnitud de esta presión para la cuál se produce el desmoronamiento de la estructura ha sido designada por algunos autores como “Presión inicial de Colapso” ($\sigma_{i, col}$) o “Presión de Fluencia” (σ_f).

Las normas rusas SNiP Cap.II B.22, definen la presión inicial de colapso saturada como aquella para la cual en una prueba edométrica se produce un colapso relativo ($\delta_{i, col}$) igual a 1%.

El colapso relativo es la diferencia de deformaciones unitarias de dos pruebas edométricas realizadas con el mismo suelo, una con humedad natural y otra en estado saturado, tal como se muestra en la Figura 4.1 , es decir :

$$(\delta_{i, col}) = \epsilon_{hn} - \epsilon_{sat}$$

Donde ϵ_{hn} es la deformación unitaria a humedad natural y ϵ_{sat} es la deformación unitaria en estado saturado.

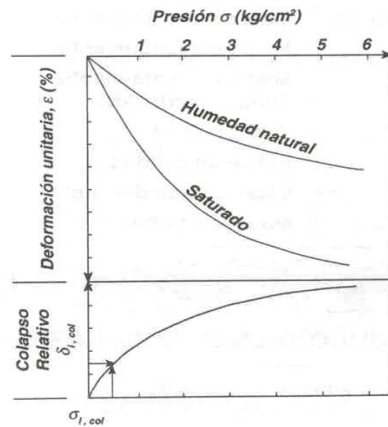


Figura 4.1 Diagrama de Colapso relativo, según Reginatto, A., 1970

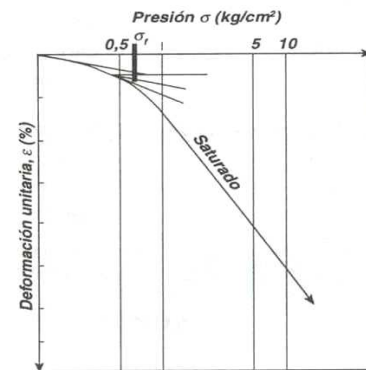


Figura 4.2 Determinación de la Presión de Fluencia Saturada., según Reginatto, A., 1970

Reginatto, A.(1970) define a la Presión de Fluencia Saturada de un suelo colapsable, de la misma forma como se determina la presión de preconsolidación en la prueba de consolidación de Casagrande, tal como se ilustra en la Figura 4.2.

Con estas relaciones se pretende encontrar en cualquier profundidad la presión inicial de colapso ($\sigma_{i, col}$) en función de la presión total σ_t que es igual a la sobrepresión (Δs) mas la presión del peso propio (σ_0).

En la Figura 4.3 se muestra la relación de Redolfi, E. (1993), donde presenta curvas típicas de esas relaciones y las zonas de colapsabilidad para suelos sin y con sobrecarga. En ellas se puede estimar los espesores que colapsarán ya sea por peso propio o con sobrecarga, encontrando la diferencia entre zonas autocolapsables y condicionalmente colapsables.

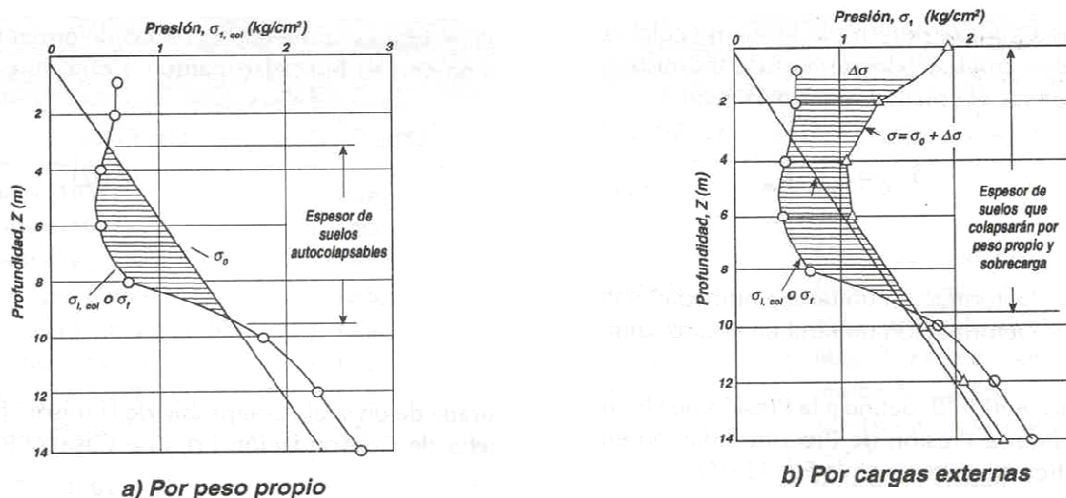


Figura 4.3 Presión inicial de Colapso, en función de la Presión Total, según Redolfi 1993

MÉTODOS BASADOS EN LA MAGNITUD DEL COLAPSO

Se basan en la determinación de la magnitud del colapso de un perfil de suelo considerando solamente el peso propio. Se tiene como referencia algunas normas extranjeras:

El código Rumano de Suelos Loésicos Colapsables (Bally,R.ET AL.,1973) define el potencial total de colapso (Δ_{col}) del suelo así:

$$\Delta_{col} = \sum_{j=1}^n \delta_{col j} \cdot H_j \qquad \delta_{col} = \frac{h_1 - h_{s1}}{h_1}$$

Donde:

H_j = Espesor del estrato “j” en metros

δ_{col} = Coeficiente de deformación edométrica adicional de una muestra del estrato “j” inundada a una presión igual al peso propio σ_0 .

h_1 = Altura de la muestra a una presión igual a la propia (σ_0) antes de la saturación

h_{s1} = Altura de la muestra a una presión igual a la propia (σ_0) después de la saturación

Δ_{col} = Potencial de colapso en metros

En la Figura 4.4 se muestra el esquema correspondiente de la prueba edométrica.

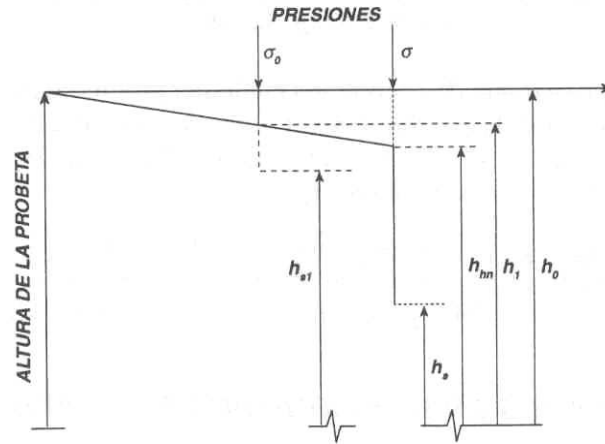


Figura 4.4 Deformaciones en la prueba edométrica, según Redolfi 1993

ASENTAMIENTO POR COLAPSO

De forma general para un perfil de suelo con varios estratos, el asentamiento por colapso establecido por varios investigadores como Jennings, J. y Knight, K. (1957); Bally, R, et al. (1973); Fedá, J. (1988) y por diversas normas como la China, la Rumana, Soviética y Americana, teniendo como base la Figura 4.4 es:

$$\Delta_{col T} = \sum_{j=1}^n \Delta_{col j}$$

$$\Delta_{col j} = \sum_{j=1}^n \delta_{col j} \cdot H_j$$

$$\delta_{col} = \frac{h_{hm} - h_{s1}}{h_1}$$

Donde:

$\Delta_{col T}$ = Asentamiento total de un manto de suelos colapsables de espesor H_T .

$H_T = H_1 + H_2 + H_3 + \dots$

$\Delta_{col j}$ = Asentamiento por colapso del estrato "j"

$\delta_{col j}$ = Colapso relativo del estrato "j" debido a la presión es σ_{zj}

σ_{zj} = Presión total (peso propio + incremento de presión en el estrato "j")

h_{hn} = Altura de la muestra a humedad natural “hn” y a la presión σ_{zj} antes del colapso

h_s = Altura de la muestra saturada y a la presión σ_{zj} después del colapso

h_1 = Altura de la muestra a la humedad natural “hn” y una presión igual al peso propio “ σ_0 ” antes del colapso

4.3.4 EXPERIENCIAS PERUANAS Y CORRELACIÓN CON OTROS CASOS

En el artículo “Gravas Colapsables” , Martínez Vargas ⁽⁴⁾ analiza las investigaciones de Rollis y otros casos y las compara con sus experiencias en La Cano, logrando establecer las siguientes conclusiones que son de mucha importancia en el conocimiento de las gravas colapsables:

- La clasificación de los suelos colapsables son GP-GM, GC-GM y GM. Martínez propone incluir además la fracción mayor de 3” y propone la clasificación (GP-GM) + Bo
- La matriz es el elemento más importante que regula el comportamiento de la colapsabilidad.
- Con un contenido de humedad de 5% las gravas pueden colapsar por peso propio.
- El contenido de matriz arcillosa tiene influencia, si este porcentaje aumenta entonces el potencial de colapso disminuye, debido a que predomina el comportamiento expansivo.
- El porcentaje de finos en los casos estudiados en el extranjero, fluctúa entre 6% a 30%, en este rango se facilita la formación de las fuerzas de succión por capilaridad. Las gravas colapsables halladas en el Perú están en dicho orden^{(4) y (8)}.
- En los estudios efectuados por Rollins y Martínez se confirma que el colapso en las gravas depende del contenido de finos en la matriz.

4.3.5 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRAVAS COLAPSABLES

En el artículo “Apreciación y Análisis sobre Gravass Colapsables, su Identificación y Caracterización” . Martínez V. (2008) ⁽⁵⁾ , presenta un minucioso análisis de la información actualizada en la materia y entre otros aspectos establece que:

- Un método para identificar a las gravas susceptibles de colapsar se basa en su granulometría, de tal forma que el contenido de finos debe ser el suficiente (de 10 a 30%) para permitir el ascenso capilar al darse la saturación.
- La proporción de matriz de suelo debe ser suficiente (de 50 a 60%) y el contenido de gravas bajo, para que queden flotando y no se generen fuerzas de fricción entre ellas que incrementen el esfuerzo efectivo.
- Cuando el contenido de gravas en la masa de suelo está entre el 60% a 70%, las partículas están en contacto entre sí, se generan fuerzas de fricción y disminuye el potencial de colapso.
- Las condiciones geológicas también permite identificar estos materiales, las gravas colapsables pueden localizarse en formaciones del Terciario al Cuaternario, en depósitos sedimentarios del Pleistoceno y Holoceno. El contenido de sales y sulfatos se debe al agua de mar, debido a su localización en zonas que fueron antiguos lechos marinos ó a su procedencia de materiales volcánicos.
- Geomorfológicamente estos materiales se ubican en las planicies costaneras del Perú, en lagunas y depresiones rellenadas cerca de zonas volcánicas en la sierra y Puna.

4.4 OTRAS VARIEDADES

Entre las otras variedades de gravas que podrían presentar problemas en cimentaciones tenemos las gravas cementadas con diversos elementos, por ejemplo las gravas cementadas con carbonatos de calcio, las gravas con matriz de arcillas expansivas, etc. Es muy importante la determinación del tipo de matriz y su porcentaje que representa en el conglomerado para estimar su influencia en el comportamiento del conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “Licuación de Gravas en el Perú” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, Boletín Técnico M.I.G. N°1 Sección de Post Grado FIC-UNI Agosto 2001
- (2) “BPT-SPT Correlations for Evaluación of Liquefaction Resistence in Gravelly Soils” Alex Sy, Campanella y Stewart Geotechnical Special Publication N°56 (octubre 1995) ASCE: Static and Dinamic Properties of Gravelly Soils
- (3) “Licuación de Suelos Gravosos” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, X CONIC, Trujillo (1997)
- (4) “Gravas Colapsables” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, Boletín Técnico M.I.G. N°7 Sección de PostGrado FIC-UNI Abril 2003
- (5) “Apreciación y Análisis sobre Gravas Colapsables su Identificación y Caracterización” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, Apuntes de clase 2008
- (6) “Identification and Characterization of Collapsible Gravells” Rollins, M. et al. (1994), Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 120(3), 528-542
- (7) ”Closure of ‘Identification and Characterization of Collapsible Gravells’” Rollins, M. et al (1995), Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 121(6), 511-512
- (8) “Gravas colapsables del Deslizamiento Compuesto del Pie de La Cuesta Vitor-Arequipa”, M.I.MS Alberto Martínez Vargas , XII Congreso CONIC-Chiclayo(1980)
- (9) “Investigación del Conglomerado Colapsable de La Cano, Vitor-Arequipa” Fernandez, E.(1997) Tesis de Maestría FIC-UNI

CAPITULO V

CASOS DE GRAVAS ESPECIALES EN EL PERÚ

5.1 GRAVA DEL LITORAL DE LIMA – ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE

5.1.1 GENERALIDADES

El cono de deyección del río Rímac es un material de estructura lentiforme con depósitos superpuestos de cantos rodados, arena, arcilla y limos. El área de influencia del abanico fluvial abarca desde Santa Clara al Este, el Morro Solar al Sur, Bocanegra al Norte y el borde litoral comprendido entre Chorrillos y La Punta.

Las propiedades de resistencia y deformación del conglomerado de Lima para fines de cimentación es variable de acuerdo a la zona, según se ha comprobado en exploraciones efectuadas para diversos estudios de mecánica de suelos.

Un caso especial es la grava ubicada en los acantilados de la Costa Verde formados por la erosión marina, cuyo desnivel con respecto al mar mide en algunas zonas hasta 70m. (Foto 5.1)

5.1.2. GEOLOGÍA

El suelo de Lima es del Cuaternario, se ha depositado en la última etapa del Pleistoceno. La grava pobremente gradada del tipo GP tiene intercalaciones de lentes de arena, limos y arcillas; la parte superior del acantilado está cubierta por una capa de suelo fino de espesor variable, en otras zonas hay rellenos sobre el material fino.

Según los registros de exploración de trincheras efectuadas en las laderas del acantilado por M.Cañari ⁽¹⁾, hay zonas con una cobertura de suelo fino de hasta 13.0m.en la zona de San Miguel considerando el relleno, los suelos finos se han clasificado como arcillas limosas, limos y arcillas de baja plasticidad, intercalados también con arenas limosas y arenas limpias.



FOTO 5.1
Acantilados de la Costa Verde conformado por el conglomerado de Lima.
En algunos sectores que tienen una altura de hasta 70m.

El conglomerado se caracteriza por presentar costras calcáreas que se han formado por la precipitación del carbonato cálcico presente en las aguas subterráneas que se infiltran de la cuenca del río Rímac, estas costras tienen espesores que van desde los 15 cm. hasta los 4m. En muchos sectores se observa la formación de cárcavas producto de la erosión eólica.

5.1.3 GEOMORFOLOGÍA

En el Plano Geomorfológico Generalizado de Lima y Alrededores (Figura 5.1) de Martínez y Teves ⁽²⁾, se observa la extensión del abanico fluvial del río Rímac y la zonificación de acantilados, zonas de costra calcárea reciente y costra calcárea antigua.

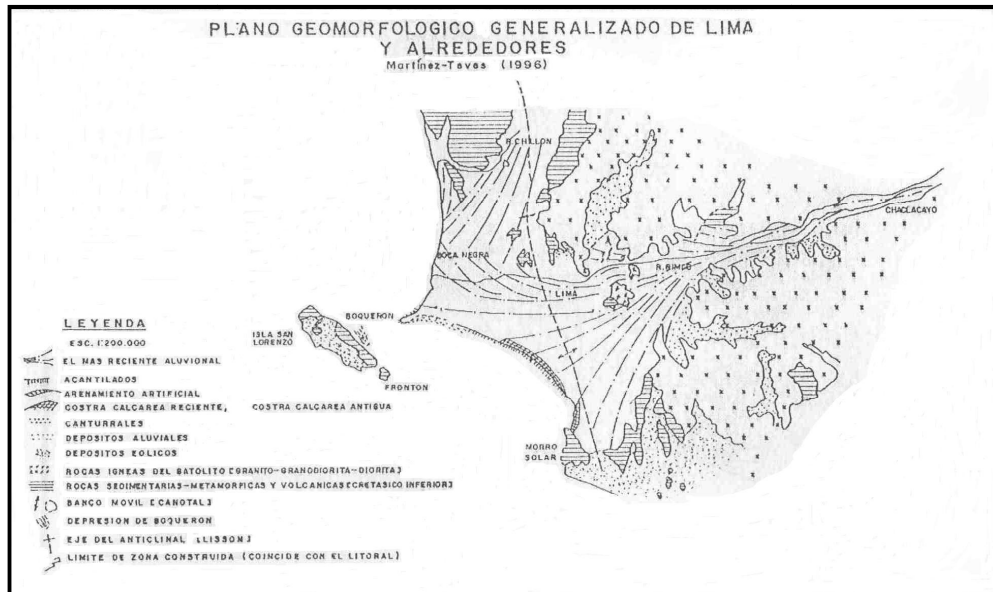


Figura 5.1 Plano Geomorfológico de Lima, según Martínez y Teves (1966) ⁽²⁾

En el Mapa Geomorfológico de Lima de Martínez y Porturas ⁽³⁾ que se muestra en la Figura 5.2, se observan las fases de evolución de los depósitos cuaternarios llamados terrazas, el conglomerado de Lima se ubica en la terraza t_2 , esta terraza termina en los acantilados formando laderas casi verticales. Según Martínez, la erosión dinámica marina al pie del acantilado desde su origen provocó grandes deslizamientos y derrumbes hasta alcanzar su perfil de equilibrio (Figura 5.3) ; la actividad antrópica de ganancia de playas ha acelerado la evolución natural con zonas críticas de erosión en San Miguel, Miraflores, Magdalena y La Perla, estando expuesto además a maremotos ó tsunamis (Foto 5.2).



FOTO 5.2
Vistas de la autopista ubicada al pie de los acantilados sobre terrenos ganados al mar.

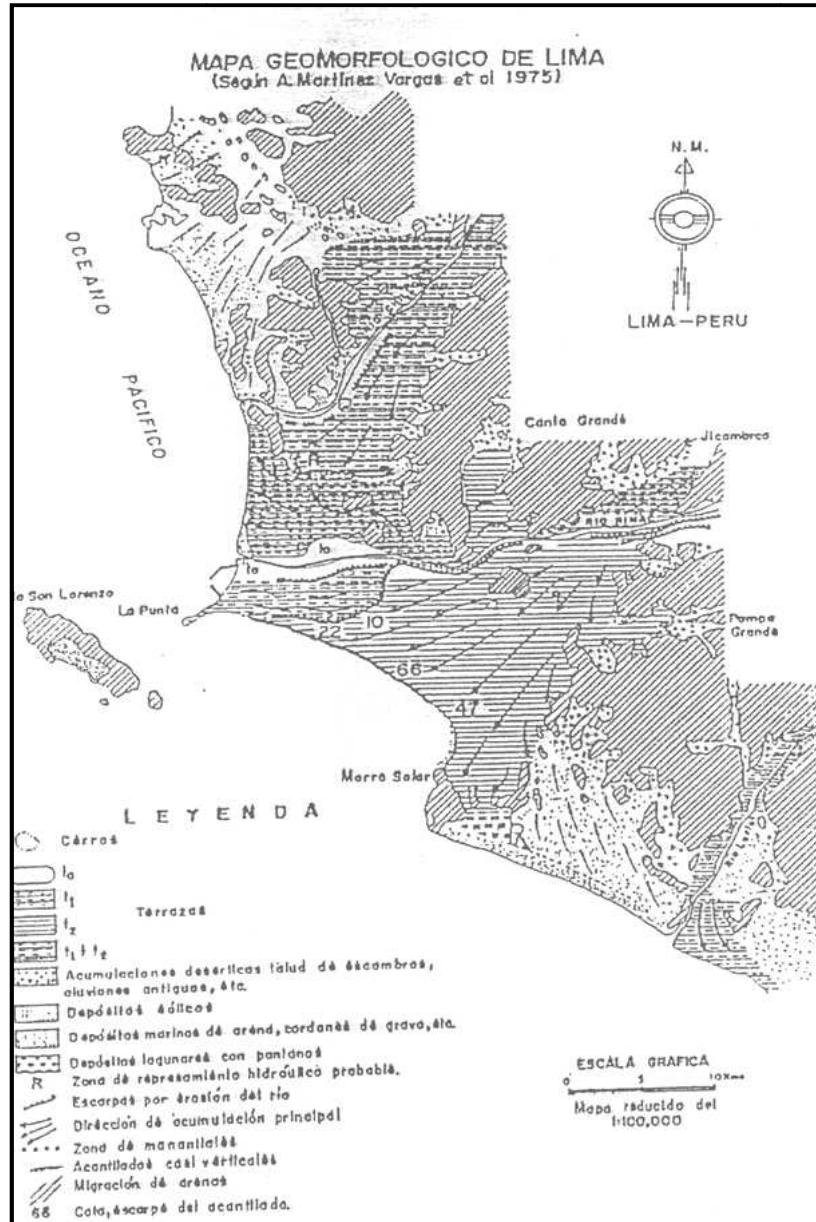
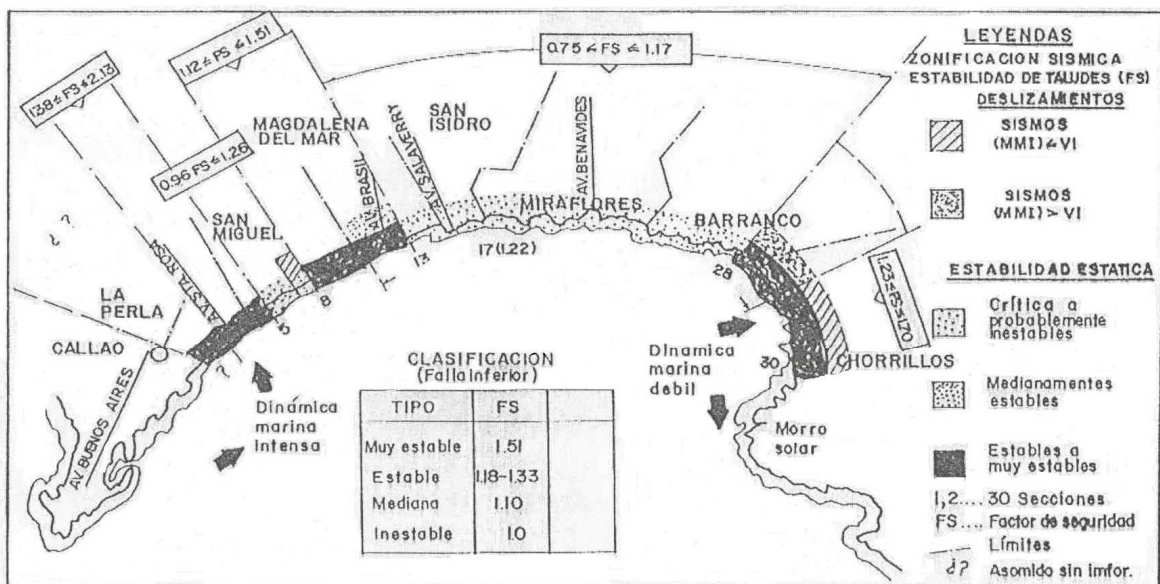


Figura 5.2 Plano Geomorfológico de Lima, según Martínez y Porturas (1975) ⁽³⁾

ó tomados de ensayos de corte directo in situ, de placas, etc. efectuados en otros lugares, debido a la limitación existente en nuestro medio para ensayar muestras gigantes.

El coeficiente sísmico asociado a los análisis de estabilidad pseudos-estáticos para el diseño de las laderas y muros de contención varía entre 0.20 y 0.25.

En la Figura 5.4 se presenta un Mapa de Zonificación por estabilidad de laderas, preparado por el profesor Martínez como referencia a García (1984)



ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN ACANTILADOS DE LIMA
 Del Profesor A. Martínez V. (1996) Según referencia García (1984)

Figura 5.4 Zonificación de estabilidad de Taludes, adaptada por A.Martínez (1996), referencia García (1984) ⁽⁴⁾

5.1.5 VULNERABILIDAD DE LOS ACANTILADOS

En su Tesis de Grado, Cañari ⁽¹⁾ evalúa el nivel de riesgo de los acantilados con relación al grado de estabilidad de las laderas, considerando parámetros dependientes de la topografía, volumen desplazado, velocidad del fenómeno, tipo de materiales y daños que puedan causar a los humanos y sus construcciones. Basándose en las

Normas Españolas de Estabilidad de Laderas establece los siguientes niveles de riesgo teniendo como referencia el daño que causarían los derrumbes:

- Riesgo bajo, conformado por los taludes que presentan poco peligro y de ocurrir la caída de gravas ó relleno éstos no pasarían de cubrir la vereda o la berma de la carretera sin causar daños humanos ni materiales (Foto 5.3). En este grupo sitúa a los taludes de corte con menos de 34 m. e inclinación de hasta 35°.
- Riesgo medio, con taludes que presentan peligro moderado para la carretera o las edificaciones ubicadas al borde superior y al pie, de ocurrir derrumbes estos comprometerían una vía o hasta la berma central, sin llegar a obstruir el tránsito. Se consideran a los taludes con altura de hasta 45m.
- Riesgo elevado, aquellos taludes que de ocurrir derrumbes o desprendimientos pueden interrumpir el tránsito y causar daños a las estructuras y pérdida de vidas humanas. Los taludes con este riesgo son aquellos con altura de 45m. a 65 m. e inclinación de 60° a 85°.
- Riesgo muy elevado o crítico, aquellos taludes con evidencia de movimiento o formación de cárcavas que representan peligro constante, de ocurrir desprendimiento o derrumbes causarían un alto daño a las construcciones con la respectiva pérdida de vidas humanas.



FOTO 5.3
Desprendimiento de cantos rodados del talud que llegan hasta la autopista.

En su estudio del problema de los acantilados de la Costa Verde, el profesor Martínez ⁽⁴⁾ propone aplicar las Normas TC-4 (1993) del ISSMFE para los estudios del potencial de amenaza y vulnerabilidad sismo-geotécnica y considerar el impacto de los maremotos ó tsunamis, intensidad de los eventos sísmicos, la erosión e inundación de la franja litoral, etc. Entre sus principales conclusiones establece que:

- El problema de la Costa Verde es de estabilidad de taludes, no es de capacidad de carga de las cimentaciones. Hay desconocimiento de las alturas críticas para corte, excavación y ladera natural.
- Los proyectos y estudios requieren de información geotécnica básica como: geología, geomorfología aplicada a la erosión y sedimentación del perfil de equilibrio del litoral, mecánica y dinámica de los suelos gravosos.
- Falta definir el nivel y efecto de la influencia de la matriz de las gravas, la presencia de costras calcáreas, la presencia de grietas de tensión y cárcavas.
- Es necesario hacer estudios de potencial de amenaza y vulnerabilidad sismo geotécnica con equipos multidisciplinarios y efectuar la zonificación. Establece la necesidad de hacer cumplir las normas, reglamentos y guías de seguridad.

5.2 GRAVA COLAPSABLE DE VÍTOR – AREQUIPA, MOQUEGUA Y TACNA

En 1980, Martínez V.⁽⁵⁾ identificó por primera vez las gravas colapsables en el deslizamiento compuesto de la Irrigación La Cano en Vítor Arequipa, en esa oportunidad se originó entre los especialistas comentarios e incertidumbre de su existencia debido a la poca información existente, limitada al colapso en suelos finos. Años después en 1994 se difunde a nivel mundial las investigaciones de Rollins et.al⁽⁶⁾, donde reportan casos de colapso en gravas, se conoce posteriormente casos ocurridos en otras partes del mundo.

El caso del Pie de la Cuesta en Arequipa el deslizamiento compuesto arrasó un tramo de 500m. de canal y sepultó un caserío, fue un caso de presencia de gravas colapsables (Fotos 5.4 y 5.5). Martínez V. encontró que la matriz es el elemento más importante que regula la colapsabilidad, en este caso halló que el tiempo en que se produce el colapso completo de la matriz era de 1 hora, 45 minutos y 7 segundos.

En el caso de La Cano se halló que con 5% de agua el conglomerado falla por su peso propio, esta hipótesis se ratifica en la Tesis de Maestría de Fernandez Sixto ⁽⁷⁾ donde investigó materiales del mismo lugar.

La clasificación de la grava colapsable efectuada por Fernandez considerando la fracción mayor de 3" fue (GP-GM) + Bo, además halló que las granulometrías de las muestras ensayadas caían dentro del rango de los casos reportados por Rollins, M. et al. ⁽⁸⁾

La relación de vacíos hallada por Martínez (1980) fue de 0.3 y por Fernandez (1996) fue de 0.1, lo que permite establecer que las gravas colapsables no siempre son de gran porosidad tal como ocurre con los suelos finos.



FOTO 5.4

Valle del río Vitor, al fondo la terraza de La Joya, donde se produjo deslizamiento por colapso del conglomerado.

Foto Tesis Maestría Ing. Erasmo Fernández Sixto



FOTO 5.5

Canal de irrigación La Cano, sobre gravas colapsables de la formación Sotillo con alto contenido de carbonato de calcio.

Foto Tesis Maestría Ing. Erasmo Fernández Sixto

Se tiene también el caso de las gravas colapsables halladas en Moquegua, en los canales de irrigación del proyecto Pasto Grande se detectó fracturas y filtraciones después de construido el canal sobre gravas colapsables, el caso ocurrió por estudios geotécnicos deficientes y un diseño mal concebido.

En las laderas de la ciudad de Moquegua se hallan gravas angulosas con matriz arenosa arcillosa con sales y sulfatos, se les llama *moro moro*, habiéndose registrado problemas en reservorios y viviendas, en Piura se le llama *Yapato*.

5.3 LICUACIÓN DE GRAVAS EN EL PUENTE YAUCA – AREQUIPA

El 12 de noviembre de 1996 ocurrió un sismo en la región Nazca-Acarí a 450 Km. al sur de Lima ⁽⁹⁾, el terremoto fue producido por la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa sudamericana, el epicentro se localizó a 135 km. al suroeste de la ciudad de Nazca, la profundidad focal fue de 40km. y tuvo una duración 1'58".

A consecuencia de este evento ocurrieron diversos daños como derrumbes de viviendas antiguas y nuevas, caída de rocas en las carreteras, daños en presas, etc .

La máxima intensidad de grado 7 (escala MSK) se observó en el estuario del río Yauca. A lo largo de la línea de la costa entre Yauca y San Nicolás se observaron grietas en las bermas de la carretera Panamericana.

La licuación de suelos ocurrió en el estuario del río Yauca donde existen depósitos de suelos arenosos gravosos saturados, el Instituto Geofísico del Perú (IGP, 1997) informó licuación generalizada y se observó volcanes de arenas y eyección de lodo. También colapsaron presas de relaves ubicadas en Acarí, Jaqui y Chala debido a licuación.

Un caso especial ocurrió en el Puente Yauca donde uno de los pilares del puente sufrió agrietamiento de la viga superior y columna se produjo desplazamiento del tablero del puente, la causa fue por licuación de la grava arenosa ubicada debajo del puente; Martínez V. ⁽¹⁰⁾, verificó que las gravas habían fluido en la matriz arenosa.

5.4 GRAVA CEMENTADA CON CARBONATO DE CALCIO EN EL RÍO HUAURA – HUACHO Y EN JAUJA

En ambos casos la matriz es carbonato de calcio, cuyo origen es la disolución de calizas por las aguas ácidas ó por el afloramiento de aguas termales que llegan a los ríos.

En el caso de Huacho se les encuentra a partir del puente sobre el río Huaura hasta su desembocadura, con una característica que forma oquedades haciendo este tramo peligroso en época de avenidas, su origen son los baños termales de Churín.

El profesor Martínez opina que la grava cementada de Jauja tiene su origen en la cuenca del río Cunas, de grandes formaciones geológicas donde predominan las calizas cuyos depósitos han llegado hasta Jauja y se les puede ver en los cortes de la carretera que va de Jauja a Tarma.

5.5 OTRAS MATRICES AÚN NO ESTUDIADAS

Entre las otras variedades de gravas que podrían presentar problemas en cimentaciones tenemos las gravas cementadas con diversos elementos, por ejemplo las gravas cementadas con carbonato de calcio, las gravas con matriz de arcillas expansivas, con matrices dispersivas, cementadas con óxidos de hierro, etc.

Son de interés también aquellas que le dan al conglomerado mayor resistencia a la matriz, como las cementadas con sílices que se les encuentra cerca de las Minas de Toromocho en la Carretera Central y las que tienen minerales de hierro.

Por ejemplo, en Jauja se puede observar gravas cementadas en cortes de carreteras (Foto 5.6); un caso peculiar son los estratos de grava de la ribera izquierda del río Mantaro a la altura del paraje Uclumayo, que se mantienen fuertemente cementadas a pesar de la saturación casi permanente por ubicarse en el cauce del río (Fotos 5.7, 5.8 y 5.9)

En estudios de suelos efectuados en la ciudad de Huancayo en el sector de El Tambo, se han registrado estratos de gravas cementadas de color beige blanquecino (Foto 5.10) que intercalan al típico conglomerado de Huancayo en este lugar, mayormente de matriz arcillosa y limosa clasificado como GP-GC y GP-GM.



FOTO 5.6
Conglomerado cementado en corte de carretera que conduce de Jauja al poblado de Juntaysama.
Foto archivo Ing. Luisa Shuan



FOTO 5.7
Margen izquierda del río Mantaro en Jauja, altura del paraje Uclumayo, ubicación de grava cementada en el lecho del río, a escasa profundidad.
Fotos archivo Ing. Luisa Shuan



FOTOS 5.8 y 5.9

Muestras de gravas fuertemente cementadas y resistentes a la saturación, procedentes de la margen izquierda del río Mantaro, Jauja, paraje Uclumayo.

Fotos archivo Ing. Luisa Shuan



FOTO 5.10

A la izquierda muestras de gravas cementadas procedentes de Huancayo, distrito de El Tambo. No se disturba con la saturación.

Foto archivo Ing. Luisa Shuan

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “Análisis de Estabilidad de Taludes de la Costa Verde”, Tesis de Grado UNI-FIC Mariella Cañari Sanchez (2001)
- (2) “Estudios sobre los Acantilados desde La Punta al Morro Solar” Martínez A. y Teves N. (1966) I Congreso Nacional Mca. De Suelos . Publicación Lgga - 25 FIC-UNI
- (3) “Planos Geotécnicos para Lima-Perú”. Martínez Vargas A. y Porturas F. (1975) Publicación Lgga - 66 FIC-UNI
- (4) “Practica de Campo en la Costa Verde” Martínez Vargas A. Curso Internacional Nuevas Tendencias de la Mecánica de Suelos del siglo XXI, Instituto de Desarrollo e Investigación del Perú, Lima, diciembre 2,000
- (5) “Gravas colapsables del Deslizamiento Compuesto del Pie de La Cuesta Vitor-Arequipa”, M.I.MS Alberto Martínez Vargas , XII Congreso CONIC-Chiclayo 1980
- (6) “Identification and Characterization of Collapsible Gravells” Rollins, M. et al. (1994), Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 120(3), 528-542
- (7) “Investigación del Conglomerado Colapsable de La Cano, Vitor-Arequipa” Fernandez, E. Tesis de Maestría FIC-UNI (1997)
- (8) ”Closure of ‘Identification and Characterization of Collapsible Gravells’” Rollins, M. et al (1995), Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 121(6), 511-512
- (9) “Terremoto de Nazca 12 de noviembre de 1996, Perú”, Alva Hurtado – David Lopez, Segunda Conferencia Internacional de Ingeniería Geotécnica Sísmica, Lisboa, Junio 1999
- (10) “Licuación de Gravas en el Perú” M.I.MS Alberto Martínez Vargas, Boletín Técnico M.I.G. N°1 Sección de Post Grado FIC-UNI Agosto 2001

CAPÍTULO VI

ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN LA GRAVA DE LIMA

6.1 GENERALIDADES

La resistencia al corte de un suelo es el valor máximo de esfuerzo que se puede inducir dentro de su masa antes de que ceda, este valor límite del esfuerzo cortante está influido tanto por la magnitud como por la velocidad de deformación. La ecuación de resistencia al esfuerzo cortante, se expresa según Coulomb (1,776) como:

$$\tau = C + \sigma' \operatorname{Tg} \phi$$

Donde:

- σ' = Esfuerzo normal efectivo en el plano de corte
- $\sigma' = (\sigma - \mu)$
- σ = Esfuerzo total
- ϕ = ángulo de fricción interna
- C = Cohesión

Las características mecánicas de los suelos dependen de sus parámetros de resistencia ϕ y su cohesión C . Estos parámetros de resistencia son determinados en laboratorio mediante ensayos de corte directo o compresión triaxial

La determinación de los parámetros de resistencia ϕ y C en la grava de Lima ha estado limitada por su distribución granulométrica, en la cual no se incluye la fracción gruesa del

tipo cantos rodados y boleos mayores de 12 pulgadas. La limitación es por la falta de equipos gigantes de laboratorio adecuados para el ensayo de especímenes representativos que consideren los tamaños gruesos y porque no se efectúa la corrección de esta omisión.

6.2 METODOLOGÍAS

6.2.1 EN LABORATORIO CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

En laboratorio se puede efectuar ensayos de la matriz arenosa, limosa, arcillosa, etc. cuyos resultados obtenidos deben ser corregidos para su aplicación en el conglomerado.

La metodología de laboratorio consiste en colocar la muestra en una caja de corte metálica con un peso volumétrico (γ_m) equivalente al de la matriz previamente determinada, sin considerar la fracción gruesa de la grava no incluida en el ensayo.

La caja de corte se divide en dos partes, la parte inferior es fija y la superior es móvil tal como se muestra en la Figura 6.1. Estando el suelo colocado en la caja, se le aplica un esfuerzo normal, luego se aplica una fuerza horizontal de corte en la parte superior de la caja de tal forma que el suelo tiende a deslizarse hasta llegar a la falla. El ensayo se repite variando la carga normal en cada espécimen, de tal forma que con los resultados podemos construir el gráfico esfuerzo cortante vs. esfuerzo normal y determinamos los parámetros de resistencia.

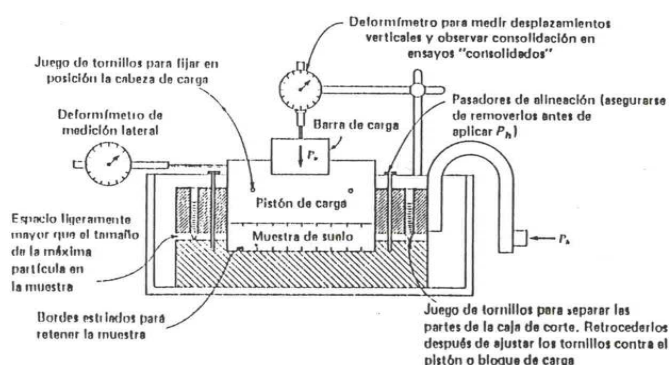


Figura 6.1 Caja de Corte para Ensayo de Corte Directo de Laboratorio.

6.2.2 EN CAMPO CON EL ENSAYO DE PLACA

El ensayo de carga directa o de placa es un ensayo in situ que permite la estimación de la capacidad portante del suelo de gravas mas matriz, así como los clastos mayores de 3 pulgadas mediante métodos empíricos y su asentamiento en un punto determinado.

El ensayo consiste en aplicar al suelo una carga de reacción incrementada en forma gradual mediante el uso de una placa de acero, generalmente la carga de reacción consiste en una plataforma o camión cargado de tamaño y peso suficiente para suministrar la carga total requerida en el terreno. La carga de reacción es aplicada mediante una gata hidráulica de suficiente capacidad para proveer y mantener la carga máxima estimada para las condiciones específicas del suelo.

El registro del asentamiento y la carga aplicada permiten establecer una relación entre la presión de contacto y la deformación del suelo, este método proporciona información del suelo solo hasta una profundidad igual a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo, es decir no reflejará adecuadamente las características de deformación de alguna capa compresible que se encuentre por debajo de la zona de influencia de la placa pero que sin embargo se encuentre en el interior de la zona de influencia real de la cimentación.

Para ser mas representativo el ensayo debe efectuarse a diferentes profundidades y empleando placas de diferentes tamaños.

DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE

Existen varios criterios para determinar la capacidad de carga admisible del terreno en base al ensayo de carga directa, por ejm:

- Criterio del Comité Francés de Mecánica de Suelos

$$q_a = \text{valor menor entre } q_{03}, 2/3q_{10}, 1/2q_{20}$$

Donde los subíndices son valores de deformación en milímetros.

El valor q_a es la carga correspondiente a la intersección de una recta paralela a la curva de descarga que pasa por las deformaciones indicadas a la curva de carga.

- Criterio de Terzaghi y Peck

La carga admisible es la mitad del esfuerzo que ocasiona un asentamiento de 1 cm. en el ensayo de carga o la mitad del esfuerzo en la falla.

DETERMINACIÓN DE ASENTAMIENTOS

El asentamiento registrado en una placa de diámetro conocido puede ser relacionado con los asentamientos esperados en la cimentación. Entre los métodos utilizados tenemos:

- Criterio de Terzaghi y Peck

$$S_2 = S_1 \left(\frac{2B_2}{B_1 + B_2} \right)^2$$

donde S_2 = Asentamiento en la cimentación de ancho B_2 en cm.

S_1 = Asentamiento de la placa de ensayo de ancho B_1 , bajo la carga esperada a ser aplicada por la cimentación.

- Relación de Bond

$$S_2 = S_1 \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^{n+1}$$

donde: n = coeficiente que depende del suelo

$n = 0.20$ a 0.40 para arenas sueltas a medias

$n = 0.40$ a 0.50 para arenas densas

La relación de Bond no es para gravas, pero se puede adecuar para el material de la matriz.

6.2.3 EN CAMPO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO IN SITU

El ensayo de corte directo “in situ” permite una determinación confiable de los parámetros de resistencia de los suelos granulares. No existen especificaciones precisas sobre el ensayo, pero la idea es reproducir “in situ” el ensayo de corte directo de laboratorio. Para tal efecto se deben idear los sistemas de transmisión de cargas normal y horizontal, así como definir la forma y dimensión de los especímenes de tal forma que estos sean representativos de la distribución granulométrica de la grava.

6.2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

EQUIPO DE CONFINAMIENTO

La función de este equipo es la de confinar al espécimen y aplicarle la carga horizontal y vertical, puede utilizarse para este fin una caja metálica. Las dimensiones deben ser tales que permitan el tallado de especímenes representativos considerando el tamaño máximo de los cantos.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE CARGA AXIAL

Puede ser ideado según los equipos y materiales disponibles “in situ” y que sea capaz de conformar una sobrecarga suficiente de tal forma que transmita las presiones normales requeridas para cada uno de los especímenes

RODILLOS

Se emplean rodillos o polines de sección llena perfectamente pulidos colocados entre dos planchas metálicas, su función es evitar que durante la aplicación de la fuerza tangencial se desestabilice el sistema de carga. Si no hubiera los rodillos, en el momento de aplicación de la fuerza tangencial todo el sistema de carga tendería a moverse en dirección de la fuerza horizontal, si el desplazamiento fuera significativo el sistema de carga podría venirse abajo. Los rodillos giran sobre si mismos durante la aplicación de la fuerza y permite la estabilidad del sistema de carga axial.

Ver equipo en la Figura 6.2

6.2.3.2 PROCEDIMIENTO DE CORTE

Estando el espécimen confinado dentro de la caja metálica, se procede a ejecutar el ensayo, primero se aplica la carga normal por incrementos, luego se espera un tiempo para que ocurra un asentamiento total para la presión normal especificada, una vez conseguido el asentamiento total, se aplica la fuerza tangencial también por incrementos. Durante el proceso de ruptura, el esfuerzo normal deberá mantenerse constante y la fuerza tangencial se hace variar en forma creciente y controlada hasta conseguir la ruptura.

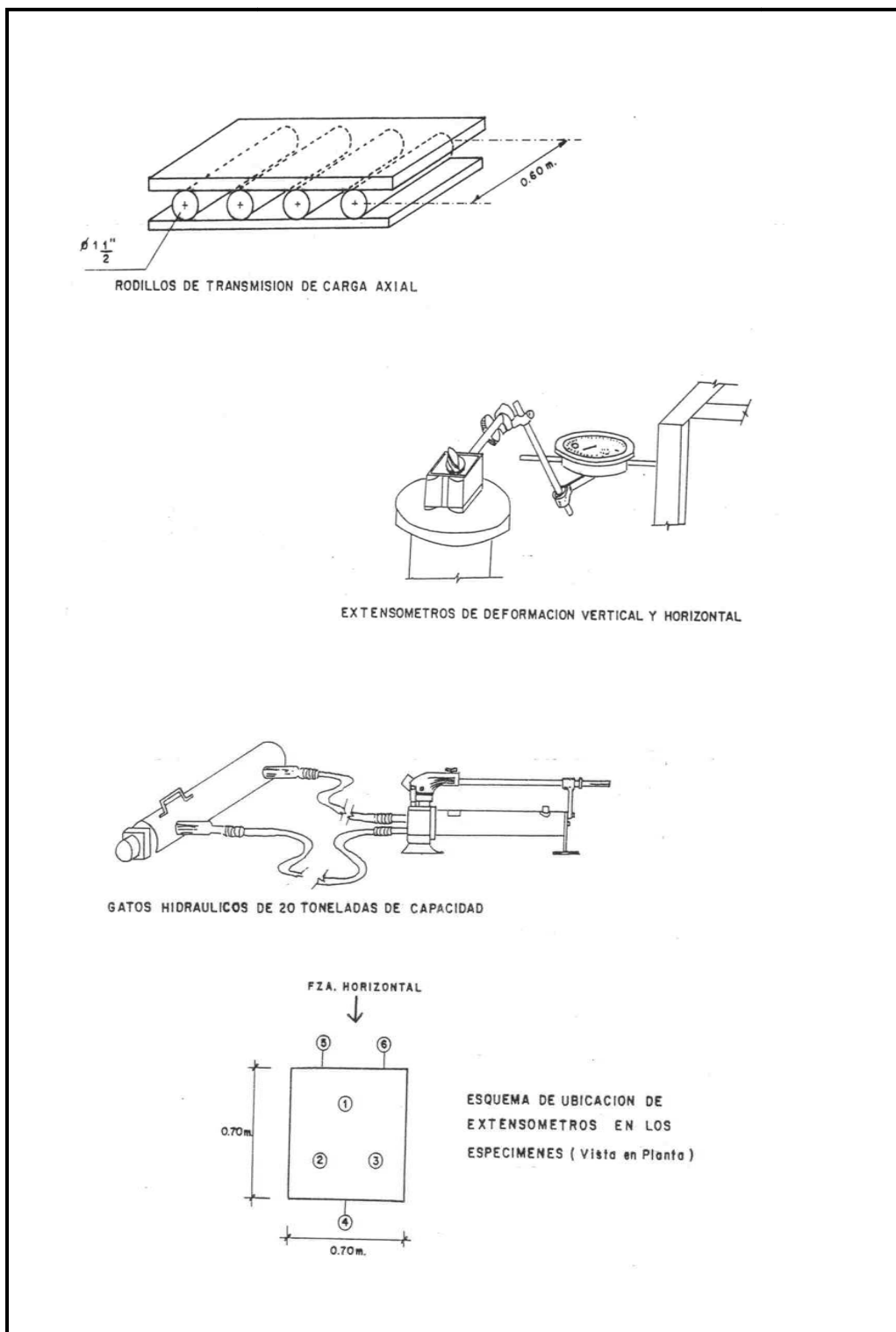


Figura 6.2 Equipo para Ensayo de Corte Directo "In Situ"

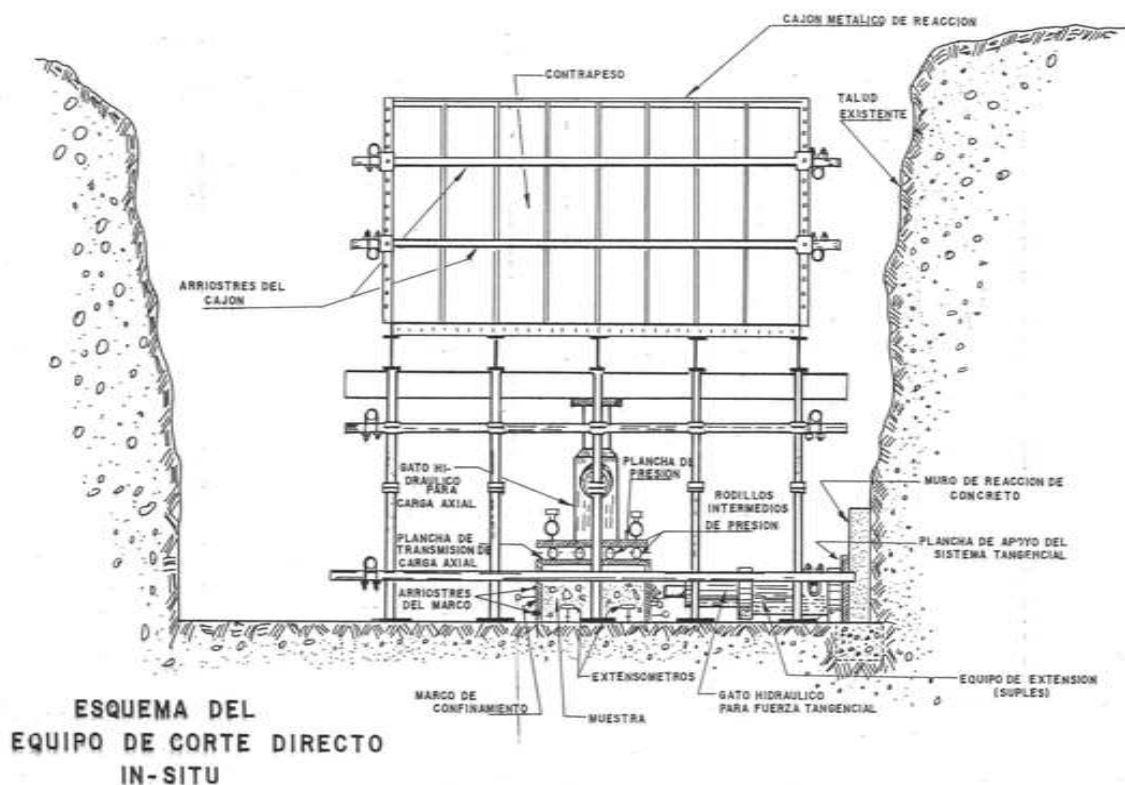


Figura 6.3 Sistema para Ejecución de Ensayo de Corte Directo "In Situ"

6.2.3.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Conociendo los planos de falla de los especímenes, las máximas fuerzas horizontales de falla y los valores de las cargas normales correspondientes, es posible realizar el gráfico σ vs. τ en un diagrama cuyo eje de abscisas represente a la presión normal σ y el eje de ordenadas represente al esfuerzo cortante τ máximo, el resultado será una recta definida por tres puntos cuya inclinación con la abcisa corresponda al valor de ϕ y cuya intersección con el eje de ordenadas corresponde al valor de C .

6.3 ENSAYOS IN SITU EFECTUADOS

Los primeros ensayos de corte directo “in situ” en el conglomerado de Lima fueron efectuados por el laboratorio de Suelos de la UNI en el año 1972, previamente el personal del laboratorio diseñó y confeccionó el equipo siguiendo el principio del ensayo de corte directo de laboratorio.

Con el equipo a punto se ejecutó tres series de ensayos bajo la dirección del Ing. Carlos A. Calderón Seguí, estas primeras experiencias sirvieron para perfeccionar y mejorar el equipo que se sigue usando hasta la fecha.

En el año 1996, el laboratorio de suelos de la UNI ejecutó otro ensayo por encargo de la empresa Alpha Consult, en el campus de la Universidad de San Marcos.

En el año 1997 el laboratorio geotécnico del CISMID ejecutó un ensayo a solicitud de la empresa Hidroenergía en las gravas del acantilado de Miraflores.

A continuación se resume los aspectos más importantes de estas experiencias.

6.3.1 CENTRO DE LIMA - 1972

Los ensayos efectuados por el laboratorio de suelos de la UNI en el año 1972 fueron a solicitud del consorcio internacional Metro Lima, como parte del estudio de factibilidad para el sistema de transporte rápido masivo de Lima, como se indicó líneas arriba estuvo bajo la dirección del jefe del laboratorio de suelos Ing. Carlos Calderón y tuvo la participación del Ing. Genaro Humala como asesor de mecánica de suelos de la contraparte peruana del consorcio ⁽¹⁾. Los ensayos efectuados también fueron motivo de la tesis de grado del Ing. Felix de la Rosa Anhuamán⁽²⁾.

El primer ensayo se ubicó cerca al Hospital Rebagliati a la altura de la cda. 14 de la Av. Arenales, el resultado obtenido no es representativo. Por ser la primera experiencia se detectó algunas deficiencias en el equipo y procedimiento, lo rescatable fue que se corrigió las fallas, se hizo los ajustes necesarios al equipo y se optimizó el procedimiento, obteniéndose luego resultados satisfactorios en los ensayos restantes de la serie.

A continuación se resume los resultados de los otros dos ensayos.

TABLA 6.1

CORTE DIRECTO IN SITU – CRUCE JIRONES CUSCO Y CAMANÁ

Profundidad de ensayo 8.60 m.

ESPECÍMEN	I	II	III
Clasificación	GP	GP	GP
Dimensiones (m3)	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31
Presión normal(kg/cm2)	1.148	2.367	3.444
Esfuerzo de corte Máximo(kg/cm2)	1.383	2.394	3.313
Desplazamiento Máximo (mm)	13.315	20.53	14.658
Ángulo de fricción interna (ϕ)	40°		
Cohesión (kg/cm2)	0.425		
Peso Unitario Promedio(gr/cm ³)	2.20		

Ejecución: Laboratorio de Suelos UNI ⁽¹⁾ y ⁽²⁾

Observaciones:

- Se corrigieron las deficiencias observadas en una prueba anterior cuyos resultados no son considerados representativos.
- Aplicación de fuerza horizontal a un tercio de la altura, medido desde el fondo de la muestra.

TABLA 6.2

CORTE DIRECTO IN SITU – CRUCE AVS. ABANCAY Y NICOLÁS DE PIÉROLA

Profundidad de ensayo 6.20 m.

ESPECÍMEN	I	II	III
Clasificación	GP	GP-GC	GP-GC
Dimensiones (m3)	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31
Presión normal(kg/cm2)	1.148	2.296	3.444
Esfuerzo de corte Máximo(kg/cm2)	1.461	2.374	2.844
Desplazamiento Máximo (mm)	12.004	6.570	12.962
Ángulo de fricción interna (ϕ)	37°		
Cohesión (kg/cm2)	0.60		
Peso Unitario Promedio(gr/cm ³)	2.20		

Ejecución: Laboratorio de Suelos UNI ⁽¹⁾ y ⁽²⁾

Observaciones:

- Clasificación granulométrica diferente de los especímenes.
- Los resultados son tomados como representativos.

6.3.2 UNIVERSIDAD DE SAN MARCOS – 1996

En 1996 la empresa Alpha Consult encargó al laboratorio de suelos de la UNI la ejecución de un ensayo de corte directo “in situ” como parte del estudio geotécnico para el intercambio vial de las avenidas Universitaria y Venezuela, la ubicación de la prueba fue en las inmediaciones del cruce de ambas avenidas dentro del campus de la Universidad San Marcos. Este ensayo se efectuó con la asesoría del Ing. Carlos Calderón, por parte de Alpha Consult participó el Ing. Genaro Humala ⁽³⁾.

Esta experiencia fue motivo de la Tesis de Grado FIC-UNI de la autora del presente trabajo de investigación ⁽⁴⁾. En las Fotos 6.1 a 6.9 tomadas de la tesis en mención, se presentan vistas de la ejecución de este ensayo.

Las características de la prueba fueron las siguientes:

TABLA 6.3

CORTE DIRECTO IN SITU – CRUCE AVS. UNIVERSITARIA Y VENEZUELA

Profundidad de ensayo 4.00 m.

ESPECÍMEN	I	II	III
Clasificación	GP-GM	GP	GP-GM
Peso Unitario húmedo(gr/cm ³)	2.31	2.33	2.25
Peso Unitario seco (gr/cm ³)	2.18	2.28	2.19
Tamaño Máximo	7.5pulg.(19.05cm.)	6.5pulg.(16.51cm)	6.5pulg.(16.51cm)
Dimensiones Espécimen (m ³)	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31	0.70x0.70x0.31
Presión normal(kg/cm ²)	1.13	2.18	3.32
Esfuerzo de corte Máximo(kg/cm ²)	0.92	1.6	2.37
Desplazamiento Máximo (mm)	6.49	6.50	9.50
Ángulo de fricción interna (φ)	34°		
Cohesión (kg/cm ²)	0.15		

Ejecución: Laboratorio de Suelos UNI ⁽³⁾ y ⁽⁴⁾

Observaciones:

- Clasificación granulométrica diferente de los especímenes.
- El resultado obtenido es coherente con el material ensayado.

6.3.3 ACANTILADOS DE LA COSTA VERDE – 1997

En 1997 el laboratorio geotécnico del CISMID ejecutó un ensayo de corte directo in situ por encargo de la empresa Hidroenergía, como parte de los trabajos de campo del estudio de estabilidad de taludes de la Costa Verde. La experiencia se ejecutó con la dirección del Dr Jorge Alva Hurtado.

La ubicación de la prueba fue en la corona de talud de la costa verde a la altura del Malecón de La Marina en Miraflores, según refiere Cañari en su Tesis de Grado ⁽⁵⁾.

Las características de la prueba fueron las siguientes:

TABLA 6.4
CORTE DIRECTO IN SITU – ACANTILADO COSTA VERDE

CORONA DE TALUD

ESPECÍMEN	I	II	III
Clasificación	GP	GP	GP
Presión normal(kg/cm ²)	0.50	1.0	1.5
Dimensiones Espécimen (m ³)	0.70x0.70x0.30	0.70x0.70x0.30	0.70x0.70x0.30
Ángulo de fricción interna (φ)	39.9°		
Cohesión (kg/cm ²)	0.55		
Peso Unitario Promedio(gr/cm ³)	2.10		

Ejecución: Laboratorio Geotécnico CISMID ⁽⁵⁾

6.3.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Los ensayos efectuados en el año 1972 efectuados en el centro de Lima fueron las primeras experiencias en nuestro medio. Los resultados considerados válidos reportan ángulos de fricción interna de 37° y 40° y cohesiones de 0.60 y 0.425 kg/cm² respectivamente, que son valores aceptables para el conglomerado de Lima, pero falta mayor información sobre los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, solo se reporta un peso unitario promedio. Es necesario además mayor detalle de la distribución granulométrica especificando los tamaños máximos de cantos presentes en los especímenes de prueba.
- La prueba efectuada en 1996 en el campus de la Universidad de San Marcos reporta valores de ángulo de fricción interna igual a 34° y cohesión igual a 0.15kg/cm², estos valores son conservadores para una grava. Sin embargo, el perfil estratigráfico muestra la presencia de bolsones y lentes de arena, clasificándose el material mayormente como GP-GM con considerable matriz arenosa, observándose un incremento de finos con la profundidad y escasos boleos.
- En la prueba efectuada en 1997 en los acantilados de Miraflores se obtienen parámetros de resistencia comprendidos entre los valores obtenidos en 1972 para la zona del centro de Lima. Con estos resultados se podría suponer que el conglomerado de Lima tiene similar resistencia al corte en ambas zonas, siendo necesaria mayor investigación y ejecución de otros ensayos que confirmen esta probabilidad.
Por otro lado, el profesor A. Martínez opina que los resultados solo son válidos para cimentación, para aplicación en estabilidad de taludes considera inapropiada la ubicación que no refleja las condiciones representativas de las variaciones existentes al Sur y Norte ⁽⁶⁾.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO “IN SITU” – CRUCE AV. VENEZUELA Y UNIVERSITARIA



Foto 6.1 Ejecución de la prueba a 4.30m. de profundidad



Foto 6.2 Tallado del espécimen



Foto 6.3 Verificación de dimensiones del espécimen, de acuerdo a las planchas de confinamiento.



Foto 6.4 Alisado de las caras de la muestra con lechada de cemento



Foto 6.5 Colocación de las planchas de confinamiento



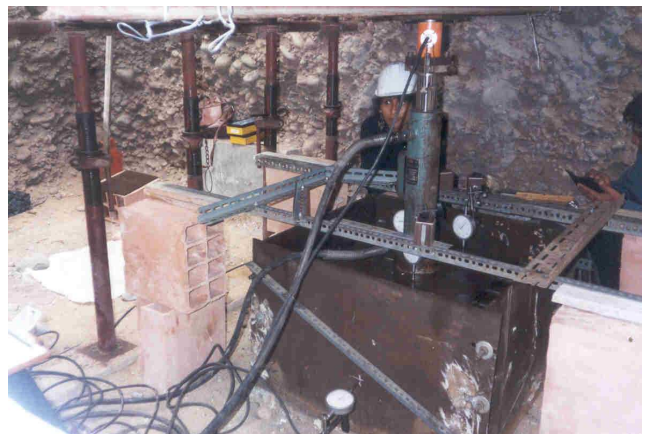
Foto 6.6 Muro de reacción para la aplicación de la fuerza horizontal

Foto 6.7 Colocación de polines sobre la cara superior de la muestra, su función es evitar que el sistema se desestabilice con el esfuerzo normal.



Foto 6.8 Sistema de aplicación de la carga normal, mediante un cajón metálico lleno con probetas de concreto. Se aprecia dos especímenes.

Foto 6.9 Detalle de la aplicación de la carga normal en el centro de gravedad del espécimen y ubicación de deformímetros.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- (1) “Ensayo de Corte Directo in situ en Lima”, Genaro Humala A., IV CONIC, Chiclayo, noviembre 1982
- (2) “Ensayos de Corte Directo In Situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima” Felix De La Rosa Anhuamán. Tesis de Grado FIC-UNI 1974
- (3) “Resistencia al Esfuerzo Cortante y deformación del suelo en la zona del proyecto Intercambio Vial entre las avenidas Universitaria y Venezuela”, Humala A. Calderón S., Huapaya L. XI CONIC, Trujillo, noviembre 1997
- (4) “Determinación de los Parámetros de Resistencia en Suelos Granulares Mediante el ensayo de Corte Directo In Situ para Fines de Cimentación. Aplicación Intercambio Vial Av. Universitaria - Av.Venezuela” Luisa Shuan L. Tesis de Grado FIC-UNI 1997
- (5) “Análisis de Estabilidad de Taludes de la Costa Verde”, Tesis de Grado UNI-FIC Mariella Cañari Sanchez (2001)
- (6) “Practica de Campo en la Costa Verde” A.Martínez V. Curso Nuevas Tendencias de la Mecánica de Suelos del Siglo XXI, Instituto de Desarrollo e Investigación del Perú, Lima diciembre 2000

CAPÍTULO VII

GRAVA MODELO UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN

7.1 INTRODUCCIÓN

La grava utilizada como modelo en la investigación pertenece a los sedimentos inconsolidados naturales de cordones litorales existentes, ubicados en la playa de Ventanilla. El acceso a la zona es mediante la carretera a Ventanilla, se sigue un desvío a la altura del balneario de Ventanilla y se llega a la playa.

Estos sedimentos han sido formados por aporte mayoritario del río Chillón y arrastrados por las corrientes marinas y efectos de tsunamis, depositándose en forma de cordón litoral a lo largo de la playa.

El cordón litoral forma una terraza de 2 a 3m. de ancho y de 1 a 1.5m. de altura que limita la zona de playa y los terrenos de cultivos adyacentes, superficialmente tiene una cobertura de arena fina que se prolonga hacia la playa, el cuerpo de la terraza está conformada por gravas con escasa matriz arenosa.

Este banco de material gravoso está siendo utilizado para la obtención de material para construcción. En las Fotos 7.1 a 7.3 se presentan vistas del lugar de ubicación de la cantera.

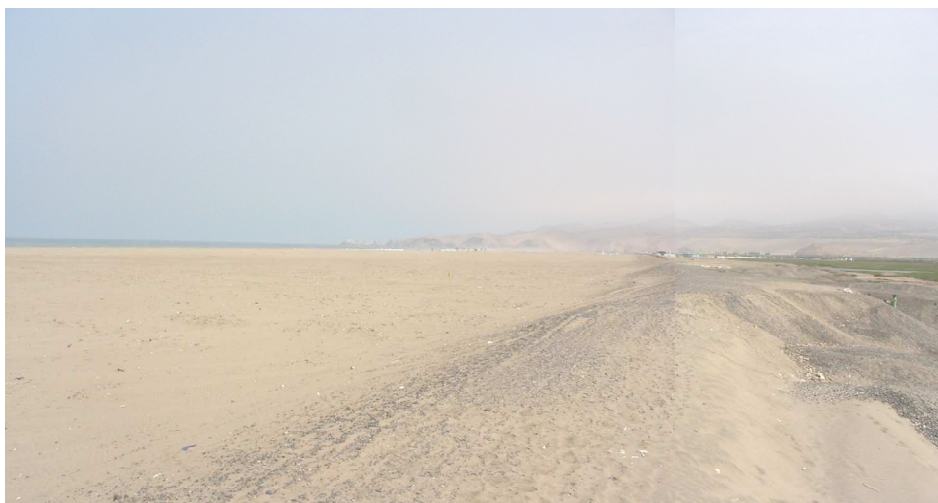


FOTO 7.1

Vista panorámica de la playa Ventanilla y la cantera de grava hacia el lado derecho conformando una terraza paralela al litoral.



FOTO 7.2

Vista hacia el Sur, se observa a la izquierda el límite de la cantera con pantano.



FOTO 7.3

Vista hacia el Norte, se observa zona explotada de la cantera.

Las muestras representativas para los ensayos se tomaron de las calicatas C-1, C-2 y C-3 ubicadas cerca de la zona de extracción, en las Fotos 7.4 a 7.6 se observa la ubicación de las calicatas.

La calicata C-1 se ubicó al pie de la terraza y se tomó la muestra M-1, la calicata C-2 se ubicó en la corona de la terraza y se excavó en forma de trinchera siguiendo el talud, de esta excavación se tomó las muestras M-2 y M-3. Similarmente, la calicata C-3 se ubicó en la terraza distanciada unos 50m de la calicata C-2 y se tomó las muestras M-4 y M-5, extrayendo el material con excavación en trinchera.

En las Fotos 7.7 a 7.9, se observa la extracción de la muestra para los ensayos de investigación.

La elección de la grava de esta zona para fines de la investigación se ha hecho a propuesta del asesor de la presente Tesis, teniendo en consideración la dureza de los cantos debido al predominio de la roca ígnea, principalmente volcánicas silificadas como la andesita silificada en su constitución y a su forma esférica achatada, adecuada para el modelo.



FOTO 7.4
Calicata C-1, ubicada al pie de la terraza.

FOTO 7.5
Calicata C-2, ubicada en la corona de la terraza.





FOTO 7.6
Calicata C-3, excavada en forma de trinchera sobre la ladera de la terraza.

FOTO 7.7
Extracción del material para los ensayos de investigación.



FOTO 7.8
Se observa lentes de gravilla subredondeada, se intercalan con gravas de mayor tamaño y estratos de arena.



FOTO 7.9
Tamizado "in situ" de la grava y obtención de muestra de tamaño seleccionado para los ensayos de corte.

7.2 PROPIEDADES FÍSICAS

A continuación se analizan los resultados de los ensayos efectuados en las muestras representativas de la grava, con el fin de establecer sus propiedades físicas y mecánicas.

En el Anexo I “Ensayos de Laboratorio en la Grava Modelo” se presentan los informes de los ensayos efectuados y puede consultarse los detalles de los resultados obtenidos.

7.2.1 PESO ESPECÍFICO DEL CONGLOMERADO

El peso específico del conglomerado se ha determinado para el estado suelto y compacto empleando para este fin el ensayo del peso unitario para agregados. El peso unitario del material in situ estará comprendido entre estos límites.

Los ensayos se han efectuado con el material global incluyendo la matriz arenosa, no se ha separado la grava y la arena como especifica el método de ensayo, considerando que nuestro objetivo ha sido aproximar el peso unitario del conglomerado en su conjunto. Los resultados se muestran en la Tabla 7.1

TABLA 7.1 PESOS ESPECÍFICOS DE LAS MUESTRAS REPRESENTATIVAS DEL MATERIAL GLOBAL

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Material	Global	Global	Global	Global	Global
T.Máximo	2"	1 ½"	1 ½"	1 ½"	1 ½"
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1,923	1,852	1,815	1,788	1,828
Peso Unit. Compacto (kg/m ³)	2,007	1,900	1,893	1,862	1,886

El mayor valor se obtuvo para la muestra M-1 con 2,007 kg/m³, para el estado compacto y 1,923 kg/m³ para el estado suelto.

El menor valor se obtuvo para la muestra M-4 con 1,788 kg/m³, para el estado suelto y 1,862 kg/m³ para el estado compacto.

Analizando los resultados, se observa que el conglomerado en su conjunto alcanza un promedio de pesos unitarios de :

Peso Unitario Suelto (kg/m^3) : 1,841

Peso Unitario Compacto (kg/m^3) : 1,909

Se analizó la variación con respecto al tamaño máximo de los cantos, efectuando los ensayos con variación respecto al tamaño máximo de grava, los resultados fueron los siguientes:

7.2.1.1 PESO ESPECÍFICO GRAVA < 3/4"

Los resultados obtenidos en laboratorio se muestran en la Tabla 7.2

TABLA 7.2 PESOS ESPECÍFICOS DE LA GRAVA < 3/4"

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Material	< 3/4"	< 3/4"	< 3/4"	< 3/4"	< 3/4"
Peso Unitario Suelto (kg/m^3)	1,953	1,844	1,809	1,797	1,806
Peso Unit. Compacto (kg/m^3)	1,982	1,872	1,857	1,822	1,844

El mayor valor se obtuvo para la muestra M-1 y el menor valor para la muestra M-4 para los estados suelto y compacto respectivamente.

Los pesos unitarios promedios para la grava con tamaño menor de 3/4" son:

Peso Unitario Suelto (kg/m^3) : 1,842

Peso Unitario Compacto (kg/m^3) : 1,875

7.2.1.2 PESO ESPECÍFICO GRAVA < 3/8"

Los resultados obtenidos en laboratorio se muestran en la Tabla 7.3

TABLA 7.3 PESOS ESPECÍFICOS DE LA GRAVA < 3/8"

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Material	< 3/8"	< 3/8"	< 3/8"	< 3/8"	< 3/8"
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1,932	1,885	1,820	1,813	1,803
Peso Unit. Compacto (kg/m ³)	2,086	1,964	1,881	1,848	1,869

El mayor valor se obtuvo para la muestra M-1 y el menor valor para la muestra M-5.

Los valores promedios son los siguientes:

Peso Unitario Suelto (kg/m³) : 1,851

Peso Unitario Compacto (kg/m³) : 1,929

En este caso se observa que los promedios son mayores que para el caso de la grava con granulometría global y la de tamaño menor de 3/4" , es decir la grava menor de 3/8" es más densa debido a que se ha reducido los vacíos existentes entre los cantos de tamaños mayores.

7.2.1.3 PESO ESPECÍFICO GRAVA <1/4"

Para esta fracción se obtuvo los resultados que se muestran en la Tabla 7.4

TABLA 7.4 PESOS ESPECÍFICOS DE LA GRAVA < 1/4 "

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Material	< 1/4"	< 1/4"	<1/4"	<1/4"	<1/4"
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1,616	1,762	1,317	1,296	1,292
Peso Unit. Compacto (Kg/m ³)	1,775	1,843	1,549	1,522	1,536

El mayor valor corresponde a la muestra M-2 y el menor a la muestra M-5.

Para la grava con tamaño menor de 1/4", se establece los siguientes valores promedios:

Peso Unitario Suelto (kg/m³) : 1,457
 Peso Unitario Compacto (kg/m³) : 1,645

7.2.2 PESO ESPECÍFICO DE LA MATRIZ

Se efectuó ensayos de peso unitario en la matriz arenosa menor que el tamiz N°4, los resultados se presentan en la Tabla 7.5

TABLA 7.5 PESO ESPECÍFICO DE LA MATRIZ < N°4

MUESTRA	M-3	M-4	M-5
Material	< N°4	< N°4	< N°4
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1,286	1,265	1,250
Peso Unit. Compacto (kg/m ³)	1,555	1,533	1,550

En este caso los resultados fluctúan en un rango estrecho y se establece los siguientes valores promedios:

Peso unitario suelto (kg/m³) : 1,267
 Peso Unitario Compacto (kg/m³) : 1,546

7.2.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA GRAVA

Se efectuó el ensayo de gravedad específica aplicando la norma ASTM C127 para el agregado grueso, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla 7.6

TABLA 7.6 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA GRAVA

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Material	grava retenida tamiz N° 4				
Gravedad Específica Bulk (Base Seca)	2,681	2,685	2,670	2,683	2,675
Gravedad Específica Bulk (Base Saturada)	2,695	2,698	2,685	2,697	2,689
Gravedad Específica Aparente (Base Seca)	2,719	2,720	2,712	2,721	2,713
Absorción (%)	0,521	0,480	0,585	0,526	0,532

Los valores de gravedad específica en la grava retenida en el tamiz N°4 muestran un promedio de 2.717, debe considerarse que mayormente la grava está conformada por cantos de rocas ígneas con predominio de andesitas.

7.2.4 GRANULOMETRÍA

La grava de Ventanilla es un depósito aluvial del río Chillón en la zona de desembocadura en el Océano Pacífico y que ha recibido el aporte de la erosión marina, dando una forma especial de redondez y aplanamiento de los cantos, esto último por derrames volcánicos con pseudo estratificación.

En las muestras representativas tomadas para el estudio se encuentran escasos tamaños mayores de 3" (ver Fotos 7.4 y 7.5), los tamaños máximos fueron de 2" y mayormente de 1½". Las muestras han sido clasificadas como gravas pobremente gradadas, de acuerdo al sistema SUCS.

El análisis granulométrico se ha efectuado para el conglomerado en su conjunto y para los cantos retenidos hasta el tamiz N°4. En las Tablas 7.7 y 7.8 se presentan los resultados obtenidos.

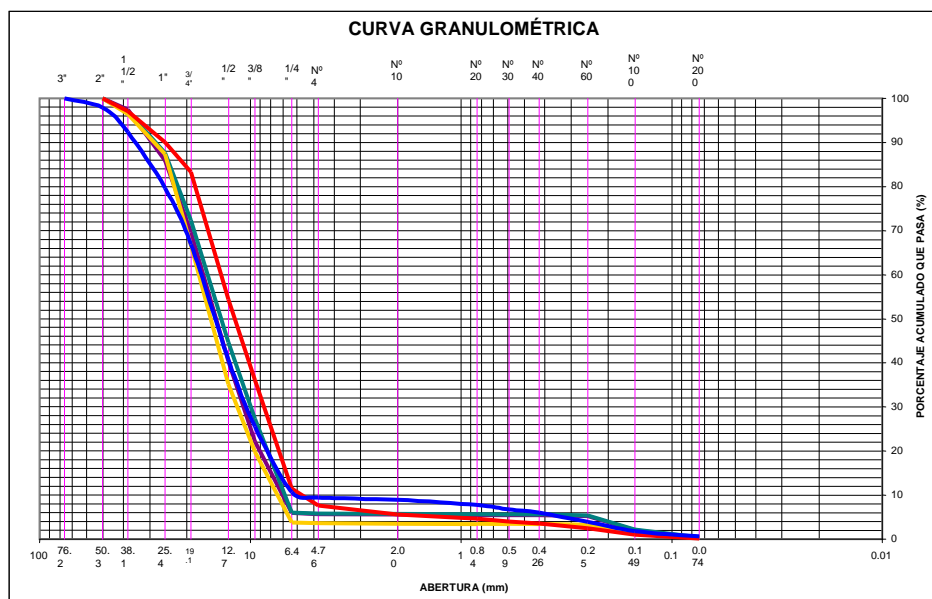
TABLA N°7.7 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA GLOBAL

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
CLASIFICACIÓN SUCS	GP	GP	GP	GP	GP
GRAVA (> N°4), %	90.5	92.3	96.4	94.2	94.4
ARENA (entre N°4 y N°200), %	8.9	7.5	3.3	5.4	5.4
FINOS (< N°200), %	0.6	0.2	0.3	0.4	0.2
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

TABLA N°7.8 TAMAÑOS PREDOMINANTES EN GRAVA RETENIDA TAMIZ N°4

MUESTRA	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
TAMAÑO PREDOMINANTE	½"	½"	½"	½"	½"
% DE TAMAÑO PREDOMINANTE	28.8	31.3	32.8	29.4	31.0
TAMAÑO MAYOR	2"	1 ½"	1 ½"	1 ½"	1 ½"
TAMAÑO MENOR	¼"	¼"	¼"	¼"	¼"

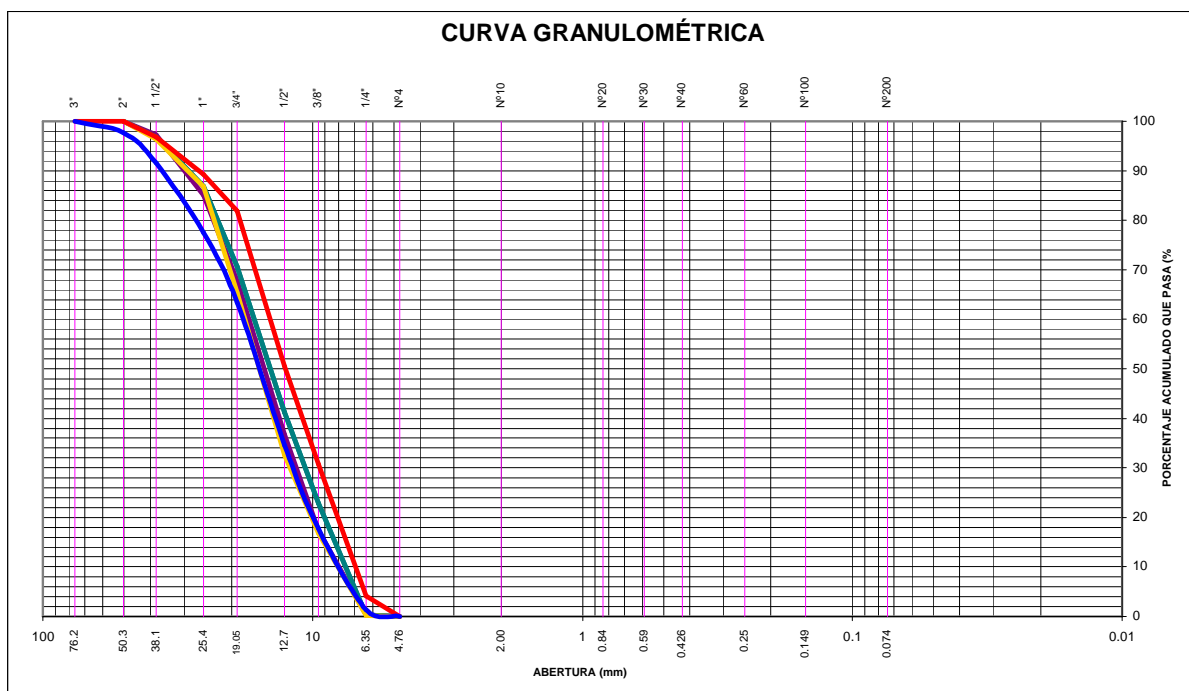
En la Figura 7.1 se observa la distribución granulométrica encajada en un huso muy estrecho, en el cual se visualiza el predominio de la fracción gruesa y la escasa proporción de arena. Se tiene un promedio de 10% entre las mallas N°200 y ¼” y un 90% entre las mallas de ¼” y 3”.



Tamiz	Abertura (mm)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
		(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa
3"	76.200	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.300	97.9	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	92.4	97.1	96.5	97.0	97.5
1"	25.400	79.7	90.1	87.3	87.6	85.9
3/4"	19.050	66.9	83.3	66.7	72.3	69.6
1/2"	12.700	40.8	54.4	35.1	44.7	40.4
3/8"	9.525	25.6	36.1	19.8	27.3	22.1
1/4"	6.350	10.7	11.4	3.8	6.0	5.9
Nº4	4.760	9.5	7.7	3.6	5.8	5.6
Nº10	2.000	8.9	5.6	3.5	5.7	5.5
Nº20	0.840	7.7	4.7	3.5	5.7	5.5
Nº30	0.590	6.7	4.0	3.5	5.6	5.5
Nº40	0.426	6.0	3.5	3.5	5.6	5.5
Nº60	0.250	3.9	2.4	3.3	5.4	5.2
Nº100	0.149	1.8	1.0	1.3	2.2	2.0
Nº200	0.074	0.6	0.2	0.3	0.4	0.2

Figura 7.1 Granulometría global de muestras representativas de la grava modelo.

En la Figura 7.2 se observa la distribución granulométrica de la fracción gruesa mayor que el tamiz N°4.



Tamiz	Abertura (mm)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
		(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa	(%) acumulado que pasa
3"	76.200	100.0				
2"	50.300	97.7	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	91.6	96.8	96.3	96.8	97.3
1"	25.400	77.6	89.2	86.8	86.9	85.1
3/4"	19.050	63.4	81.9	65.4	70.6	67.8
1/2"	12.700	34.6	50.6	32.6	41.2	36.8
3/8"	9.525	17.8	30.8	16.8	22.8	17.4
1/4"	6.350	1.3	4.1	0.2	0.2	0.3
N°4	4.760	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 7.2 Granulometría fracción mayor que 4.76mm (N4) de muestras representativas de la grava modelo.

En la Figura 7.3 se observa la tendencia de la granulometría con respecto a los porcentajes parciales retenidos. En todas las muestras el mayor porcentaje retenido se da en la malla 1/2" (pasa 3/4" y retiene en 1/2"), además se visualiza los otros tamaños con porcentaje representativos de tamaños retenidos que son las mallas próximas a la de 1/2" como 3/8", 1/4" y 3/4".

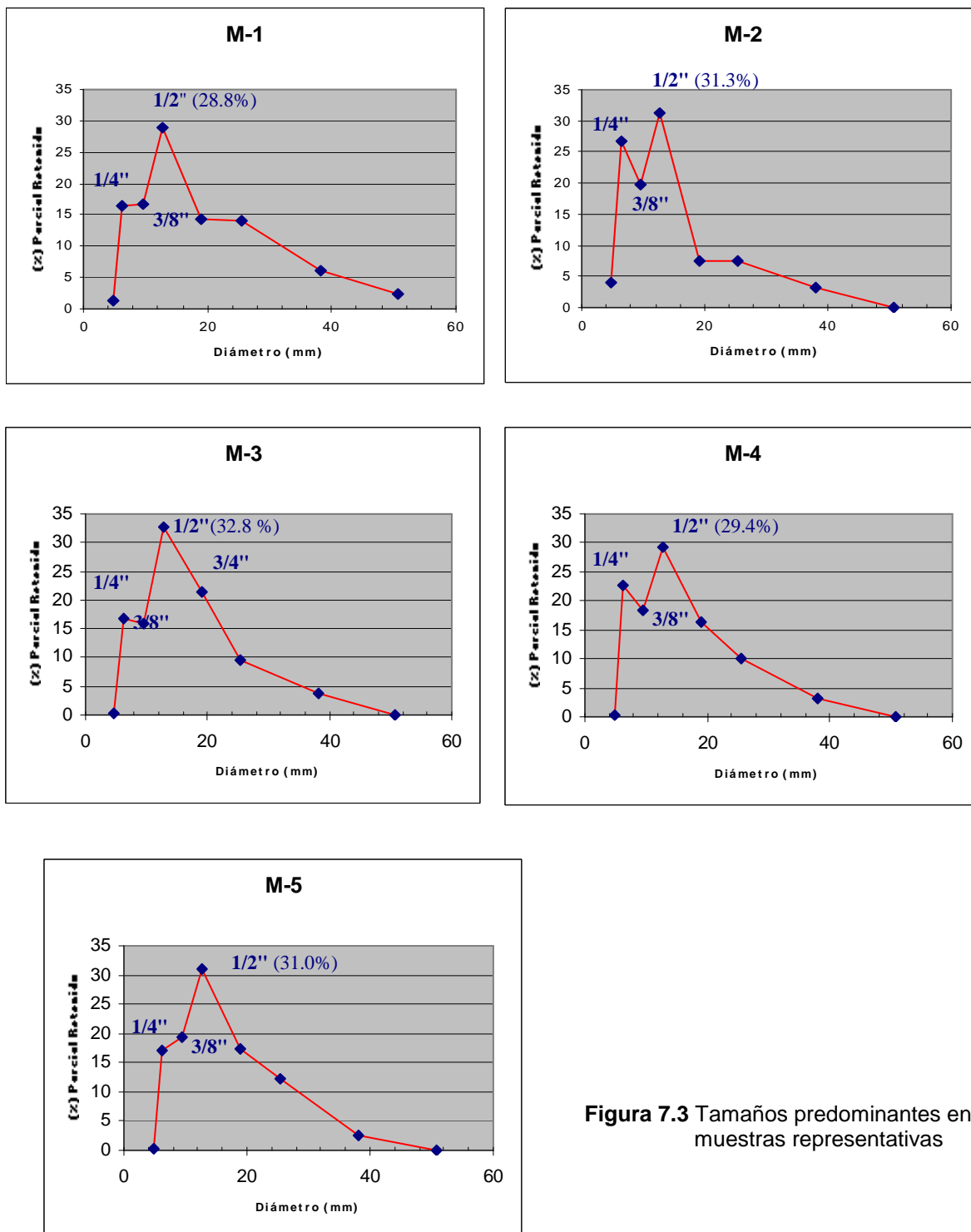


Figura 7.3 Tamaños predominantes en muestras representativas

En las Fotos 7.10 a 7.15 se muestra la distribución granulométrica de la grava modelo



FOTO 7.10 Grava 1"



FOTO 7.11 Grava 3/4"



FOTO 7.12 Grava 1/2"



FOTO 7.13 Grava 3/8"



FOTO 7.14
Grava retenida Tamiz N°4



FOTO 7.15
Arena pasa tamiz N°4 y Retiene N°10

7.2.5 EVALUACIÓN DE LAS GRAVAS DEL CONGLOMERADO DE LIMA

La ciudad de Lima está ubicada sobre el cono de deyección del río Rímac, constituido por un material de estructura lentiforme entrelazada de depósitos superpuestos de cantos rodados, arena, arcilla y limos.

Este depósito se ha conformado durante la última etapa del Pleistoceno formando un abanico fluvial que abarca desde Santa Clara al Este, Morro Solar al Sur y Bocanegra al Norte. La conformación del suelo de Lima es heterogéneo de acuerdo a su ubicación, en el centro de Lima el conglomerado es un suelo friccional de alta resistencia superior a los 4kg/cm^2 que se le asigna, pero en los alrededores de Lima como Canto Grande, La Molina y Jicamarca se tiene otros tipos de suelo de origen mayormente coluvial y aluvional con fragmentos angulosos y de baja compacidad, cuyo comportamiento es diferente al del centro de Lima. La Tabla 7.9 muestra las características del conglomerado de Lima según A.Martínez⁽¹⁾.

TABLA 7.9 CARACTERÍSTICAS DEL CONGLOMERADO DE LIMA SEGÚN A. MARTÍNEZ

ORIGEN	FLUVIO-ALUVIONAL
DEPÓSITO	Cono de Deyección río Rímac y Chillón
CARACTERÍSTICAS	Heterogéneo, errático y discontinuo
FORMADO	Lentes, capas de diferentes dimensiones y tipos de suelos
SUELO PREDOMINANTE	Conglomerado GW y GP con matriz SP, ML, CL (centro)
ML, CH, SP	Interdigitado y/o mezclado con GP ó GW encima del conglomerado como depósito de flujos de lodos aluvionales el río Rímac y/o encima o debajo de arenas finas SP (eólico) en el sur de Lima y su recorrido hasta las faldas del cerro El Agustino.
OH y Pt	Al Norte el río Chillón en su desembocadura existe una depresión de una antigua cubeta sedimentaria que superficialmente está cubierta por suelos finos no cohesivos de arenas finas y limos con oxidaciones de color amarillentas y rojizas como lentes. El espesor de los finos varía de 4m. a mas de 10m. incluyendo lentes de arcillas CH y CL y la materia orgánica formada por raíces de plantas de color negro intenso e impregnando a las arcillas con micro raíces, todo esto subyace a una grava con matriz arenosa pigmentada de color negro y amarillento.
Se le considera	Permeable y resistente en el centro, variable y errático en el resto de Lima y en la Costa Verde aún no conocida.
Mayores espesores	400m. en el valle Chillón, 200m. en el valle Rímac y 600m. en el Mar del Callao, según estudio geofísico.
Límite Inferior	Basamento rocoso (Cretáceo)
Zonas Críticas	Acantilados, La Punta, Chorrillos, Barranco, etc.

A.Martínez V. ⁽¹⁾

Carrillo (1979) considera una potencia del conglomerado que sobrepasa los 400m. en el centro de Lima; otros estudiosos como el profesor Martínez no concuerdan, pues menciona que hay prospecciones geofísicas que demuestran que es solo de 200m. y los 400m. corresponden al cono de deyección del río Chillón ⁽¹⁾.

A. Carrillo ⁽²⁾ establece los siguientes parámetros físicos y mecánicos:

TABLA 7.7 PARÁMETROS FÍSICOS Y MECÁNICOS DEL CONGLOMERADO DE LIMA SEGÚN A. CARRILLO GIL (1979)

Peso Unitario Seco	1.80 Ton/m ³ a 2.20 Ton/m ³
Densidad Relativa	70% a 95%
Diámetro efectivo (D10)	0.15 a 0.45
Coefficiente de Uniformidad (Cu)	10 a 130
Cohesión	0.40 kg/cm ² a 0.80 kg/cm ²
Ángulo de fricción interna	36° a 42°

A.Carrillo Gil ⁽²⁾

De acuerdo al autor, los promedios mostrados se obtuvieron en base a numerosos sondeos de exploración y muestras obtenidas a diferentes profundidades, al análisis de los ensayos de corte directo “in situ” efectuados por la UNI en 1972 y a ensayos de placa efectuados en la grava de Lima.

Sin embargo en la información no se menciona la profundidad de las muestras consideradas y no especifica si los parámetros obtenidos de la granulometría considera corrección para el material mayor de 3”.

En cuanto a los valores de cohesión, es importante establecer si hay otros factores que pueden influir significativamente, como el tipo de suelo, densificación de la matriz, cohesión aparente por la presencia de carbonato de calcio en la superficie de las gravas y formando la costra calcárea, como la observada en la matriz en la Costa Verde.

7.3 CARACTERÍSTICAS PETROGRÁFICAS DE LA GRAVA DE VENTANILLA

7.3.1 ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO DE LOS CANTOS RODADOS

La grava modelo es de origen aluvial y ha sufrido la acción erosiva del mar, el material es granular, suelto y sin cohesión, los cantos rodados presentan color gris oscuro a verdoso oscuro con presencia mayoritaria de clastos de andesita metavolcánica, granodiorita, granito, etc. Los aspectos geológicos de la grava de esta zona fue ampliamente estudiada por Francisco Porturas García en 1974, para su Tesis de Grado “Estudio Sedimentológico de la Playa Ventanilla”⁽³⁾.

De la evaluación petrográfica, se establece el predominio de las rocas volcánicas, luego se tiene rocas intrusivas. Se registró también un porcentaje considerable de rocas metamórficas.

Entre las rocas volcánicas se han distinguido las siguientes en orden de abundancia: andesita, brecha volcánica, dacita, riolita y traquita.

Entre las intrusivas tenemos granodiorita, diorita y granito.

Las metamórficas están representadas por la cuarcita y las sedimentarias incluyen la arenisca y caliza

7.3.1.1. LITOLOGÍA DE LOS CANTOS

Porturas⁽³⁾ efectuó un análisis minucioso de las gravas de esta zona, considerando la predominancia por rangos de tamaños.

En la Tabla 7.8 “Litología de los Cantos –Según F. Porturas” se presenta los resultados de su investigación, donde establece la participación de los tipos de rocas.

TABLA 7.11 LITOLOGÍA DE LOS CANTOS SEGÚN F. PORTURAS

ROCA	SIMBOLOGÍA	TIPO	(%)
Andesita	An	Ignea volcánica	33.31
Andesita epidotizada	An-ep	Ignea volcánica	4.72
Andesita Porfírica	An-p	Ignea volcánica	20.13
Brecha volcánica	Bv	Ignea volcánica	5.22
Riolita	R	Ignea volcánica	0.74
Traquita	Tr	Ignea volcánica	1.74
Dacita	Da	Ignea volcánica	1.99
Granito	G	Ignea intrusiva	4.47
Granodiorita	Gd	Ignea intrusiva	4.97
Diorita	Di	Ignea intrusiva	4.47
Cuarcita	C	Metamórfica	9.94
Arenisca	Ar	Sedimentaria	3.73
Caliza	Clt	Sedimentaria	2.48
Jaspe	J	Sedimentaria	1.99
TOTAL			100.0%

F.Porturas⁽³⁾

Como se observa se tiene una mayor proporción de cantos de rocas volcánicas, principalmente de la andesita silicificada, cuya presencia es del orden del 68%. Porturas encontró que esta preponderancia se mantiene en todos los tamaños y que las rocas intrusivas se hallan principalmente en las fracciones de tamaños inferiores.

Las presencia de rocas sedimentarias como la caliza y arenisca es mínima y se le halla en los tamaños inferiores. La caliza según Porturas, es un aporte local y la arenisca es material transportado.

7.3.1.2. MORFOMETRÍA

Para el estudio morfométrico se evaluó los índices de aplanamiento, de desgaste y de disimetría; el conocimiento de estos índices permite establecer el desgaste que ha sufrido el canto por el transporte hasta llegar al lugar de deposición y también por la acción erosiva del mar.

Para la evaluación de los índices morfométricos aplicando la metodología de A. Cailleux y J. Tricart ⁽⁴⁾, es necesario tomar cuatro medidas del canto: longitud, ancho, espesor y disimetría. En la Figura 7.4 se esquematiza estos parámetros.

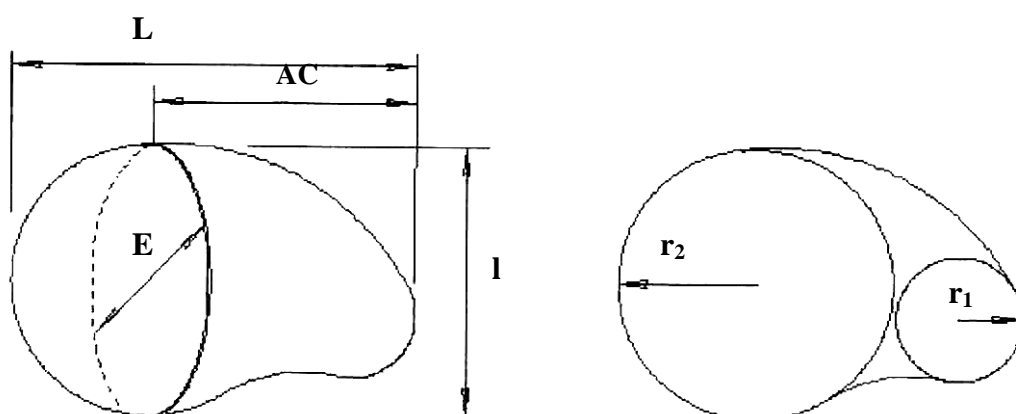


Figura N°7.3 Parámetros morfométricos de un canto.

PARÁMETROS

L = Longitud, distancia entre los dos puntos mas distantes.

l = Ancho, mayor dimensión en el plano perpendicular a L.

E = Espesor, mayor dimensión en una dirección perpendicular al plano Ll, plano de aplanamiento.

AC = Segmento máximo del eje L en que queda dividido por el eje l, esta distancia mide la asimetría del canto.

r₁, r₂ = menor y mayor radio de curvatura en el plano de aplanamiento

$$\text{Índice de aplanamiento} = (L+l)/2E = IA$$

$$\text{Índice de desgaste} = 2r_1*1000/L = ID$$

$$\text{Índice de disimetría} = (AC/L)*1000 = Idi$$

Para la determinación de los índices se tomó una muestra representativa de la grava modelo, se separó por tamaños y se procedió a medir los parámetros

necesarios de cada uno de los cantos. De esta forma se calculó los parámetros morfométricos por tamaños y luego se promedió para la grava global. En la Tabla 7.12 se presentan los resultados obtenidos:

TABLA 7.12 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

TAMAÑO	ID	IA	Id i
Retenido 1"	0.3592	1.9034	658.2
Retenido ¾"	0.3712	2.2281	603.0
Retenido ½"	0.3826	2.1334	616.6
Retenido 3/8"	0.3666	2.0121	632.6
Retenido ¼"	0.3463	1.9571	643.1
Retenido N°4	0.3970	2.0704	619.1
PROMEDIO	0.3705	2.0508	628.8

El índice de aplanamiento (IA) varía de 1.90 a 2.23 valores altos que indican cantos aplanados.

El índice de desgaste (ID) indica que los cantos han sido trabajados por el transporte y por la acción marina, se tiene un promedio de 0.3705, valor considerable si se sabe que el mayor valor igual a 1 corresponde a una esfera.

El índice de disimetría promedio (Idi) es de 628.8, algo mayor de 500 que sería el ideal para un canto simétrico, pero está lejos de 1000 valor que se obtendría para un canto de forma totalmente asimétrica.

Los valores obtenidos de índice de aplanamiento e índice de disimetría, indican cantos aplanados no por desgaste sino por su formación de rocas ígneas volcánicas con pseudo estratificación y derrames volcánicos, principalmente andesitas que originalmente se hallan lejos y sus fragmentos se moldean por los bordes en su recorrido por el valle del río Chillón hasta el mar. Luego son transportados de la boca del río hacia las playas de Ventanilla y posiblemente sufran una erosión final por las olas del mar cuando están depositados en la playa.

7.3.2 ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LA GRAVA MODELO

Se efectuó análisis petrográficos de las gravas predominantes en las muestras tomadas de la grava modelo.

Se seleccionó las gravas de mayor presencia y se agrupó en tres muestras de características similares, lográndose identificar la roca madre y los minerales esenciales con ayuda de una lupa.

En la Tabla 7.13 se resume las propiedades identificadas, los ensayos realizados se presentan en el Anexo I “Ensayos de Laboratorio de la Grava Modelo”

En las Fotos 7.16 a 7.18 se observa las muestras de gravas analizadas.

TABLA 7.13 PETROGRAFÍA DE LA GRAVA MODELO

ROCA MADRE	Andesita porfirítica	Andesita porfirítica Silicificada	Cuarcita
Muestra	Cantos rodados M-2	Cantos rodados M-1	Cantos rodados M-3
Textura	Porfirítica	Porfirítica	Porfirítica
Origen	Roca Hipabisal	Roca Hipabisal	Roca metamórfica
Color	Gris oscuro a marrón con tinte verdoso	Gris claro con tinte verdoso	Gris parduzco
Minerales Esenciales	Plagioclasa	Plagioclasa	Cuarzo
Minerales Accesorios	No se observa	Hornblenda y Cuarzo	No se observa
Minerales Secundarios	No se observa	No se observa	No se observa
Grado Meteorización	Estado fresco	Estado fresco	Moderadamente meteorizado



FOTO 7.16
Cantos de andesita porfirítica silicificada, la de mayor proporción.



FOTO 7.17
Gravas de andesita porfirítica silicificada.



FOTO 7.18
Cantos de cuarcita, roca metamórfica de mayor presencia luego de la andesita silicificada.

7.3.3 DUREZA DE LOS CANTOS

Se evaluó la resistencia al desgaste mecánico y químico de los cantos mediante los ensayos de abrasión por la Máquina de Los Angeles y Durabilidad con Sulfato de Sodio. Los resultados obtenidos son los siguientes:

TABLA 7.14 RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS CANTOS

ENSAYO	NORMA	AGRESIÓN	Desgaste (%)
Abrasión	ASTM C 131	Mecánica	6,50
Durabilidad	ASTM C 88	Química	0,41

Los bajos resultados de desgaste obtenidos en ambos casos, nos permiten establecer que la grava tiene una alta resistencia ante la agresión mecánica y química.

Para el caso de uso como agregado para concreto y afirmado los resultados se hallan muy por debajo de los límites máximos permisibles por las especificaciones.

7.3.4 ANÁLISIS MINERALÓGICO DE LA MATRIZ

La matriz arenosa de la grava modelo fue ampliamente estudiada por Francisco Porturas⁽³⁾ con motivo de su investigación de los sedimentos de la playa Ventanilla, combinando los métodos microscópico, químico cuantitativo y espectrométrico, llegando a las siguientes conclusiones:

- Hay predominio del cuarzo en los tipos hialino, ferruginoso y lechoso, seguidos de las plagioclasas, epidota, granate, magnetita y otros
- La presencia más o menos proporcional de minerales claros y oscuros infieren a la arena una coloración gris clara.
- El análisis químico cuantitativo identifica al Calcio como elemento constante debido a la presencia de fragmentos calcáreos como conchuelas y calcita. Identifica también el óxido de calcio y el fierro
- Observa que en las fracciones más finas predomina la magnetita, por el predominio de minerales claros deduce que proceden de rocas ígneas ácidas teniendo como fuentes a granitos, granodioritas, riolitas, tonalitas, dioritas, dacitas, andesitas y en menor proporción rocas metamórficas.

- Con el estudio espectrométrico establece cuatro elementos predominantes: Si, Al, Mg y Fe. Explica que esta presencia mayoritaria se debe a que los elementos constituyentes de las arenas son los silicatos como plagioclasas, ortosa, hornblenda, cuarzo y óxido de Fe.

7.3.5 CONTENIDO DE SALES

Como es obvio, el material de la cantera tiene alto contenido de sales solubles dada su cercanía al mar. Las sales se activan en presencia del agua y pueden ser perjudiciales para las estructuras que empleen éste material, debiendo tomar las previsiones del caso.

Los elementos químicos a evaluar son los sulfatos y cloruros por su acción química sobre el concreto y acero de refuerzo, en el caso de uso en concreto armado, así como las sales solubles totales por causar pérdida de resistencia por lixiviación.

Los resultados obtenidos en muestras representativas de la grava y la arena se presentan en la Tabla 7.15

TABLA 7.15 CONTENIDO DE SALES

Muestra	VALORES OBTENIDOS					
	Sales Solubles Totales		Sulfatos		Cloruros	
	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)
Grava.	6055.00	0.605500	1340,06	0.134006	1588,93	0.158893
Arena	33897.00	3.389700	8861.98	0.886198	9224.05	0.922405

7.4 RESISTENCIA MECÁNICA DE LA MATRIZ

Para la evaluación de la resistencia mecánica de la matriz, fue necesario establecer el peso unitario de los especímenes de ensayo. Para mayor precisión se programó la medida de densidades in situ de la grava natural y aplicar correcciones para determinar el peso unitario de la matriz.

7.4.1 DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO IN SITU DE LA GRAVA POR EL MÉTODO DEL CONO Y LA ARENA

Se efectuó determinaciones de las densidades in situ de la grava en tres lugares de la cantera, se ubicó los puntos de prueba en lugares donde se observó variación de la densidad relativa; la profundidad de ensayo fue escasa, solo eliminado el material disturbado de la superficie.

La metodología empleada es la del cono y la arena según la norma ASTM D1556, se utilizó un cono metálico de 12 pulgadas especial para el uso en gravas, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 7.16

TABLA 7.16 DENSIDAD “IN SITU” ASTM D1556 - CONO 12”

DENSIDAD N°	D-1	D-2	D-3
Profundidad de prueba (m.)	0,50	0,50	0,20
Densidad del suelo húmedo (gr/cm3)	2,231	2,127	1,974
Densidad del suelo seco (gr/cm3)	2,220	2,116	1,966
Contenido de humedad del suelo (%)	0,5	0,5	0,4

Tal como puede observarse, el punto D-1 es el más denso y el D-3 el de menor densidad.

Al analizar la granulometría de la muestras se observó que el punto D-3 tenía cantos de mayor tamaño y además la matriz arenosa era escasa representando el 11% del total, se deduce entonces una relación de vacíos alta y en consecuencia un peso unitario bajo.

En el caso de las muestras D-1 y D-2 se tienen proporciones similares de grava y matriz, pero la D-2 presenta mayores tamaños máximos de cantos que incrementan los vacíos.

En las Fotos 7.19 a 7.22 se puede observar la granulometría de las muestras recuperadas de los puntos de ensayo.



FOTO 7.19
Muestra de la prueba de densidad D-1, con mayor matriz y granulometría continua.



FOTO 7.20
Muestra de la prueba de densidad D-2



FOTO 7.21
Muestra de la prueba de densidad D-3, presenta escaso contenido de matriz arenosa



FOTO 7.22
Vista de las tres muestras en conjunto, la muestra D-1 presento mayor densidad, seguida de la muestra D-2, la muestra D-3 fue la más suelta. La variación de densidades se debe a su granulometría.

7.4.2 DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DE LA FRACCIÓN FINA POR CORRECCIÓN.

La determinación de densidades se complementó con el análisis granulométrico de las muestras y determinación del peso específico de sólidos de la fracción gruesa.

Con la información recabada en campo y laboratorio se determinó luego la densidad correspondiente a la matriz dentro del conjunto, empleando la expresión propuesta por la norma ASTM D4318 y poder evaluar su validez.

La expresión correspondiente para la determinación del peso unitario de la matriz o fracción fina con la norma ASTM D4718 es la siguiente:

$$\gamma_F = \frac{\gamma_T \gamma_G \gamma_w \% F}{(100 \gamma_G \gamma_w - \gamma_T \% G)}$$

Donde:

- γ_T = Peso unitario seco del material total
- γ_F = Peso unitario seco de la fracción fina
- γ_G = Gravedad Específica Bulk
- γ_w = Peso unitario del agua
- $\% F$ = Porcentaje en peso de la fracción fina
- $\% G$ = Porcentaje en peso de la fracción gruesa

En el cuadro siguiente se presentan los resultados obtenidos.

TABLA 7.17 PESO UNITARIO CORREGIDO PARA LA FRACCIÓN FINA

DENSIDAD	D-1	D-2	D-3
Peso Unitario Seco Total (gr/cm ³)	2.220	2.116	1.966
Fracción Gruesa ó Grava (%)	78.5	80.0	89.0
Fracción Fina ó Matriz (%)	21.5	20.0	11.0
Gravedad Específica Fracción Gruesa	2.71	2.70	2.70
Peso Unitario Seco Fracción Fina (gr/cm ³)	1.337	1.134	0.614 (*)

(*) Resultado no válido

Con respecto a los resultados obtenidos, es conveniente señalar que:

- Los valores obtenidos para el peso unitario total de la grava, son coherentes para la densificación observada in situ en los puntos de prueba, la distribución granulométrica y proporción de la matriz en el conglomerado.
- La proporción de la fracción fina o matriz en el conjunto tiene influencia en la obtención de su peso unitario, tal como se observa para la muestra D-3; el predominio de la fracción gruesa es determinante en el valor obtenido de 0.614 gr/cm³. Este resultado no es válido para ensayos especiales en la matriz.
- La aplicación de la norma ASTM D4718 para la obtención de pesos unitarios de la fracción fina, está limitada para muestras con un porcentaje mínimo de fracción fina en el conjunto.
- Debido a los valores bajos de los pesos unitarios de la matriz, caso de las muestras D-2 y D-3, se optó por tomar los valores obtenidos con la Norma ASTM C-29 para la determinación de los pesos unitarios del agregado fino.

7.4.3 DETERMINACIÓN DE ϕ Y C CON PRUEBA DE CORTE DIRECTO DE LA MATRIZ.

Se efectuó ensayos de corte directo de laboratorio en la matriz, los especímenes se remoldearon a las densidades secas promedios para los estados suelto, compacto y medio que se indica en el Item 7.2.2. de este capítulo, los cuales son:

Peso unitario suelto	:	1.267 gr/cm ³
Peso unitario compacto	:	1.546 gr/cm ³
Peso unitario promedio	:	1.407 gr/cm ³

Los resultados de los ensayos de corte directo se presentan en la sección Anexo 7.1 “Ensayos de Laboratorio en la Grava Modelo”, en la Tabla 7.18 se presenta el resumen de los tres ensayos efectuados.

TABLA 7.18 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN LA MATRIZ

ENSAYO	Densidad seca inicial (gr/cm ³)	Humedad inicial (%)	Densidad húmeda inicial (gr/cm ³)	ϕ (°)	C (kg/cm ²)
1	1.267	4.5	1.324	29.2	0.03
2	1.407	4.2	1.466	29.1	0.02
3	1.546	4.4	1.614	30.6	0.01

Los valores obtenidos en cada caso, son aceptables para las condiciones de densificación.

7.4.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA Y LIMITACIONES DE LOS EQUIPOS DISPONIBLES

Los ensayos de resistencia mecánica efectuados en la matriz del conglomerado refleja su comportamiento como arena fina, sin embargo en el material global la matriz representa un porcentaje reducido.

La distribución granulométrica de las muestras de grava ensayadas en esta investigación presentan tamaños máximos de 1", 1 ½" y 2"; el ensayo de las muestras con su granulometría real requerirá equipos de dimensiones apropiadas.

La norma ASTM D3080 que regula el procedimiento del ensayo de corte directo de laboratorio, establece que el diámetro mínimo de la muestra sea de 5mm pero no menor que 10 veces el tamaño máximo de partícula, es decir de 50.8 cm.; el espesor de la muestra debe ser como mínimo 12mm pero no menor que seis veces el tamaño máximo de partícula es decir 15.2 cm. La relación diámetro espesor mínimo debe ser de 2:1.

Las normas ASTM D2850, D4767 para pruebas triaxiales, se establece el uso de especímenes cilíndricos de diámetro mínimo de 33mm y una relación altura/diámetro promedio entre 2 y 2.5, además el tamaño máximo de partícula deberá ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen. De acuerdo a esta última relación, considerando un tamaño máximo de 2" ó 5.08 cm se requiere un espécimen de diámetro igual a 30.5 cm y una altura de 61 cm.

En la Tabla 7.19 se resume las dimensiones mínimas de los equipos necesarios para el ensayo con la granulometría real de la grava modelo considerando un tamaño máximo de partícula de 2 pulgadas.

TABLA 7.19 DIMENSIONES MÍNIMAS DE EQUIPOS PARA TAMAÑO MÁXIMO 2”

EQUIPO	ESPECIMEN	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Relación
Corte directo	Circular/cuadrado	50.8	15.2	Diámetro/altura mínimo 2:1
Triaxial	cilíndrico	30.5	61.0	Altura/diámetro 2 a 2.5

Como se observa, tenemos limitación en cuanto al tamaño de los equipos disponibles, los cuales son apropiados para ensayos de arena.

7.5 CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

- Los ensayos fueron efectuados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, se procesaron muestras representativas de la grava modelo tomadas de diversas zonas.
- Los ensayos estándar incluyeron ensayos de granulometría, peso unitario y gravedades específicas. Se efectuó análisis petrográficos macroscópicos en los cantos de mayor presencia en la grava modelo.
- En los ensayos de pesos unitarios se obtuvo para el material global valores promedios de $1,909 \text{ kg/m}^3$ para el estado compacto o varillado y de $1,841 \text{ kg/m}^3$ para el estado suelto. Estos valores promedios varían en el caso que la granulometría de la grava se reduce a tamaños máximos menores.
- La gravedad específica de la grava retenida en el tamíz N° 4 fluctúa entre 2.712 y 2.720, lo que confirma la naturaleza ígnea de la roca madre.

- En el análisis granulométrico se establece que las muestras son gravas pobremente gradadas con mayor porcentaje de material grueso retenido hasta el tamíz N°4 en el orden de 91% a 96%. La fracción fina menor que el tamíz N°4 es reducida y fluctúa en el orden de 4% a 9% en promedio.
- El tamaño de grava que predomina en las muestras es la grava de ½” la misma que representa aproximadamente el 30% del material. Los otros tamaños que siguen son las gravas de ¼” y la 3/8”.
- En los análisis petrográficos efectuados se establece que la mayor proporción de los cantos rodados proceden de la roca ígnea Andesita en sus variaciones de Andesita Porfirítica y Andesita Porfirítica Silicificada. Luego continúan en proporción los cantos rodados de la roca metamórfica Cuarzita. Esta tendencia coincide con el estudio de Porturas (1974).
- Los cantos de la grava de Ventanilla son muy resistentes al desgaste mecánico por abrasión y agresión química.
- En la mineralogía de la matriz arenosa se establece la presencia mayoritaria del cuarzo en los tipos hialino, ferruginoso y lechoso, seguidos de las plagioclasas, epidota, granate, magnetita y otros. Como elementos, se establece el predominio de: Si, Al, Mg y Fe.
- En los ensayos de determinación de la densidad in situ por el método del cono y la arena, se obtuvieron valores de densidad seca de 2.220, 2.116 y 1.966 gr/cm³ en los tres puntos de ensayo, los cuales son coherentes con el estado de densificación observado in situ y la distribución granulométrica del conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “Practica de Campo en la Costa Verde” A.Martínez V. Curso Nuevas Tendencias de la Mecánica de Suelos del Siglo XXI, Instituto de Desarrollo e Investigación del Perú, diciembre 2000
- (2) “Estabilidad y Resistencia del Conglomerado de Lima” A. Carrillo Gil, revista El Ingeniero Civil, Vol I, Lima 1979
- (3) “Estudio Sedimentológico de la Playa Ventanilla”, Francisco Porturas G., Tesis de Grado UNMSM –Dpto.de Geología, 1974.
- (4) “INITIATION A L’ÉTUDE DES SABLES ET DES GALETS”, A.Cailleux-J.Tricat, Place De La Sorbonne Paris 1959.

CAPÍTULO VIII

RESULTADOS EXPERIMENTALES INFLUENCIA DE LA MATRÍZ EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS

8.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos para estudiar la influencia de la matriz en las propiedades físico-mecánicas de la grava, considerando esencialmente el tipo y proporción de matriz.

Los materiales seleccionados como matrices fueron arenas, limo y arcilla.

El criterio seguido en las experiencias fue mezclar la grava modelo con la matriz de tal forma que ésta se ubique en los vacíos de la grava; en consecuencia, se reduce la relación de vacíos de acuerdo a la proporción empleada y aumenta el peso volumétrico de la mezcla grava-matriz.

Se utilizó el equipo de corte directo del Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos de la UNI, que fue modificado en altura para permitir ensayos con la grava seleccionada cumpliendo la normatividad.

En las Fotos 8.1 a 8.3 se muestra el equipo utilizado.



FOTO 8.1
Caja de corte con detalle de las partes fija y móvil.

FOTO 8.2
Volumen de la caja de corte, permite el remoldeo de especímenes de 3.75cm. de altura y 6.36cm de diámetro.



FOTO 8.3
Equipo de corte directo con sistema de aplicación de esfuerzos horizontal y normal.

8.2 PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LA GRAVA MODELO

Las propiedades físico mecánicas originales de la grava modelo de Ventanilla fue reformulada para una granulometría reducida, en concordancia con el equipo a utilizar en los ensayos de corte.

Se reformuló el tamaño máximo de la grava y por consiguiente el peso unitario.

8.2.1 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS REQUERIDAS

La granulometría se limitó en base a las dimensiones del equipo de corte directo disponible y al cumplimiento de las siguientes especificaciones de la Norma ASTM D3080 ⁽¹⁾ :

- El diámetro mínimo del espécimen de ensayo debe ser 2 pulgadas (50mm.) ó 10 veces el tamaño máximo de la partícula, el que sea mayor.
- El espesor mínimo del espécimen de ensayo debe ser 0.5 pulgadas (12mm) pero no menor que seis veces el tamaño máximo de la partícula.
- La relación mínima de diámetro a espesor debe ser de 2:1

El equipo a usar permite el ensayo en especímenes de 63.6 mm. de diámetro y 37.5mm de altura, el tamaño máximo del espécimen debe cumplir entonces que:

Diámetro espécimen ≥ 10 T.M., es decir T.M. ≤ 6.4 mm

Espesor espécimen ≥ 6 T.M. , es decir T.M. ≤ 6.3 mm

La condición es entonces T.M. ≤ 6.3 mm, con lo cual se define la granulometría de la grava a utilizar:

Pasa tamiz ¼" (6.35mm)

retiene tamiz N°4.

Aún cuando las dimensiones del equipo siguen siendo ajustadas, se considera aceptable el cumplimiento de la normatividad para el tamaño seleccionado.

En la Foto 8.4 se muestra la grava con la granulometría seleccionada para los ensayos de corte directo.



FOTO 8.4
Grava de granulometría seleccionada, menor de $\frac{1}{4}$ de pulgada.

8.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA GRAVA SELECCIONADA

En laboratorio se determinó la gravedad específica y el peso unitario en estado suelto y compacto, se seleccionó un peso unitario promedio entre ambos estados para el remoldeo de la grava.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Muestra grava	:	$< \frac{1}{4}$ "
Peso Unitario suelto seco (gr/cm^3)	:	1.626
Peso unitario compacto seco (gr/cm^3)	:	1.686
Peso unitario promedio (gr/cm^3)	:	1.660
Gravedad específica	:	2.70

El volumen del equipo disponible constituye el volumen de masa en base al cual se ha determinado la fase sólida y de vacíos correspondiente.

En las Figuras 8.1 y 8.2, se muestran esquemas de la grava en el estado inicial y con matriz, los vacíos se irán reemplazando progresivamente con las matrices seleccionadas para estudiar el comportamiento de su resistencia al corte para diferentes porcentajes y tipos de matriz.

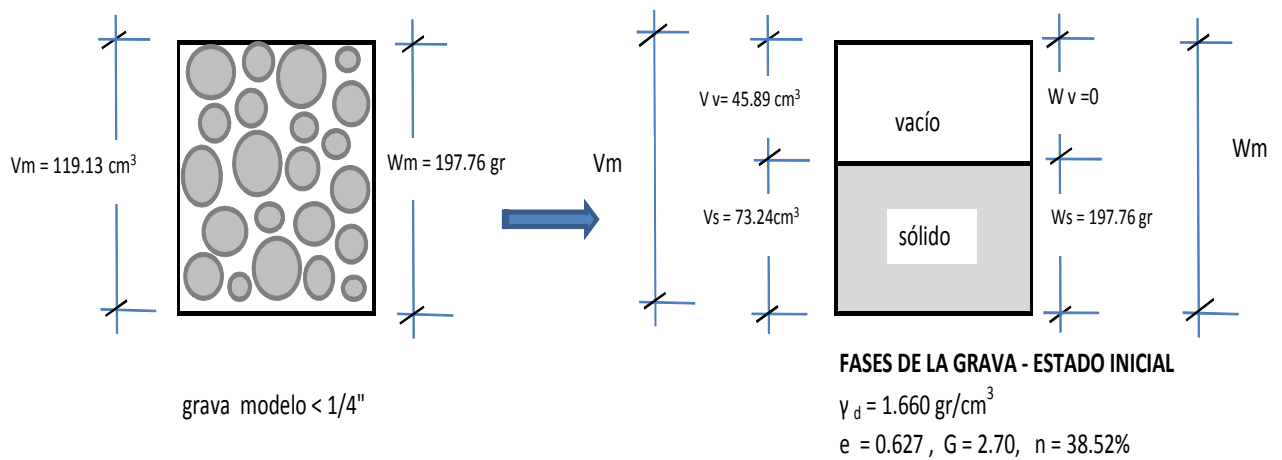


FIGURA 8.1 FASES DE LA GRAVA MODELO

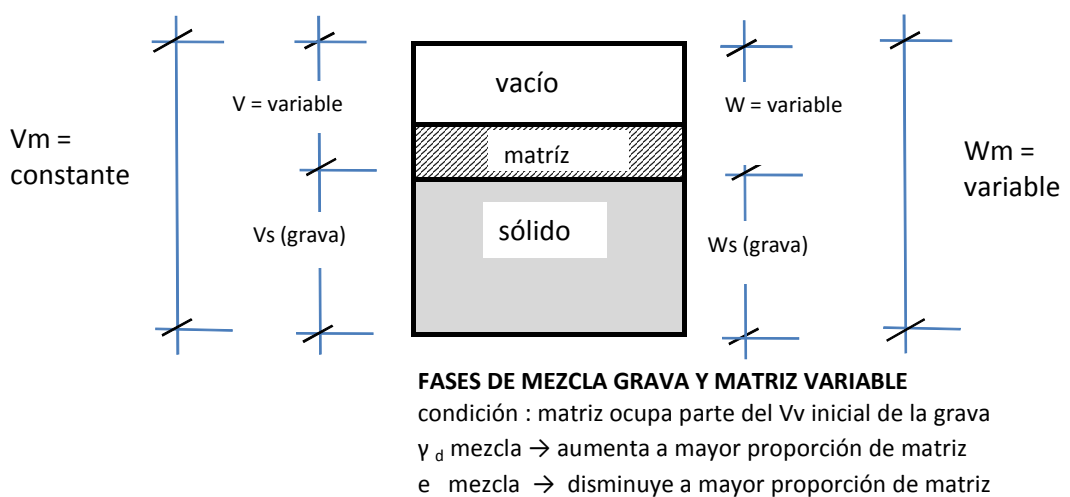


FIGURA 8.2 REEMPLAZO DE VACIOS EN GRAVA MODELO POR MATRIZ

8.2.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA GRAVA SIN MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes remoldeados en condición seca y saturada.

Los resultados se muestran en la Tabla 8.1

TABLA 8.1 CORTE DIRECTO EN GRAVA SIN MATRIZ

ESTADO	Densidad seca inicial (gr/cm ³)	Humedad		ϕ (°)	C (kg/cm ²)
		inicial (%)	final (%)		
Seco	1.660	0.0	0.0	39.0	0.10
Saturado	1.660	0.0	2.0	46.5	0.00

En la sección Anexo II.1 “Ensayos en Grava < ¼ ” se presentan los informes de los ensayos de laboratorio, donde puede consultarse los detalles de los ensayos de caracterización física y de corte directo.

En las Fotos 8.5 a 8.9, se muestran algunas vistas de los ensayos de corte directo.



FOTOS 8.5 y 8.6

Remoldeo de especímenes para ensayo, grava sin matriz.



FOTO 8.7
Muestra ensayada en estado seco, obsérvese el desplazamiento horizontal de la parte superior de la caja.



FOTO 8.8
Muestra luego del ensayo en estado seco.



FOTO 8.9
Muestra luego del ensayo en estado saturado.

8.3 MATRIZ ARENOSA Y VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE FINOS

Se seleccionó 03 muestras inalteradas clasificadas como arenas limosas y arena limosa pobremente gradada, las muestras fueron facilitadas por el Laboratorio N°2 de Mecánica de Suelos de la UNI en cantidad suficiente para la investigación.

Con cada una de ellas se efectuó un grupo de ensayos de resistencia al corte en mezcla con la grava de granulometría seleccionada.

En cada ensayo se fue variando la proporción de matriz de tal forma que ocupan porcentajes variables del volumen de vacíos inicial de la grava modelo.

A continuación se detalla las características de cada matriz y los resultados obtenidos en los ensayos de corte.

8.3.1 MATRÍZ M.A 1

8.3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES

Procedencia	:	Madre de Dios
Referencia	:	Corredor Vial Interoceánico Sur Tramo III - Km. 332+600
Peso Unitario húmedo (gr/cm ³)	:	1.922
Peso Unitario seco (gr/cm ³)	:	1.789
Humedad Natural (%)	:	7.43
Gravedad Específica	:	2.755
Límite Líquido (%)	:	NP
Índice Plástico (%)	:	NP

8.3.1.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Del análisis granulométrico por tamizado se tiene los siguientes resultados:

Tamaño máximo	:	0.426 mm (Tamíz N°40)
Pasa tamíz N°200	:	17.8 %
Clasificación	:	SM
Denominación	:	Arena limosa

8.3.1.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes inalterados en condición saturada.

Los resultados obtenidos para esfuerzos cortantes máximos son los siguientes:

Angulo de fricción interna, ϕ :	33.6°
Cohesión (Kg/cm ²) :	0.09

8.3.1.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRIZ

En el laboratorio de Rayos X del Instituto Geológico y Minero (INGEMMET) se efectuó el análisis de difracción de Rayos X con interpretación, identificándose los siguientes minerales:

Cuarzo	:	73.47 %
Illita	:	10.99%
Clorita	:	7.57 %
Albita	:	4.74 %
Microlina	:	1.78%
Andaluisita	:	0.61 %
Magnesiohorblenda	:	0.46%
Halita	:	0.38%

El resultado de este análisis se considera representativo para las tres matrices arenosas empleadas que son de la misma procedencia, tal como puede observarse en los difractogramas.

La composición mineralógica de la matriz de una grava es de importancia en el estudio de las gravas colapsables. En la presente investigación este dato es referencial y los minerales son típicos de las arenas.

En la sección Anexo II.2 “Ensayos en Matriz Arenosa M.A.1” se presentan los informes de los ensayos de laboratorio, donde puede consultarse los detalles.

8.3.1.5 PROPORCIÓN DE MATRIZ EN LA MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE VACÍOS INICIAL DE LA GRAVA

En el Tabla 8.2, se presentan los cálculos efectuados para determinar los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, con el criterio que la matriz ocupe progresivamente el volumen de vacíos de la grava modelo, obteniéndose pesos unitarios mayores a mayor proporción de matriz.

TABLA Nº 8.2 VARIACIÓN DE MATRIZ EN LA COMBINACIÓN GRAVA-MATRIZ M.A.1

PROPORCIONES DE MEZCLA : GRAVA + MATRIZ											MATRIZ: M.A. 1							
Vv de grava a reemplazar por Vm de matriz	MATRIZ Vmasa	GRAVA			MATRIZ			peso seco total		G	Peso unitario seco (gr/cm3)	MEZCLA			e	n(%)	Reducción efectiva del Vv	
		gr.	%	G	gr.	%	G	gr.	%			Vm cm3	Vv cm3	Vs cm3			ΔVv (cm3)	%
0	0	197,76	100,00	2,700	0	0	0	197,76	100,0	2,700	1,660	119,130	45,890	73,240	0,627	38,52	0,00	0,00
5	2,295	197,76	97,97	2,700	4,10	2,03	2,755	201,86	100,0	2,701	1,694	119,130	44,396	74,734	0,594	37,27	1,49	3,26
10	4,589	197,76	96,01	2,700	8,21	3,99	2,755	205,97	100,0	2,702	1,729	119,130	42,906	76,224	0,563	36,02	2,98	6,50
15	6,884	197,76	94,14	2,700	12,31	5,86	2,755	210,07	100,0	2,703	1,763	119,130	41,416	77,714	0,533	34,77	4,47	9,75
20	9,178	197,76	92,33	2,700	16,42	7,67	2,755	214,18	100,0	2,704	1,798	119,130	39,926	79,204	0,504	33,51	5,96	13,00
25	11,473	197,76	90,60	2,700	20,52	9,40	2,755	218,28	100,0	2,705	1,832	119,130	38,436	80,694	0,476	32,26	7,45	16,24
30	13,767	197,76	88,93	2,700	24,63	11,07	2,755	222,39	100,0	2,706	1,867	119,130	36,946	82,184	0,450	31,01	8,94	19,49
35	16,062	197,76	87,31	2,700	28,73	12,69	2,755	226,49	100,0	2,707	1,901	119,130	35,456	83,674	0,424	29,76	10,43	22,74
40	18,356	197,76	85,76	2,700	32,84	14,24	2,755	230,60	100,0	2,708	1,936	119,130	33,966	85,164	0,399	28,51	11,92	25,98
45	20,651	197,76	84,26	2,700	36,94	15,74	2,755	234,70	100,0	2,709	1,970	119,130	32,476	86,654	0,375	27,26	13,41	29,23
50	22,945	197,76	82,81	2,700	41,05	17,19	2,755	238,81	100,0	2,709	2,005	119,130	30,986	88,144	0,352	26,01	14,90	32,48
55	25,240	197,76	81,41	2,700	45,15	18,59	2,755	242,91	100,0	2,710	2,039	119,130	29,496	89,634	0,329	24,76	16,39	35,72
60	27,534	197,76	80,06	2,700	49,26	19,94	2,755	247,02	100,0	2,711	2,074	119,130	28,006	91,124	0,307	23,51	17,88	38,97
65	29,829	197,76	78,75	2,700	53,36	21,25	2,755	251,12	100,0	2,712	2,108	119,130	26,516	92,614	0,286	22,26	19,37	42,22
70	32,123	197,76	77,48	2,700	57,47	22,52	2,755	255,23	100,0	2,712	2,142	119,130	25,026	94,104	0,266	21,01	20,86	45,47
75	34,418	197,76	76,26	2,700	61,57	23,74	2,755	259,33	100,0	2,713	2,177	119,130	23,536	95,594	0,246	19,76	22,35	48,71
80	36,712	197,76	75,07	2,700	65,68	24,93	2,755	263,44	100,0	2,714	2,211	119,130	22,046	97,084	0,227	18,51	23,84	51,96
85	39,007	197,76	73,92	2,700	69,78	26,08	2,755	267,54	100,0	2,714	2,246	119,130	20,556	98,574	0,209	17,26	25,33	55,21
90	41,301	197,76	72,80	2,700	73,89	27,20	2,755	271,65	100,0	2,715	2,280	119,130	19,066	100,064	0,191	16,00	26,82	58,45
95	43,596	197,76	71,72	2,700	77,99	28,28	2,755	275,75	100,0	2,715	2,315	119,130	17,576	101,554	0,173	14,75	28,31	61,70
100	45,890	197,76	70,66	2,700	82,10	29,34	2,755	279,86	100,0	2,716	2,349	119,130	16,086	103,044	0,156	13,50	29,80	64,95

En el cuadro anterior:

Vv = volumen de vacíos
 Vs = volumen de sólidos
 Vm = volumen de masa

e = relación de vacíos
 n = porosidad

Para los ensayos se seleccionó los especímenes factibles de remoldear en el equipo con pesos unitarios menores de 2.00 gr/cm³, que corresponden a las proporciones menores de matriz.

Las principales características de los especímenes considerados para los ensayos de resistencia al corte como son los pesos unitarios y la proporción en peso y volumen de ambas fracciones, se presentan en la Tabla 8.3

TABLA 8.3 ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE CON MATRIZ M.A. 1

ENSAYO	GRAVA		MATRIZ M.A.1		GRAVA + MATRIZ M.A.1			
	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vv grava ocupado por Vm matriz (%)	Reducción efectiva Vv inicial grava (%)
1	197,76	97,97	4,10	2,03	201,86	1,694	5	3,26
2	197,76	96,01	8,21	3,99	205,97	1,729	10	6,50
3	197,76	94,14	12,32	5,86	210,08	1,763	15	9,75
4	197,76	92,33	16,42	7,67	214,18	1,798	20	13,00
5	197,76	90,60	20,52	9,40	218,28	1,832	25	16,94
6	197,76	88,92	24,63	11,08	222,39	1,867	30	19,49
7	197,76	87,32	28,73	12,68	226,49	1,901	35	22,74
8	197,76	84,26	36,94	15,74	234,70	1,970	45	25,98

8.3.1.6 RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRIZ

A continuación se presenta el resumen de los resultados de los 08 ensayos de corte directo efectuados con la matriz M.A. 1.

En la sección Anexo II.3 “Ensayos en Mezcla Grava y Matriz M.A.1” se detallan los resultados de los ensayos de laboratorio.

a) ENSAYO 1 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A. 1	SM	97,97%	2,03%	ocupa 5% del Vv grava modelo		ocupa 3.26% del Vv grava modelo	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES								
ESPECÍMEN N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5950		1,0588		1,5882	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,711	1,755	1,711	1,768	1,711	1,769
Densidad seca (gr/cm ³)			1,694	1,700	1,694	1,714	1,694	1,719
Contenido de humedad(%)			1,0	3,2	1,0	3,1	1,0	2,9
Angulo de friccion interna , ϕ			44,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,09					

b) ENSAYO 2 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A. 1	SM	96,01%	3,99%	ocupa 10% del Vv grava modelo		ocupa 6,50% del Vv grava modelo	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES								
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,4769		0,9845		1,3557	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,746	1,809	1,746	1,815	1,746	1,821
Densidad seca (gr/cm ³)			1,729	1,740	1,729	1,747	1,729	1,754
Contenido de humedad(%)			1,0	4,0	1,0	3,9	1,0	3,8
Angulo de fricción interna , ϕ			41,3 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,06					

c) ENSAYO 3 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A. 1	SM	94,14%	5,86%	ocupa 15% del Vv grava modelo		ocupa 9,75% del Vv grava modelo	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES								
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6038		1,1070		1,5373	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,780	1,839	1,780	1,839	1,780	1,848
Densidad seca (gr/cm ³)			1,763	1,772	1,763	1,780	1,763	1,784
Contenido de humedad(%)			1,0	3,8	1,0	3,3	1,0	3,6
Angulo de fricción interna , ϕ			43,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,15					

d) ENSAYO 4 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A.1	SM	92,33%	7,67%	ocupa 20% del Vv grava modelo		ocupa 13,0% del Vv grava modelo	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES								
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esf. de corte maximo (kg/cm ²)			0,5797		0,9845		1,4703	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda(gr/cm ³)			1,816	1,886	1,816	1,891	1,816	1,901
Densidad seca (gr/cm ³)			1,798	1,811	1,798	1,818	1,798	1,824
Contenido de humedad(%)			1,0	4,1	1,0	4,0	1,0	4,2
Angulo de fricción interna , ϕ			41,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,12					

e) ENSAYO 5 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	90,60%	9,40%	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A.1	SM			ocupa 25% del Vv grava modelo		ocupa 16,24% del Vv grava modelo	
CARACTERÍSTICAS DE LOS ESPECÍMENES								
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6869		1,0807		1,6111	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,842	1,921	1,842	1,926	1,842	1,933
Densidad seca (gr/cm ³)			1,832	1,847	1,832	1,854	1,832	1,860
Contenido de humedad(%)			0,6	4,0	0,6	3,9	0,6	3,9
Angulo de fricción interna , ϕ			42,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,20					

f) ENSAYO 6 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	88,93%	11,07%	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A.1	SM			ocupa 30% del Vv grava modelo		ocupa 19,49% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5607		1,0632		1,4307	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,885	1,956	1,885	1,961	1,885	1,971
Densidad seca (gr/cm ³)			1,867	1,879	1,867	1,890	1,867	1,898
Contenido de humedad(%)			1,0	4,1	1,0	3,8	1,0	3,9
Angulo de fricción interna , ϕ			41,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,15					

g) ENSAYO 7 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	87,31%	12,69%	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.A. 1	SM			ocupa 35% del Vv grava modelo		ocupa 22,74% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5865		1,0244		1,4369	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,937	2,007	1,937	2,001	1,937	2,011
Densidad seca (gr/cm ³)			1,901	1,919	1,901	1,925	1,901	1,930
Contenido de humedad(%)			1,9	4,6	1,9	4,0	1,9	4,2
Angulo de fricción interna , ϕ			40,4 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,17					

h) ENSAYO 8 – GRUPO M.A. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava				
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz		
< 1/4"	GRUPO	SUCS	84,26%	15,74%	ocupa 45% del Vv grava modelo		ocupa 29,23% del Vv grava modelo		
	M.A. 1	SM							
Especimen N°				1	2		3		
Esfuerzo normal (kg/cm ²)				0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm ²)				0,5548		1,1420		1,5839	
Etapa				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)				2,006	2,082	2,006	2,099	2,006	2,127
Densidad seca (gr/cm ³)				1,970	1,985	1,970	1,993	1,970	2,004
Contenido de humedad(%)				1,8	4,9	1,8	5,3	1,8	6,1
Angulo de fricción interna , ϕ				45,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)				0,06					

8.3.1.7. RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A 1

Los resultados obtenidos con la matriz M.A 1 se resumen en la Tabla 8.4

TABLA N° 8.4 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON LA PROPORCIÓN DE MATRÍZ M.A. 1

ENSAYO	Vv Grava reemplazado por matriz (%)		GRAVA + MATRIZ M.A. 1				
	V _m matriz	V _s matriz	n(%)	γ_d (gr/cm ³)	% Finos pasa tamiz N° 200	ϕ (°)	C kg/cm ²
	0,0	0,00	38,52	1,660	0,0	46,5	0,0
1	5,0	3,26	37,27	1,694	0,4	44,8	0,09
2	10,0	6,50	36,02	1,729	0,7	41,3	0,06
3	15,0	9,75	34,77	1,763	1,1	43,0	0,15
4	20,0	13,00	33,51	1,798	1,4	41,7	0,12
5	25,0	16,24	32,26	1,832	1,7	42,7	0,20
6	30,0	19,49	31,01	1,867	2,0	41,0	0,15
7	35,0	22,74	29,76	1,901	2,3	40,4	0,17
8	45,0	29,23	27,26	1,970	2,8	45,8	0,06

En las Figuras 8.3 y 8.4 se observa la variación del ángulo de fricción interna y la cohesión con el incremento progresivo de matriz arenosa.

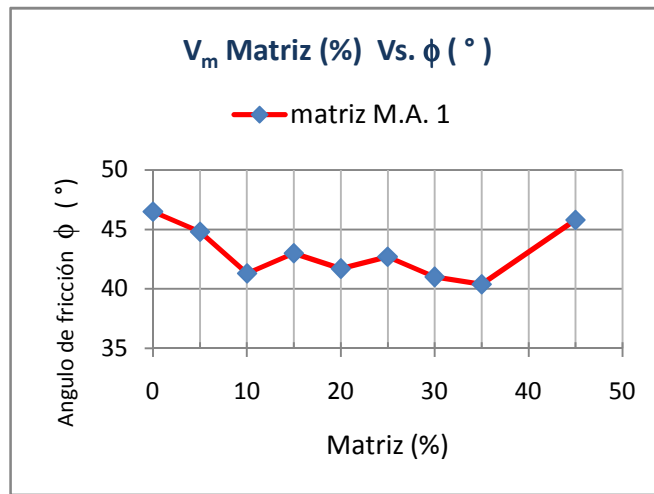


FIGURA N°8.3
Gráfico variación del ángulo de fricción interna de la grava con el incremento de matriz arenosa M.A.1 (SM).

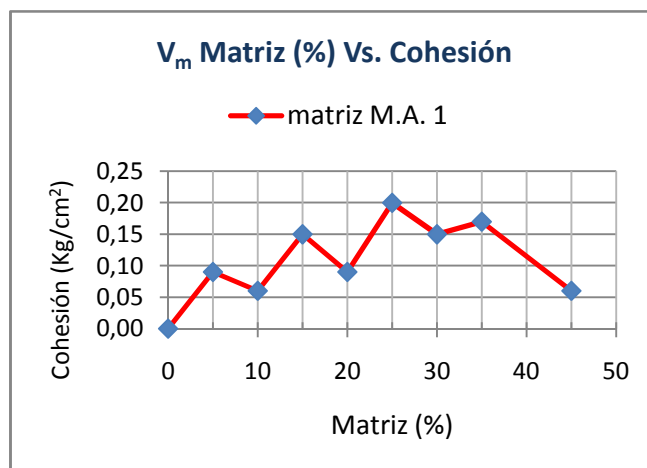


FIGURA N°8.4
Gráfico variación de la cohesión de la grava con el incremento de matriz arenosa M.A.1 (SM).

De la tabla y gráficos anteriores se observa lo siguiente:

- El ángulo de fricción interna decrece con el aumento de la matriz hasta que su masa ocupa un 35% del volumen de vacíos de la grava.
- A proporción de matriz mayor de 35% , el ángulo de fricción interna aumenta.
- La cohesión tiende a aumentar con el incremento de la matriz hasta aproximadamente un 25%, luego decrece.

En las Fotos 8.10 a 8.13, se puede observar los materiales utilizados en este grupo de ensayos, que son la matriz arenosa M.A.1 y la grava modelo.



FOTO 8.10
Muestra M.A.1 en estado inalterado



FOTO 8.11
Arena limosa M.A.1, trozo inalterado y material disturbado.



FOTOS 8.12 y 8.13

Vistas de la matriz arenosa y grava menor de $\frac{1}{4}$ ". En los ensayos se utilizó proporción variable de matriz M.A.1.

8.3.2 MATRIZ M.A. 2

8.3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES

Procedencia	:	Madre de Dios
Referencia	:	Corredor Vial Interoceánico Sur Tramo III - Km. 332+058
Peso Unitario húmedo (gr/cm ³)	:	1.838
Peso Unitario seco (gr/cm ³)	:	1.720
Humedad Natural (%)	:	6.89
Gravedad Específica	:	2.721
Límite Líquido	:	N.P.
Índice Plástico	:	N.P.

8.3.2.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Del análisis granulométrico por tamizado se tiene los siguientes resultados:

Tamaño máximo	:	2.00 mm (Tamíz N°10)
Pasa tamíz N°200	:	8.9 %
Clasificación	:	SP-SM
Denominación	:	Arena pobremente gradada con limo

8.3.2.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes inalterados en condición saturada.

Los resultados obtenidos para esfuerzos cortantes máximos son los siguientes:

Angulo de fricción interna, ϕ	:	33.2°
Cohesión (Kg/cm ²)	:	0.04

8.3.2.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRIZ

Se efectuó un análisis de difracción con Rayos X sin interpretación, en el difractograma se observa la misma tendencia que la obtenida para la muestra MA-1, por lo que se estima una distribución mineralógica similar dada la misma procedencia.

8.3.2.5 PROPORCIÓN DE MATRIZ EN MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE VACIOS INICIAL DE GRAVA

En la Tabla 8.5, se presentan los cálculos efectuados para determinar los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, con el criterio que la matriz ocupe progresivamente el volumen de vacíos de la grava modelo, obteniéndose pesos unitarios mayores a mayor proporción de matriz.

TABLA 8.5 VARIACIÓN DE MATRÍZ EN LA COMBINACIÓN GRAVA-MATRIZ M.A.2

PROPORCIONES DE MEZCLA GRAVA + MATRIZ											MATRIZ M.A. 2							
Vv de grava a reemplazar por Vm de matriz	MATRIZ Vmasa (cm ³)	GRAVA			MATRIZ			MEZCLA										
		peso seco en mezcla		G	peso seco en mezcla		G	peso seco total		G	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vm cm ³	Vv cm ³	Vs cm ³	e	n(%)	Reducción efectiva del Vv ΔVv (cm ³) %	
% Vv grava	(cm ³)	gr.	%		gr.	%		gr.	%									
0	0	197,76	100,00	2,700	0	0	0	197,76	100,0	2,700	1,660	119,130	45,890	73,240	0,627	38,52	0,00	0,00
5	2,295	197,76	98,04	2,700	3,95	1,96	2,721	201,71	100,0	2,700	1,693	119,130	44,435	74,695	0,595	37,30	1,45	3,17
10	4,589	197,76	96,16	2,700	7,89	3,84	2,721	205,65	100,0	2,701	1,726	119,130	42,985	76,145	0,565	36,08	2,91	6,33
15	6,884	197,76	94,35	2,700	11,84	5,65	2,721	209,60	100,0	2,701	1,759	119,130	41,534	77,596	0,535	34,86	4,36	9,49
20	9,178	197,76	92,61	2,700	15,79	7,39	2,721	213,55	100,0	2,702	1,793	119,130	40,084	79,046	0,507	33,65	5,81	12,65
25	11,473	197,76	90,93	2,700	19,73	9,07	2,721	217,49	100,0	2,702	1,826	119,130	38,634	80,496	0,480	32,43	7,26	15,81
30	13,767	197,76	89,31	2,700	23,68	10,69	2,721	221,44	100,0	2,702	1,859	119,130	37,183	81,947	0,454	31,21	8,71	18,97
35	16,062	197,76	87,74	2,700	27,63	12,26	2,721	225,39	100,0	2,703	1,892	119,130	35,733	83,397	0,428	29,99	10,16	22,13
40	18,356	197,76	86,23	2,700	31,57	13,77	2,721	229,33	100,0	2,703	1,925	119,130	34,282	84,848	0,404	28,78	11,61	25,29
45	20,651	197,76	84,77	2,700	35,52	15,23	2,721	233,28	100,0	2,703	1,958	119,130	32,832	86,298	0,380	27,56	13,06	28,46
50	22,945	197,76	83,36	2,700	39,47	16,64	2,721	237,23	100,0	2,703	1,991	119,130	31,382	87,748	0,358	26,34	14,51	31,62
55	25,240	197,76	82,00	2,700	43,41	18,00	2,721	241,17	100,0	2,704	2,024	119,130	29,931	89,199	0,336	25,12	15,96	34,78
60	27,534	197,76	80,68	2,700	47,36	19,32	2,721	245,12	100,0	2,704	2,058	119,130	28,481	90,649	0,314	23,91	17,41	37,94
65	29,829	197,76	79,40	2,700	51,31	20,60	2,721	249,07	100,0	2,704	2,091	119,130	27,030	92,100	0,293	22,69	18,86	41,10
70	32,123	197,76	78,16	2,700	55,25	21,84	2,721	253,01	100,0	2,705	2,124	119,130	25,580	93,550	0,273	21,47	20,31	44,26
75	34,418	197,76	76,96	2,700	59,20	23,04	2,721	256,96	100,0	2,705	2,157	119,130	24,130	95,000	0,254	20,25	21,76	47,42
80	36,712	197,76	75,80	2,700	63,14	24,20	2,721	260,90	100,0	2,705	2,190	119,130	22,679	96,451	0,235	19,04	23,21	50,58
85	39,007	197,76	74,67	2,700	67,09	25,33	2,721	264,85	100,0	2,705	2,223	119,130	21,229	97,901	0,217	17,82	24,66	53,74
90	41,301	197,76	73,57	2,700	71,04	26,43	2,721	268,80	100,0	2,706	2,256	119,130	19,778	99,352	0,199	16,60	26,11	56,90
95	43,596	197,76	72,51	2,700	74,98	27,49	2,721	272,74	100,0	2,706	2,289	119,130	18,328	100,802	0,182	15,38	27,56	60,06
100	45,890	197,76	71,47	2,700	78,93	28,53	2,721	276,69	100,0	2,706	2,323	119,130	16,878	102,252	0,165	14,17	29,01	63,22

Para los ensayos se seleccionó los especímenes factibles de remoldear en el equipo con pesos unitarios menores de 2.00 gr/cm³, que corresponden a las proporciones menores de matriz.

Las principales características de los especímenes considerados para los ensayos de resistencia al corte como son los pesos unitarios, la proporción en peso y volumen de ambas fracciones se presentan en la Tabla 8.6

**TABLA 8.6 ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE
 CON MATRÍZ M.A. 2**

ENSAYO	GRAVA		MATRIZ M.A.2		GRAVA + MATRIZ M.A.2			
	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vv grava ocupado por Vm matriz (%)	Reducción efectiva Vv inicial grava (%)
1	197,76	98,04	3,95	1,96	201,71	1,693	5	3,17
2	197,76	96,16	7,89	3,84	205,65	1,726	10	6,33
3	197,76	94,35	11,84	5,65	209,60	1,759	15	9,49
4	197,76	92,61	15,79	7,39	213,55	1,793	20	12,65
5	197,76	90,93	19,73	9,07	217,49	1,826	25	15,81
6	197,76	89,31	23,68	10,69	221,44	1,859	30	18,97
7	197,76	87,74	27,63	12,26	225,39	1,892	35	22,13
8	197,76	86,23	31,57	13,77	229,33	1,925	40	25,29
9	197,76	84,77	35,52	15,23	233,28	1,958	45	28,46

8.3.2.6 RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRIZ

A continuación se presenta el resumen de los resultados de los 09 ensayos de corte directo efectuados con la matriz M.A. 2.

En las secciones Anexo II.4 y Anexo II.5 se presentan los informes de los ensayos de laboratorio con la matriz arenosa M.A.2.

a) ENSAYO 1 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava				
					Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz		
< 1/4"	GRUPO M.A. 2	SUCS SP-SM	Grava 98,04%	Matriz 1,97%	ocupa 5% del Vv grava modelo		ocupa 3,17% del Vv grava modelo		
Especimen N°				1	2		3		
Esfuerzo normal (kg/cm ²)				0,50	1,00		1,50		
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)				0,5568	1,1178		1,6285		
Etapa				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)				1,710	1,763	1,710	1,769	1,710	1,772
Densidad seca (gr/cm ³)				1,693	1,705	1,693	1,714	1,693	1,720
Contenido de humedad(%)				1,0	3,4	1,0	3,2	1,0	3,0
Angulo de friccion interna				47,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)				0,03					

b) ENSAYO 2 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO M.A. 2	SUCS SP-SM	96,16%	3,84%	ocupa 10% del Vv grava modelo		ocupa 6,33% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5207		1,0020		1,5182	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,744	1,795	1,744	1,798	1,744	1,803
Densidad seca (gr/cm ³)			1,726	1,737	1,726	1,744	1,726	1,754
Contenido de humedad(%)			1,0	3,3	1,0	3,1	1,0	2,8
Angulo de friccion interna			44,9 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,02					

c) ENSAYO 3 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO M.A. 2	SUCS SP-SM	94,35%	5,65%	ocupa 15% del Vv grava modelo		ocupa 9,49% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6125		1,1463		1,6758	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,777	1,829	1,777	1,830	1,777	1,835
Densidad seca (gr/cm ³)			1,759	1,775	1,759	1,781	1,759	1,788
Contenido de humedad(%)			1,0	3,1	1,0	2,8	1,0	2,6
Angulo de friccion interna			46,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,08					

d) ENSAYO 4 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO M.A. 2	SUCS SP-SM	92,61%	7,39%	ocupa 20% del Vv grava modelo		ocupa 12,65% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5447		1,0838		1,4876	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,810	1,876	1,810	1,872	1,810	1,887
Densidad seca (gr/cm ³)			1,793	1,807	1,793	1,817	1,793	1,823
Contenido de humedad(%)			1,0	3,8	1,0	3,0	1,0	3,5
Angulo de friccion interna			43,3 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,10					

e) ENSAYO 5 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A. 2	SP-SM	90,93%	9,07%	ocupa 25% del Vv grava modelo		ocupa 15,81% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6913		1,2120		1,6495	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,844	1,901	1,844	1,902	1,844	1,906
Densidad seca (gr/cm ³)			1,826	1,838	1,826	1,842	1,826	1,851
Contenido de humedad(%)			1,0	3,4	1,0	3,3	1,0	3,0
Angulo de fricción interna			43,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,23					

f) ENSAYO 6 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A.2	SP-SM	89,31%	10,69%	ocupa 30% del Vv grava modelo		ocupa 18,97% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5477		1,0501		1,4778	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,887	1,937	1,887	1,950	1,887	1,955
Densidad seca (gr/cm ³)			1,859	1,873	1,859	1,882	1,859	1,887
Contenido de humedad(%)			1,5	3,4	1,5	3,6	1,5	3,6
Angulo de fricción interna			42,9 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,10					

g) ENSAYO 7 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A. 2	SP-SM	87,74%	12,26%	ocupa 35% del Vv grava modelo		ocupa 22,13% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5688		1,1682		1,4958	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,911	1,987	1,911	1,995	1,911	1,999
Densidad seca (gr/cm ³)			1,892	1,905	1,892	1,915	1,892	1,926
Contenido de humedad(%)			1,0	4,3	1,0	4,2	1,0	3,8
Angulo de fricción interna			42,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,15					

h) ENSAYO 8 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	86,23%	13,77%	ocupa 40% del Vv grava modelo		ocupa 25,29% del Vv grava modelo	
	M.A. 2	SP-SM						
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5830		1,0763		1,6310	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,954	2,031	1,954	2,036	1,954	2,053
Densidad seca (gr/cm ³)			1,925	1,941	1,925	1,945	1,925	1,958
Contenido de humedad(%)			1,5	4,7	1,5	4,7	1,5	4,8
Angulo de friccion interna			46,3 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,05					

i) ENSAYO 9 – GRUPO M.A. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	84,77%	15,23%	ocupa 45% del Vv grava modelo		ocupa 28,46% del Vv grava modelo	
	M.A. 2	SP-SM						
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5938		1,2190		1,7020	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,978	2,066	1,978	2,070	1,978	2,089
Densidad seca (gr/cm ³)			1,958	1,971	1,958	1,978	1,958	1,989
Contenido de humedad(%)			1,0	4,8	1,0	4,7	1,0	5,0
Angulo de friccion interna			47,9 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,06					

8.3.2.7. RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A. 2

Los resultados obtenidos con la matriz M.A 2 se resumen en la Tabla 8.7

TABLA 8.7 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON LA PROPORCIÓN DE MATRÍZ M.A. 2

ENSAYO	Vv Grava reemplazado por matriz (%)		GRAVA + MATRIZ M.A. 2				
	Vm matriz	Vs matriz	η (%)	γ_d (gr/cm ³)	% Finos pasa tamiz N° 200	ϕ (°)	C kg/cm ²
1	0,0	0,00	38,52	1,660	0,0	46,5	0,0
2	5,0	3,17	37,30	1,693	0,2	47,0	0,03
3	10,0	6,33	36,08	1,726	0,3	44,9	0,02
4	15,0	9,49	34,86	1,759	0,4	46,8	0,08
5	20,0	12,65	33,65	1,793	0,7	43,3	0,10
6	25,0	15,81	32,43	1,826	0,8	43,8	0,23
7	30,0	18,97	31,21	1,859	1,0	42,9	0,10
8	35,0	22,13	29,99	1,892	1,1	42,8	0,15
9	40,0	25,29	28,78	1,925	1,2	46,3	0,05
9	45,0	28,46	27,56	1,958	1,4	47,9	0,06

En las Figuras 8.5 y 8.6 se presentan los gráficos correspondientes:

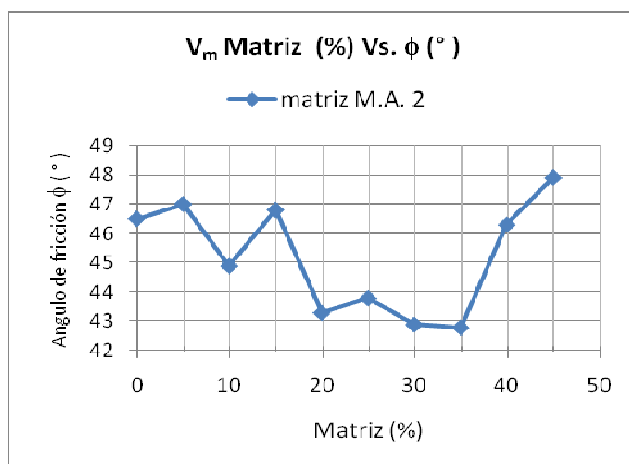


FIGURA 8.5
 Gráfico variación del ángulo de fricción interna de la grava con el incremento de matriz arenosa M.A.2 (SP-SM).

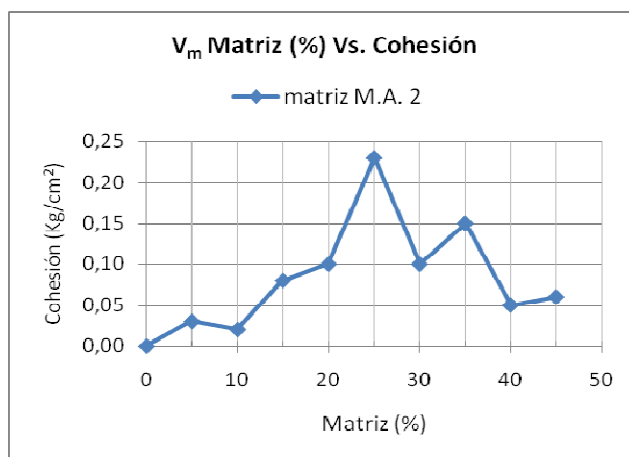


FIGURA 8.6
 Gráfico variación de la cohesión de la grava con el incremento de la matriz arenosa M.A.2 (SP-SM).

En estos resultados se observa lo siguiente:

- El ángulo de fricción interna decrece con el aumento de la matriz hasta que su masa ocupa aproximadamente un 20% a 35% del volumen de vacíos de la grava.
- Para una proporción de matriz entre 5 y 15% del volumen de vacíos, no hay variación significativa en los parámetros de resistencia
- A mayor proporción de matriz, el ángulo de fricción interna aumenta.
- La cohesión tiende a aumentar con el incremento de la matriz
- La proporción de finos generada por el incremento de la matriz no es representativa

En las Fotos 8.14 a 8.18 se puede observar la matriz arenosa M.A.2 y la grava modelo, utilizados en este grupo de ensayos.



FOTO 8.14
Bloque inalterado de arena limosa pobremente gradada (SP-SM) usada como matriz M.A.2



FOTO 8.15
Muestra disturbada de la matriz arenosa M.A.2.



FOTO 8.16
Arena M.A.2 y grava a utilizada
en los ensayos.

FOTO 8.17
Vista detallada de los
materiales utilizados.



FOTO 8.18
Especimen ensayado, se
observa la mezcla saturada de
grava y matriz arenosa M.A.2.

8.3.3 MATRÍZ M.A. 3

8.3.3.1 PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES

Procedencia	:	Madre de Dios
Referencia	:	Corredor Vial Interoceánico Sur Tramo III - Km. 338+123
Peso Unitario húmedo (gr/cm ³)	:	1.941
Peso Unitario seco (gr/cm ³)	:	1.823
Humedad Natural (%)	:	6.5
Gravedad Específica	:	2.736
Límite Líquido	:	N.P.
Índice Plástico	:	N.P.

8.3.3.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Del análisis granulométrico por tamizado se tiene los siguientes resultados:

Tamaño máximo	:	2.00 mm (Tamíz N°10)
Pasa tamíz N°200	:	15.1 %
Clasificación	:	SM
Denominación	:	Arena limosa

8.3.3.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes inalterados en condición saturada.

Los resultados obtenidos para esfuerzos cortantes máximos son los siguientes:

Angulo de fricción interna, ϕ	:	34.2°
Cohesión (Kg/cm ²)	:	0.21

8.3.3.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRIZ

Se efectuó un análisis de difracción con Rayos X sin interpretación, en el difractograma se observa la misma tendencia que la obtenida para la muestra MA-1, por lo que se estima una distribución mineralógica similar dada la misma procedencia.

8.3.3.5 PROPORCIÓN DE MATRIZ EN MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE VACIOS INICIAL DE GRAVA

En el Tabla 8.8, se presentan los cálculos efectuados para determinar los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, con el criterio que la matriz ocupe progresivamente el volumen de vacíos de la grava modelo, obteniéndose pesos unitarios mayores a mayor proporción de matriz.

TABLA 8.8 VARIACIÓN DE MATRIZ EN LA COMBINACIÓN GRAVA-MATRIZ M.A.3

PROPORCIONES DE MEZCLA GRAVA + MATRIZ											MATRIZ M.A.3							
Vv de grava a reemplazar por Vm de matriz	MATRIZ Vm _{asa}	GRAVA			MATRIZ			MEZCLA										
		peso seco en mezcla		G	peso seco en mezcla		G	peso seco total		G	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vm cm ³	Vv cm ³	Vs cm ³	e	n(%)	Reducción efectiva del Vv inicial (grava)	
		gr.	%		gr.	%		gr.	%								ΔVv (cm ³)	%
0	0	197,76	100,00	2,700	0	0	0	197,76	100,0	2,700	1,660	119,130	45,890	73,240	0,627	38,52	0,00	0,00
5	2,295	197,76	97,93	2,700	4,18	2,07	2,736	201,94	100,0	2,701	1,695	119,130	44,357	74,773	0,593	37,23	1,53	3,34
10	4,589	197,76	95,94	2,700	8,37	4,06	2,736	206,13	100,0	2,701	1,730	119,130	42,828	76,302	0,561	35,95	3,06	6,67
15	6,884	197,76	94,03	2,700	12,55	5,97	2,736	210,31	100,0	2,702	1,765	119,130	41,299	77,831	0,531	34,67	4,59	10,00
20	9,178	197,76	92,20	2,700	16,73	7,80	2,736	214,49	100,0	2,703	1,800	119,130	39,770	79,360	0,501	33,38	6,12	13,34
25	11,473	197,76	90,44	2,700	20,91	9,56	2,736	218,67	100,0	2,703	1,836	119,130	38,241	80,889	0,473	32,10	7,65	16,67
30	13,767	197,76	88,74	2,700	25,10	11,26	2,736	222,86	100,0	2,704	1,871	119,130	36,713	82,417	0,445	30,82	9,18	20,00
35	16,062	197,76	87,10	2,700	29,28	12,90	2,736	227,04	100,0	2,705	1,906	119,130	35,184	83,946	0,419	29,53	10,71	23,33
40	18,356	197,76	85,53	2,700	33,46	14,47	2,736	231,22	100,0	2,705	1,941	119,130	33,655	85,475	0,394	28,25	12,24	26,66
45	20,651	197,76	84,01	2,700	37,65	15,99	2,736	235,41	100,0	2,706	1,976	119,130	32,126	87,004	0,369	26,97	13,76	29,99
50	22,945	197,76	82,54	2,700	41,83	17,46	2,736	239,59	100,0	2,706	2,011	119,130	30,597	88,533	0,346	25,68	15,29	33,32
55	25,240	197,76	81,13	2,700	46,01	18,87	2,736	243,77	100,0	2,707	2,046	119,130	29,068	90,062	0,323	24,40	16,82	36,66
60	27,534	197,76	79,76	2,700	50,19	20,24	2,736	247,95	100,0	2,707	2,081	119,130	27,540	91,590	0,301	23,12	18,35	39,99
65	29,829	197,76	78,43	2,700	54,38	21,57	2,736	252,14	100,0	2,708	2,116	119,130	26,011	93,119	0,279	21,83	19,88	43,32
70	32,123	197,76	77,15	2,700	58,56	22,85	2,736	256,32	100,0	2,708	2,152	119,130	24,482	94,648	0,259	20,55	21,41	46,65
75	34,418	197,76	75,91	2,700	62,74	24,09	2,736	260,50	100,0	2,709	2,187	119,130	22,953	96,177	0,239	19,27	22,94	49,98
80	36,712	197,76	74,71	2,700	66,93	25,29	2,736	264,69	100,0	2,709	2,222	119,130	21,424	97,706	0,219	17,98	24,47	53,31
85	39,007	197,76	73,55	2,700	71,11	26,45	2,736	268,87	100,0	2,709	2,257	119,130	19,895	99,235	0,200	16,70	25,99	56,65
90	41,301	197,76	72,43	2,700	75,29	27,57	2,736	273,05	100,0	2,710	2,292	119,130	18,367	100,763	0,182	15,42	27,52	59,98
95	43,596	197,76	71,33	2,700	79,47	28,67	2,736	277,23	100,0	2,710	2,327	119,130	16,838	102,292	0,165	14,13	29,05	63,31
100	45,890	197,76	70,27	2,700	83,66	29,73	2,736	281,42	100,0	2,711	2,362	119,130	15,309	103,821	0,147	12,85	30,58	66,64

Para los ensayos se seleccionó los especímenes factibles de remodelar en el equipo con pesos unitarios menores de 2.00 gr/cm³, que corresponden a las proporciones menores de matriz.

Las principales características de los especímenes considerados para los ensayos de resistencia al corte como son los pesos unitarios, la proporción en peso y volumen de ambas fracciones, se presentan en la Tabla 8.9

**TABLA 8.9 ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE
CON MATRÍZ M.A. 3**

ENSAYO	GRAVA		MATRIZ M.A.3		GRAVA + MATRIZ M.A.3			
	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vv grava ocupado por Vm matriz (%)	Reducción efectiva Vv inicial grava (%)
1	197,76	97,93	4,18	2,07	201,94	1,695	5	3,34
2	197,76	95,94	8,37	4,06	206,13	1,730	10	6,67
3	197,76	94,03	12,55	5,97	210,31	1,765	15	10,00
4	197,76	92,20	16,73	7,80	214,49	1,800	20	13,34
5	197,76	90,44	20,91	9,56	218,67	1,836	25	16,67
6	197,76	88,74	25,10	11,26	222,86	1,871	30	20,00
7	197,76	87,10	29,28	12,90	227,04	1,906	35	23,33
8	197,76	84,01	37,65	15,99	235,41	1,976	45	29,99

8.3.3.6 RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRIZ

A continuación se presenta el resumen de los resultados de los 09 ensayos de corte directo efectuados con la matriz M.A. 3.

En las secciones Anexo II.6 y Anexo II.7 se presentan los informes de los ensayos de laboratorio con la matriz M.A.3.

a) ENSAYO 1 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava					
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matríz		Volumen sólidos matríz			
< 1/4"	M.A. 3	SM	97,93%	2,07%	ocupa 5% del Vv grava modelo		ocupa 3,34 % del Vv grava modelo			
Especimen N°					1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)					0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)					0,5119		1,0807		1,4668	
Etapa					Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)					1,712	1,758	1,712	1,764	1,712	1,774
Densidad seca (gr/cm ³)					1,695	1,707	1,695	1,716	1,695	1,724
Contenido de humedad(%)					1,0	3,0	1,0	2,8	1,0	2,9
Angulo de friccion interna					43,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)					0,06					

b) ENSAYO 2 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
					M.A. 3	SM	95,94%	4,06%
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5600		0,9713		1,4920	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,748	1,804	1,748	1,804	1,748	1,809
Densidad seca (gr/cm ³)			1,730	1,746	1,730	1,750	1,730	1,759
Contenido de humedad(%)			1,0	3,3	1,0	3,1	1,0	2,8
Angulo de fricción interna			43,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,08					

c) ENSAYO 3 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
					M.A. 3	SM	94,03%	5,97%
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5732		1,0545		1,4351	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,783	1,851	1,783	1,850	1,783	1,850
Densidad seca (gr/cm ³)			1,765	1,777	1,765	1,785	1,765	1,791
Contenido de humedad(%)			1,0	4,1	1,0	3,7	1,0	3,3
Angulo de fricción interna			40,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,16					

d) ENSAYO 4 – GRUPO M.A.3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
					M.A. 3	SM	92,20%	7,80%
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5469		1,0063		1,4395	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,818	1,900	1,818	1,901	1,818	1,902
Densidad seca (gr/cm ³)			1,800	1,811	1,800	1,819	1,800	1,825
Contenido de humedad(%)			1,0	4,9	1,0	4,5	1,0	4,2
Angulo de fricción interna			41,8 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,11					

e) ENSAYO 5 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A. 3	SM	90,44%	9,56%	ocupa 25% del Vv grava modelo		ocupa 16,67% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5600		0,9757		1,3826	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,854	1,944	1,854	1,943	1,854	1,946
Densidad seca (gr/cm ³)			1,836	1,851	1,836	1,856	1,836	1,863
Contenido de humedad(%)			1,0	5,0	1,0	4,7	1,0	4,4
Angulo de friccion interna			39,4 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,15					

f) ENSAYO 6 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A. 3	SM	88,74%	12,90%	ocupa 30% del Vv grava modelo		ocupa 20,0% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5688		1,0063		1,4089	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,899	2,011	1,899	2,011	1,899	2,018
Densidad seca (gr/cm ³)			1,871	1,883	1,871	1,890	1,871	1,898
Contenido de humedad(%)			1,5	6,8	1,5	6,4	1,5	6,3
Angulo de friccion interna			40,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,15					

g) ENSAYO 7 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A. 3	SM	87,10%	12,90%	ocupa 35% del Vv grava modelo		ocupa 23,33% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5382		1,0301		1,3492	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,934	2,047	1,934	2,049	1,934	2,040
Densidad seca (gr/cm ³)			1,906	1,920	1,906	1,928	1,906	1,933
Contenido de humedad(%)			1,5	6,6	1,5	6,3	1,5	5,5
Angulo de friccion interna			39,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,16					

h) ENSAYO 8 – GRUPO M.A. 3

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	M.A.3	SM	84,01%	15,99%	ocupa 45% del Vv grava modelo		ocupa 29,99% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1	2	3			
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50	1,00	1,50			
Esfuerzo de corte máximo (kg/cm ²)			0,6213	1,0720	1,5051			
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			2,006	2,106	2,006	2,110	2,006	2,113
Densidad seca (gr/cm ³)			1,976	1,987	1,976	1,995	1,976	2,002
Contenido de humedad(%)			1,5	6,0	1,5	5,8	1,5	5,6
Angulo de fricción interna			41,5 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,18					

8.3.3.7 RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.A. 3

Los resultados obtenidos con la matriz M.A 3 se resumen en la tabla siguiente

TABLA 8.10 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON LA PROPORCIÓN DE MATRÍZ M.A. 3

ENSAYO	Vv Grava reemplazado por matriz (%)		GRAVA + MATRIZ M.A. 3				
	Vm matriz	Vs matriz	n(%)	γ_d (gr/cm ³)	% Finos pasa tamíz N°200	ϕ (°)	C kg/cm ²
1	0,0	0,00	38,52	1,660	0,0	46,5	0,0
2	5,0	3,34	37,23	1,695	0,3	43,7	0,06
3	10,0	6,67	35,95	1,730	0,6	43,0	0,08
4	15,0	10,00	34,67	1,765	0,9	40,8	0,16
5	20,0	13,34	33,38	1,800	1,2	41,8	0,11
6	25,0	16,67	32,10	1,836	1,4	39,4	0,15
7	30,0	20,00	30,82	1,871	1,7	40,0	0,15
8	35,0	23,33	29,53	1,906	1,9	39,0	0,16
8	45,0	29,99	26,97	1,976	2,4	41,5	0,18

En las Figuras 8.7 y 8.8 se observa la variación del ángulo de fricción interna y la cohesión con el incremento progresivo de matriz arenosa.

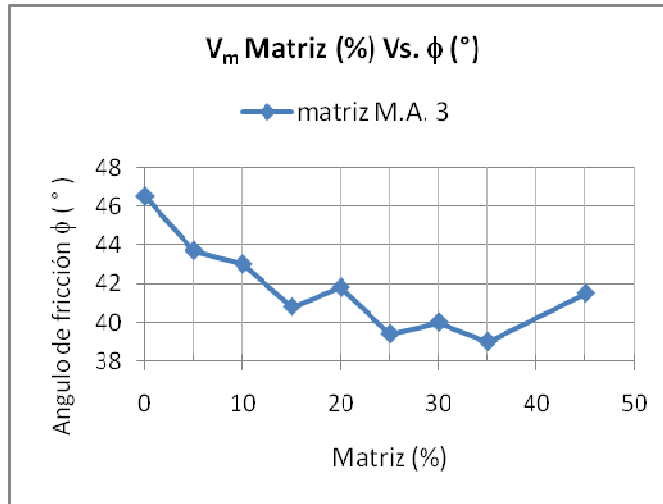


FIGURA 8.7
Gráfico variación del ángulo de fricción interna de la grava con el incremento de matriz arenosa M.A.3 (SM).

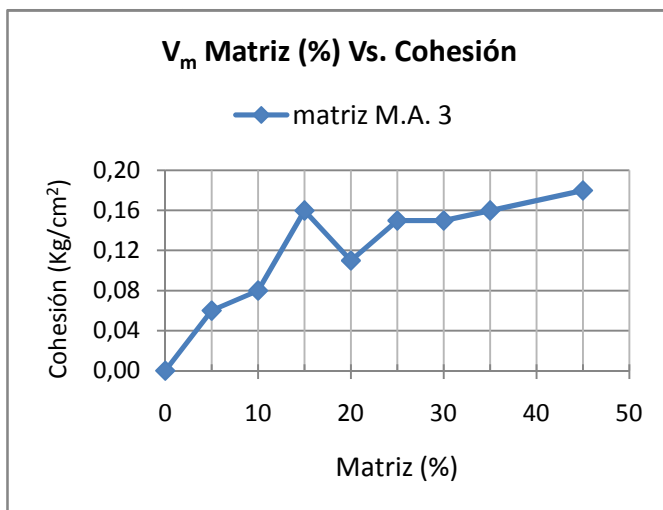


FIGURA 8.8
Gráfico variación de la cohesión de la grava con el incremento de matriz arenosa M.A.3 (SM).

De la tabla y gráficos anteriores se observa lo siguiente:

- El ángulo de fricción interna decrece con el aumento de la matriz hasta que su masa ocupa aproximadamente un 35% del volumen de vacíos de la grava.
- Para proporciones de matriz mayores al 35% , el ángulo de fricción interna tiende a aumentar.
- La cohesión tiende a aumentar con el incremento de la matriz.

En las Fotos 8.19 a 8.22 se puede observar la matriz arenosa M.A.3 y la grava modelo utilizados en este grupo de ensayos.



FOTO 8.19
Muestra inalterada de arena limosa (SM) utilizada como matriz M.A. 3.



FOTO 8.20
Materiales utilizados en este grupo de ensayos.



FOTO 8.21
Arena limosa M.A.3 presenta color beige rojizo.



FOTO 8.22
Muestras de matriz arenosa M.A. 3 y grava.

8.4 MATRIZ FINA Y VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE FINOS

Se seleccionó muestras inalteradas de suelo fino clasificadas como limo y arcilla de baja plasticidad, con cada una de ellas se efectuó un grupo de ensayos de resistencia al corte en mezcla con la grava de granulometría seleccionada.

En cada ensayo se fue variando la proporción de matriz de tal forma que ocupan porcentajes variables del volumen de vacíos inicial de la grava modelo.

A continuación se detalla las características de cada matriz y los resultados obtenidos en los ensayos de corte.

8.4.1 MATRIZ M.F. 1

8.4.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES

Procedencia	:	Collique - Comas
Peso Unitario húmedo (gr/cm^3)	:	1.663
Peso Unitario seco (gr/cm^3)	:	1.363
Humedad Natural (%)	:	22.1
Gravedad Específica	:	2.766
Límite Líquido	:	29.4
Índice Plástico	:	5.0

8.4.1.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Del análisis granulométrico por tamizado se tiene los siguientes resultados:

Tamaño máximo	:	2.00 mm (Tamíz N°10)
Pasa tamíz N°200	:	85,7 %
Clasificación	:	ML
Denominación	:	Limo

8.4.1.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes inalterados en condición saturada.

Los resultados obtenidos para esfuerzos cortantes máximos son los siguientes:

Angulo de fricción interna, ϕ	:	27.2°
Cohesión (Kg/cm^2)	:	0.09

8.4.1.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRIZ

En el laboratorio de Rayos X del Instituto Geológico y Minero (INGEMMET) se efectuó el análisis de difracción de Rayos X con interpretación, identificándose los siguientes minerales:

Cuarzo	:	47.91 %
Albita	:	31.61%
Amorfo	:	6.38%
Clorita	:	6.14 %
Montmorillonita	:	2.43 %
Calcita	:	1.52%
Magnesiohorblenda	:	1.46%
Augita	:	1.03%
Muscovita	:	0.91 %
Hematita	:	0.43%
Talco	:	0.18%

La proporción de cuarzo es predominante, pero no en la cantidad registrada en las arenas.

Presenta algunos minerales típicos de los suelos arcillosos como la montmorillonita

8.4.1.5 PROPORCIÓN DE MATRIZ EN MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE VACIOS INICIAL DE GRAVA

En el Tabla 8.7, se presentan los cálculos efectuados para determinar los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, con el criterio que la matriz ocupe progresivamente el volumen de vacíos de la grava modelo, obteniéndose pesos unitarios mayores a mayor proporción de matriz.

TABLA 8.11 VARIACIÓN DE MATRÍZ EN LA COMBINACIÓN GRAVA-MATRIZ M.F.1

PROPORCIONES DE MEZCLA GRAVA + MATRIZ												MATRIZ M.F. 1						
Vv de grava a reemplazar por Vm de matriz	MATRIZ Vmasa	GRAVA			MATRIZ			MEZCLA										
		peso seco en mezcla		G	peso seco en mezcla		G	peso seco total		G	Peso unitario seco (gr/cm3)	Vm cm3	Vv cm3	Vs cm3	e	n(%)	Reducción efectiva del Vv inicial (grava)	
		gr.	%		gr.	%		gr.	%								ΔVv (cm3)	%
0	0	197,76	100,00	2,700	0	0	0	197,76	100,0	2,700	1,660	119,130	45,890	73,240	0,627	38,52	0,00	0,00
5	2,295	197,76	98,44	2,700	3,13	1,56	2,766	200,89	100,0	2,701	1,686	119,130	44,755	74,375	0,602	37,57	1,14	2,47
10	4,589	197,76	96,93	2,700	6,25	3,07	2,766	204,01	100,0	2,702	1,713	119,130	43,624	75,506	0,578	36,62	2,27	4,94
15	6,884	197,76	95,47	2,700	9,38	4,53	2,766	207,14	100,0	2,703	1,739	119,130	42,494	76,636	0,554	35,67	3,40	7,40
20	9,178	197,76	94,05	2,700	12,51	5,95	2,766	210,27	100,0	2,704	1,765	119,130	41,363	77,767	0,532	34,72	4,53	9,87
25	11,473	197,76	92,67	2,700	15,64	7,33	2,766	213,40	100,0	2,705	1,791	119,130	40,232	78,898	0,510	33,77	5,66	12,33
30	13,767	197,76	91,33	2,700	18,76	8,67	2,766	216,52	100,0	2,706	1,818	119,130	39,102	80,028	0,489	32,82	6,79	14,79
35	16,062	197,76	90,03	2,700	21,89	9,97	2,766	219,65	100,0	2,706	1,844	119,130	37,971	81,159	0,468	31,87	7,92	17,26
40	18,356	197,76	88,77	2,700	25,02	11,23	2,766	222,78	100,0	2,707	1,870	119,130	36,840	82,290	0,448	30,92	9,05	19,72
45	20,651	197,76	87,54	2,700	28,15	12,46	2,766	225,91	100,0	2,708	1,896	119,130	35,710	83,420	0,428	29,98	10,18	22,18
50	22,945	197,76	86,35	2,700	31,27	13,65	2,766	229,03	100,0	2,709	1,923	119,130	34,579	84,551	0,409	29,03	11,31	24,65
55	25,240	197,76	85,18	2,700	34,40	14,82	2,766	232,16	100,0	2,710	1,949	119,130	33,448	85,682	0,390	28,08	12,44	27,11
60	27,534	197,76	84,05	2,700	37,53	15,95	2,766	235,29	100,0	2,710	1,975	119,130	32,318	86,812	0,372	27,13	13,57	29,58
65	29,829	197,76	82,95	2,700	40,66	17,05	2,766	238,42	100,0	2,711	2,001	119,130	31,187	87,943	0,355	26,18	14,70	32,04
70	32,123	197,76	81,87	2,700	43,78	18,13	2,766	241,54	100,0	2,712	2,028	119,130	30,056	89,074	0,337	25,23	15,83	34,50
75	34,418	197,76	80,83	2,700	46,91	19,17	2,766	244,67	100,0	2,712	2,054	119,130	28,926	90,204	0,321	24,28	16,96	36,97
80	36,712	197,76	79,81	2,700	50,04	20,19	2,766	247,80	100,0	2,713	2,080	119,130	27,795	91,335	0,304	23,33	18,09	39,43
85	39,007	197,76	78,81	2,700	53,17	21,19	2,766	250,93	100,0	2,714	2,106	119,130	26,664	92,466	0,288	22,38	19,23	41,90
90	41,301	197,76	77,84	2,700	56,29	22,16	2,766	254,05	100,0	2,714	2,133	119,130	25,534	93,596	0,273	21,43	20,36	44,36
95	43,596	197,76	76,90	2,700	59,42	23,10	2,766	257,18	100,0	2,715	2,159	119,130	24,403	94,727	0,258	20,48	21,49	46,82
100	45,890	197,76	75,97	2,700	62,55	24,03	2,766	260,31	100,0	2,716	2,185	119,130	23,272	95,858	0,243	19,54	22,62	49,29

Para los ensayos se seleccionó los especímenes factibles de remoldear en el equipo con pesos unitarios menores de 2.00 gr/cm³, que corresponden a las proporciones menores de matriz.

Las principales características de los especímenes considerados para los ensayos de resistencia al corte como son los pesos unitarios, la proporción en peso y volumen de ambas fracciones se presentan en la Tabla 8.12

TABLA 8.12 ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE CON MATRIZ M.F. 1

ENSAYO	GRAVA		MATRIZ M.F. 1		GRAVA + MATRIZ M.F. 1			
	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vv grava ocupado por Vm matriz (%)	Reducción efectiva Vv inicial grava (%)
1	197,76	98,44	3,13	1,56	200,89	1,686	5	2,47
2	197,76	96,94	6,25	3,06	204,01	1,712	10	4,94
3	197,76	95,47	9,38	4,53	207,14	1,739	15	7,40
4	197,76	94,05	12,51	5,95	210,27	1,765	20	9,87
5	197,76	92,67	15,64	7,33	213,40	1,791	25	12,33
6	197,76	91,34	18,76	8,66	216,52	1,818	30	14,79
7	197,76	88,77	25,02	11,23	222,78	1,870	40	19,72

8.4.1.6 RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRÍZ

A continuación se presenta el resumen de los resultados de los 08 ensayos de corte directo efectuados con la matriz M.F. 1.

En las secciones Anexo II.8 y Anexo II.9 se presentan los informes de los ensayos de laboratorio con la matriz fina M.F.1.

a) ENSAYO 1 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava				
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz		
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	ocupa 5% del Vv grava modelo		ocupa 2,47% del Vv grava modelo		
	M.F. 1	ML	98,44%	1,56%					
Especimen N°				1	2		3		
Esfuerzo normal (kg/cm ²)				0,50	1,00		1,50		
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)				0,5644	1,1070		1,5314		
Etapa				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)				1,720	1,809	1,720	1,812	1,720	1,819
Densidad seca (gr/cm ³)				1,686	1,698	1,686	1,701	1,686	1,707
Contenido de humedad(%)				2,0	6,5	2,0	6,5	2,0	6,6
Angulo de friccion interna				44,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)				0,10					

b) ENSAYO 2 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava				
	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz		
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	ocupa 10% del Vv grava modelo		ocupa 4,94% del Vv grava modelo		
	M.F. 1	ML	96,93%	3,07%					
Especimen N°				1	2		3		
Esfuerzo normal (kg/cm ²)				0,50	1,00		1,50		
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)				0,5644	1,0238		1,5216		
Etapa				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)				1,747	1,834	1,747	1,836	1,747	1,841
Densidad seca (gr/cm ³)				1,713	1,718	1,713	1,727	1,713	1,735
Contenido de humedad(%)				2,0	6,8	2,0	6,4	2,0	6,1
Angulo de friccion interna				43,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)				0,08					

c) ENSAYO 3 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 1	ML	95,47%	4,53%	ocupa 15% del Vv grava modelo		ocupa 7,40% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5819		1,0370		1,4733	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,773	1,837	1,773	1,845	1,773	1,849
Densidad seca (gr/cm ³)			1,739	1,746	1,739	1,752	1,739	1,759
Contenido de humedad(%)			2,0	5,2	2,0	5,3	2,0	5,1
Angulo de friccion interna			41,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,14					

d) ENSAYO 4 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 1	ML	94,05%	5,95%	ocupa 20% del Vv grava modelo		ocupa 9,87% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6344		1,0676		1,4657	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,800	1,889	1,800	1,890	1,800	1,893
Densidad seca (gr/cm ³)			1,765	1,777	1,765	1,782	1,765	1,789
Contenido de humedad(%)			2,0	6,3	2,0	6,1	2,0	5,8
Angulo de friccion interna			39,7 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,22					

e) ENSAYO 5 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 1	ML	92,67%	7,33%	ocupa 25% del Vv grava modelo		ocupa 12,33% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,6253		0,9588		1,3782	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,827	1,888	1,827	1,897	1,827	1,899
Densidad seca (gr/cm ³)			1,791	1,799	1,791	1,808	1,791	1,816
Contenido de humedad(%)			2,0	5,0	2,0	4,9	2,0	4,6
Angulo de friccion interna			37,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,23					

f) ENSAYO 6 – GRUPO M.F. 1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 1	ML	91,33%	8,67%	ocupa 30% del Vv grava modelo		ocupa 14,79% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5863		1,0107		1,4220	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,854	1,925	1,854	1,927	1,854	1,932
Densidad seca (gr/cm ³)			1,817	1,829	1,817	1,834	1,817	1,842
Contenido de humedad(%)			2,0	5,3	2,0	5,1	2,0	4,8
Angulo de friccion interna			39,9 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,17					

g) ENSAYO 7 – GRUPO M.F.1

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 1	ML	88,77%	11,23%	ocupa 40% del Vv grava modelo		ocupa 19,72% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esf. de corte maximo (kg/cm ²)			0,5513		1,0413		1,5007	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,907	1,981	1,907	1,983	1,907	1,984
Densidad seca (gr/cm ³)			1,870	1,878	1,870	1,883	1,870	1,889
Contenido de humedad(%)			2,0	5,5	2,0	5,4	2,0	5,0
Angulo de friccion interna			43,5 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,08					

8.4.1.7 RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.F.1

Los resultados obtenidos con la matriz M.F 1 se resumen en la Tabla 8.13

TABLA 8.13 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON LA PROPORCIÓN DE MATRIZ M.F. 1

ENSAYO	Vv Grava reemplazado por matriz (%)		GRAVA + MATRIZ M.F. 1				
	Vm matriz	Vs matriz	η (%)	γ_d (gr/cm ³)	% Finos pasa tamiz N°200	ϕ (°)	C kg/cm ²
	0,0	0,00	38,52	1,660	0,0	46,5	0,0
1	5,0	2,47	37,57	1,686	1,3	44,0	0,10
2	10,0	4,94	36,62	1,713	2,7	43,7	0,08
3	15,0	7,40	35,67	1,739	3,9	41,7	0,14
4	20,0	9,87	34,72	1,765	5,2	39,7	0,22
5	25,0	12,33	33,77	1,791	6,4	37,0	0,23
6	30,0	14,79	32,82	1,818	7,5	39,9	0,17
7	40,0	19,72	30,92	1,870	9,5	43,5	0,08

Los resultados de la tabla anterior se han graficado y se presentan en las Figuras 8.9 y 8.10.

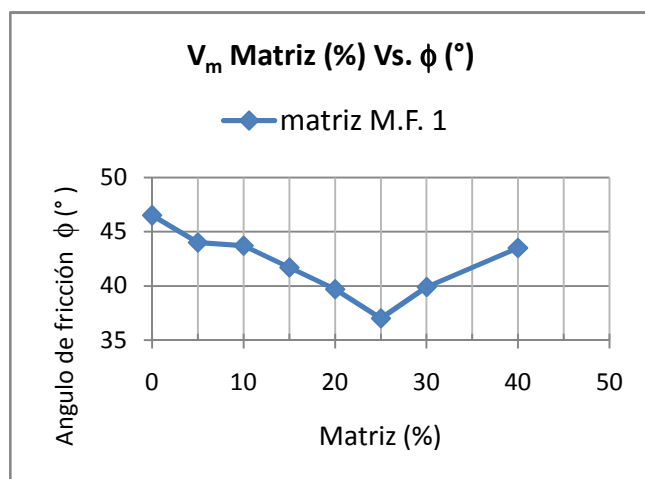


FIGURA 8.9
 Gráfico variación del ángulo de fricción interna de la grava con el incremento de matriz fina M.F.1 (ML).

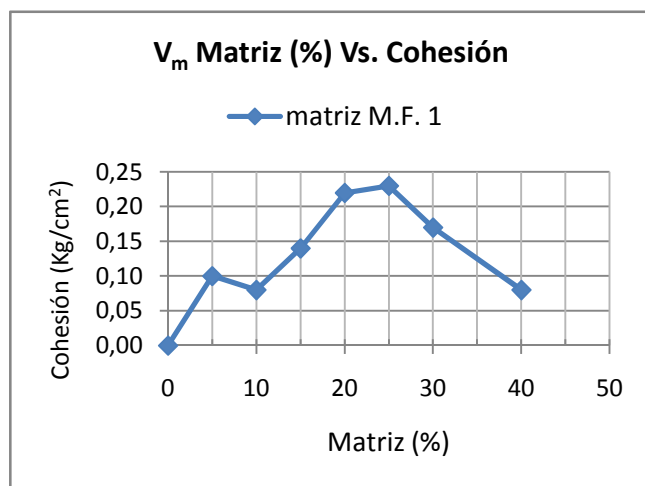


FIGURA 8.10
 Gráfico variación de la cohesión de la grava con el incremento de matriz fina M.F.1 (ML).

De los resultados anteriores se observa lo siguiente:

- El ángulo de fricción interna decrece con el aumento de la matriz hasta que su masa ocupa aproximadamente un 25% del volumen de vacios de la grava.
- Para proporciones de matriz mayores al 25% , el ángulo de fricción interna tiende a aumentar.
- La cohesión tiende a aumentar con el incremento de la matriz.

En las Fotos 8.23 a 8.26 se puede observar la matriz fina M.F.1 y la grava modelo utilizados en este grupo de ensayos.



FOTO 8.23
Bloque inalterado de limo (ML) a utilizado como matriz fina M.F. 1



FOTO 8.24
Bloque de limo M.F.1 y muestra de grava.



FOTO 8.25
Matriz fina M.F. 1 de color beige claro, en estado inalterado y disturbado..



FOTO 8.26
Muestras de matriz fina M.F. 1 y grava menor de ¼".

8.4.2 MATRIZ M.F. 2

8.4.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS GENERALES

Procedencia	:	Chancay -Lima
Peso Unitario húmedo (gr/cm ³)	:	1.671
Peso Unitario seco (gr/cm ³)	:	1.571
Humedad Natural (%)	:	6.3
Gravedad Específica	:	2.710
Límite Líquido (%)	:	39.3
Índice Plástico (%)	:	20.9

8.4.2.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Del análisis granulométrico por tamizado se tiene los siguientes resultados:

Tamaño máximo	:	2.00 mm (Tamíz N°10)
Pasa tamíz N°200	:	95,30 %
Clasificación	:	CL
Denominación	:	Arcilla de baja plasticidad

8.4.2.3 RESISTENCIA AL CORTE DE LA MATRIZ

Se determinó los parámetros de resistencia al corte, mediante el ensayo de corte directo con especímenes inalterados en condición saturada.

Los resultados obtenidos para esfuerzos cortantes máximos son los siguientes:

Angulo de fricción interna, ϕ	:	24.1°
Cohesión (Kg/cm ²)	:	0.16

8.4.2.4 CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS DE LA MATRIZ

En la sección Anexo II.9, se presenta el difractograma correspondiente sin interpretación, se observa una tendencia similar a la de la muestra MF 1 con presencia de minerales de suelos finos. Se adjunta también el reporte de la prueba.

8.4.2.5 PROPORCIÓN DE MATRIZ EN MEZCLA Y REDUCCIÓN DE VOLUMEN DE VACIOS INICIAL DE GRAVA

En la Tabla 8.14, se presentan los cálculos efectuados para determinar los pesos unitarios de los especímenes de ensayo, con el criterio que la matriz ocupe progresivamente el volumen de vacíos de la grava modelo, obteniéndose pesos unitarios mayores a mayor proporción de matriz.

TABLA 8.14 VARIACIÓN DE MATRIZ EN LA COMBINACIÓN GRAVA-MATRIZ M.F.2
 PROPORCIONES DE MEZCLA GRAVA + MATRIZ MATRIZ M.F. 2

Vv de grava a reemplazar por Vm de matriz	MATRIZ Vmasa (cm3)	GRAVA		MATRIZ			MEZCLA											
		peso seco en mezcla		G	peso seco en mezcla		G	peso seco total		G	Peso unitario seco (gr/cm3)	Vm cm3	Vv cm3	Vs cm3	e	n(%)	Reducción efectiva del Vv inicial (grava)	
		gr.	%		gr.	%		gr.	%								ΔVv (cm3)	%
0	0	197,76	100,00	2,700	0	0	0	197,76	100,0	2,700	1,660	119,130	45,890	73,240	0,627	38,52	0,00	0,00
5	2,295	197,76	98,21	2,700	3,60	1,79	2,710	201,36	100,0	2,700	1,690	119,130	44,555	74,575	0,597	37,40	1,33	2,91
10	4,589	197,76	96,48	2,700	7,21	3,52	2,710	204,97	100,0	2,700	1,721	119,130	43,225	75,905	0,569	36,28	2,66	5,81
15	6,884	197,76	94,82	2,700	10,81	5,18	2,710	208,57	100,0	2,701	1,751	119,130	41,895	77,235	0,542	35,17	3,99	8,71
20	9,178	197,76	93,20	2,700	14,42	6,80	2,710	212,18	100,0	2,701	1,781	119,130	40,565	78,565	0,516	34,05	5,32	11,60
25	11,473	197,76	91,65	2,700	18,02	8,35	2,710	215,78	100,0	2,701	1,811	119,130	39,235	79,895	0,491	32,93	6,66	14,50
30	13,767	197,76	90,14	2,700	21,63	9,86	2,710	219,39	100,0	2,701	1,842	119,130	37,905	81,225	0,467	31,82	7,99	17,40
35	16,062	197,76	88,68	2,700	25,23	11,32	2,710	222,99	100,0	2,701	1,872	119,130	36,575	82,555	0,443	30,70	9,32	20,30
40	18,356	197,76	87,27	2,700	28,84	12,73	2,710	226,60	100,0	2,701	1,902	119,130	35,244	83,886	0,420	29,58	10,65	23,20
45	20,651	197,76	85,91	2,700	32,44	14,09	2,710	230,20	100,0	2,701	1,932	119,130	33,914	85,216	0,398	28,47	11,98	26,10
50	22,945	197,76	84,58	2,700	36,05	15,42	2,710	233,81	100,0	2,702	1,963	119,130	32,584	86,546	0,376	27,35	13,31	28,99
55	25,240	197,76	83,30	2,700	39,65	16,70	2,710	237,41	100,0	2,702	1,993	119,130	31,254	87,876	0,356	26,24	14,64	31,89
60	27,534	197,76	82,05	2,700	43,26	17,95	2,710	241,02	100,0	2,702	2,023	119,130	29,924	89,206	0,335	25,12	15,97	34,79
65	29,829	197,76	80,84	2,700	46,86	19,16	2,710	244,62	100,0	2,702	2,053	119,130	28,594	90,536	0,316	24,00	17,30	37,69
70	32,123	197,76	79,67	2,700	50,47	20,33	2,710	248,23	100,0	2,702	2,084	119,130	27,264	91,866	0,297	22,89	18,63	40,59
75	34,418	197,76	78,53	2,700	54,07	21,47	2,710	251,83	100,0	2,702	2,114	119,130	25,934	93,196	0,278	21,77	19,96	43,49
80	36,712	197,76	77,42	2,700	57,67	22,58	2,710	255,43	100,0	2,702	2,144	119,130	24,603	94,527	0,260	20,65	21,29	46,39
85	39,007	197,76	76,34	2,700	61,28	23,66	2,710	259,04	100,0	2,702	2,174	119,130	23,273	95,857	0,243	19,54	22,62	49,28
90	41,301	197,76	75,30	2,700	64,88	24,70	2,710	262,64	100,0	2,702	2,205	119,130	21,943	97,187	0,226	18,42	23,95	52,18
95	43,596	197,76	74,28	2,700	68,49	25,72	2,710	266,25	100,0	2,703	2,235	119,130	20,613	98,517	0,209	17,30	25,28	55,08
100	45,890	197,76	73,28	2,700	72,09	26,72	2,710	269,85	100,0	2,703	2,265	119,130	19,283	99,847	0,193	16,19	26,61	57,98

Para los ensayos se seleccionó los especímenes factibles de remoldear que corresponden a las proporciones menores de matriz.

Las principales características de los especímenes considerados para los ensayos de resistencia al corte como son los pesos unitarios, la proporción en peso y volumen de ambas fracciones se presentan en la Tabla 8.15

TABLA 8.15 ESPECÍMENES PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE CON MATRÍZ M.F. 2

ENSAYO	GRAVA		MATRIZ M.F. 2		GRAVA + MATRIZ M.F. 2			
	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	(%)	Peso seco (gr.)	Peso unitario seco (gr/cm ³)	Vv grava ocupado por Vm matriz (%)	Reducción efectiva Vv inicial grava (%)
1	197,76	98,21	3,60	1,79	201,36	1,690	5	2,91
2	197,76	96,48	7,21	3,52	204,97	1,721	10	5,81
3	197,76	94,82	10,81	5,18	208,57	1,751	15	8,71
4	197,76	93,20	14,42	6,80	212,18	1,781	20	11,60
5	197,76	91,65	18,02	8,35	215,78	1,811	25	14,5
6	197,76	90,14	21,63	9,86	219,39	1,842	30	17,40
7	197,76	88,69	25,23	11,31	222,99	1,872	35	20,3
8	197,76	85,91	32,44	14,09	230,20	1,932	45	26,1

8.4.2.6 RESISTENCIA AL CORTE Y VARIACIÓN DE LA MATRIZ

A continuación se presenta el resumen de los resultados de los 08 ensayos de corte directo efectuados con la matriz M.F. 2.

En las secciones Anexo II.10 y Anexo II.11 se presentan los informes de los ensayos de laboratorio con la matriz fina M.F.2.

a) ENSAYO 1 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 2	CL	98,21%	1,79%	ocupa 5% del Vv grava modelo		ocupa 2,91% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,4857		0,9538		1,4395	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,716	1,736	1,716	1,747	1,716	1,749
Densidad seca (gr/cm ³)			1,690	1,697	1,690	1,703	1,690	1,710
Contenido de humedad(%)			1,5	2,3	1,5	2,6	1,5	2,3
Angulo de fricción interna			43,6 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,01					

b) ENSAYO 2 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 2	CL	96,48%	3,52%	ocupa 10% del Vv grava modelo		ocupa 5,81% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,4944		0,9976		1,4001	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,746	1,813	1,746	1,818	1,746	1,829
Densidad seca (gr/cm ³)			1,721	1,729	1,721	1,735	1,721	1,747
Contenido de humedad(%)			1,5	4,9	1,5	4,8	1,5	4,7
Angulo de fricción interna			42,2 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,06					

c) ENSAYO 3 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 2	CL	94,82%	5,18%	ocupa 15% del Vv grava modelo		ocupa 8,71% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5119		0,9494		1,4614	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,777	1,811	1,777	1,810	1,777	1,821
Densidad seca (gr/cm ³)			1,751	1,759	1,751	1,765	1,751	1,775
Contenido de humedad(%)			1,5	2,9	1,5	2,6	1,5	2,6
Angulo de fricción interna			43,5 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,02					

d) ENSAYO 4 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
	M.F. 2	CL	93,20%	6,80%	ocupa 20% del Vv grava modelo		ocupa 11,60% del Vv grava modelo	
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5250		0,9188		1,4570	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,808	1,881	1,808	1,882	1,808	1,891
Densidad seca (gr/cm ³)			1,781	1,790	1,781	1,793	1,781	1,805
Contenido de humedad(%)			1,5	5,1	1,5	5,0	1,5	4,7
Angulo de fricción interna			43,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,04					

e) ENSAYO 5 – GRUPO M.F. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	91,65%	8,35%	ocupa 25% del Vv grava modelo		ocupa 14,50% del Vv grava modelo	
	M.F. 2	CL						
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5382		1,0370		1,4845	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,838	1,900	1,838	1,908	1,838	1,913
Densidad seca (gr/cm ³)			1,811	1,817	1,811	1,827	1,811	1,837
Contenido de humedad(%)			1,5	4,5	1,5	4,4	1,5	4,1
Angulo de friccion interna			43,4 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,07					

f) ENSAYO 6 – GRUPO M.F. 2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	90,14%	9,86%	ocupa 30% del Vv grava modelo		ocupa 17,40% del Vv grava modelo	
	M.F. 2	CL						
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5119		0,9538		1,4127	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,878	1,940	1,878	1,941	1,878	1,946
Densidad seca (gr/cm ³)			1,842	1,850	1,842	1,855	1,842	1,864
Contenido de humedad(%)			2,0	4,8	2,0	4,6	2,0	4,4
Angulo de friccion interna			42,0 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,06					

g) ENSAYO 7 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava			
			Grava	Matriz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz	
< 1/4"	GRUPO	SUCS	88,69%	11,32%	ocupa 35% del Vv grava modelo		ocupa 20,30% del Vv grava modelo	
	M.F. 2	CL						
Especimen N°			1		2		3	
Esfuerzo normal (kg/cm ²)			0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)			0,5075		0,8532		1,3564	
Etapa			Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)			1,909	1,999	1,909	1,988	1,909	2,011
Densidad seca (gr/cm ³)			1,872	1,882	1,872	1,885	1,872	1,891
Contenido de humedad(%)			2,0	6,2	2,0	5,5	2,0	6,4
Angulo de friccion interna			40,3 °					
Cohesion (Kg/cm ²)			0,06					

h) ENSAYO 8 – GRUPO M.F.2

GRAVA	MATRIZ		Proporción Mezcla (en peso)		Proporción Matriz respecto al Vv inicial grava				
			Grava	Matríz	Volumen masa matriz		Volumen sólidos matriz		
< 1/4"	GRUPO	SUCS	85,91%	14,09%	ocupa 45% del Vv grava modelo		ocupa 26,10% del Vv grava modelo		
	M.F. 2	CL							
Especimen N°				1	2		3		
Esfuerzo normal (kg/cm ²)				0,50		1,00		1,50	
Esfuerzo de corte maximo (kg/cm ²)				0,6388		0,9757		1,5751	
Etapa				Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Densidad húmeda (gr/cm ³)				1,971	2,084	1,971	2,078	1,971	2,074
Densidad seca (gr/cm ³)				1,932	1,941	1,932	1,944	1,932	1,945
Contenido de humedad(%)				2,0	7,4	2,0	6,9	2,0	6,6
Angulo de friccion interna				43,1 °					
Cohesion (Kg/cm ²)				0,13					

8.4.2.7 RESUMEN DE ENSAYOS GRUPO M.F.2

Los resultados obtenidos con la matriz M.F 2 se resumen en la Tabla 8.16

TABLA 8.16 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON LA PROPORCIÓN DE MATRÍZ M.F. 2

ENSAYO	Vv Grava reemplazado por matriz (%)		GRAVA + MATRIZ M.F. 2				
	Vm matriz	Vs matriz	n(%)	γ_d (gr/cm ³)	% Finos pasa tamiz N°200	ϕ (°)	C kg/cm ²
	0,0	0,00	38,52	1,660	0,0	46,5	0,0
1	5,0	2,91	37,40	1,690	1,8	43,6	0,01
2	10,0	5,81	36,28	1,721	3,6	42,2	0,06
3	15,0	8,71	35,17	1,751	4,9	43,5	0,02
4	20,0	11,60	34,05	1,781	6,6	43,0	0,04
5	25,0	14,50	32,93	1,811	8,0	43,4	0,07
6	30,0	17,40	31,82	1,842	9,3	42,0	0,06
7	35,0	20,30	30,70	1,872	10,6	40,3	0,06
8	45,0	26,10	28,47	1,932	13,3	43,1	0,13

En las Figuras 8.11 y 8.12 se observa la variación del ángulo de fricción interna y la cohesión con el incremento progresivo de matriz arcillosa.

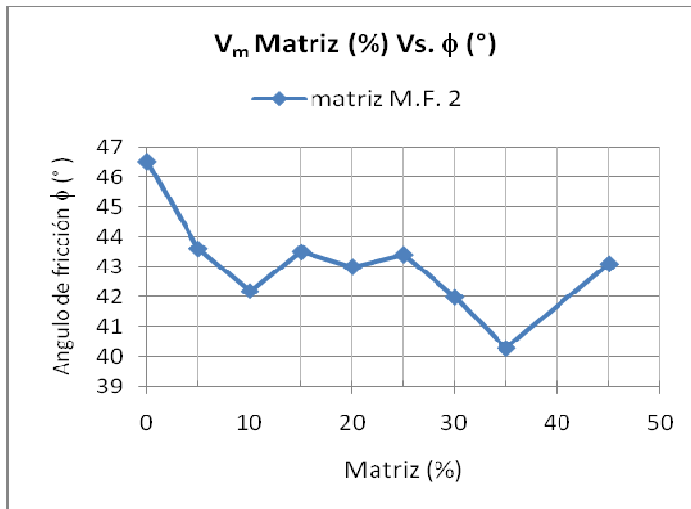


FIGURA 8.11
Gráfico variación del ángulo de fricción interna de la grava con el incremento de la matriz fina M.F.2 (CL).

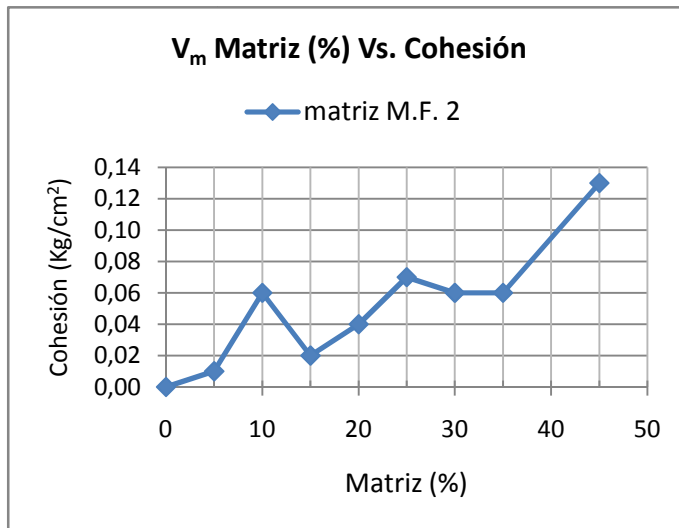


FIGURA 8.12
Gráfico variación de la cohesión de la grava con el incremento de la matriz fina M.F.2 (CL).

De los gráficos anteriores se observa lo siguiente:

- El ángulo de fricción interna decrece con el aumento de la matriz hasta que su masa ocupa aproximadamente un 35% del volumen de vacíos de la grava.
- Para proporciones de matriz mayores al 35% , el ángulo de fricción interna tiende a aumentar.
- La cohesión tiende a aumentar con el incremento de la matriz, pero no es significativo considerando su naturaleza arcillosa

En las Fotos 8.27 a 8.30 se puede observar la matriz fina M.F.1 y la grava modelo utilizados en este grupo de ensayos.



FOTO 8.27

Muestras de arcilla (CL), utilizada como matriz fina M.F. 2.



FOTO 8.28

Muestras de la arcilla M.F.2 en estados inalterado, disturbado y grava seleccionada.



FOTO 8.29
Matriz fina M.F.2 en estado inalterado y disturbado.



FOTO 8.30
Muestras de arcilla y grava para el grupo de ensayos con matriz fina M.F.2.

8.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente investigación se ha efectuado para las siguientes condiciones:

- La grava usada como modelo en los ensayos tiene una granulometría menor de $\frac{1}{4}$ ", tamaño que fue seleccionado considerando el equipo de corte directo a utilizar. La grava tiene una porosidad de 38,52% relación de vacíos 0.627 y un peso unitario seco promedio de 1.660gr/cm³.
- En los ensayos se ha adicionado matriz a la grava, de tal forma que la masa de la matriz ocupa parte del volumen de vacíos inicial de la grava. Es decir se tiene un aumento del peso unitario seco de la mezcla grava + matriz en proporción al porcentaje de matriz utilizado.
- Se utilizó dos tipos de matrices, en el primer grupo de naturaleza arenosa las matrices se clasificaron como arena limosa (SM) y arena pobremente gradada (SP-SM). En el otro grupo las matrices fueron de naturaleza fina y clasificaron como limo (ML) y arcilla de baja plasticidad (CL).

Los resultados obtenidos en ambos grupos nos permiten establecer los siguientes resultados para cada tipo de matriz utilizada y la tendencia general observada considerando todos los ensayos:

8.5.1 En el grupo con matriz arenosa se observó una tendencia a la disminución del ángulo de fricción interna conforme aumenta la proporción de matriz hasta un promedio del 35%, tal como se observa en la Figura 8.13

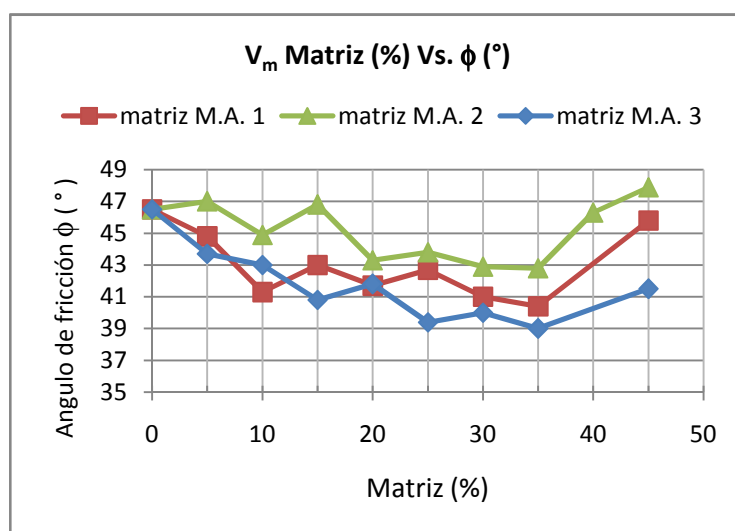


FIGURA 8.13
Resultados grupo matriz arenosa. Variación del ángulo de fricción interna con el incremento de matriz en la grava.

8.5.2 En los ensayos con matriz fina también se observa la tendencia a la disminución del ángulo de fricción interna hasta un promedio de 25% a 35% de matriz, como se observa en la Figura 8.14.

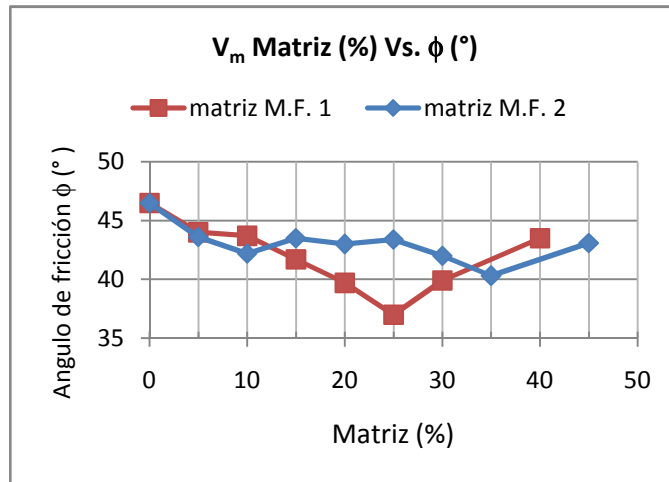


FIGURA 8.14
Resultados grupo matriz fina. Variación del ángulo de fricción interna con el incremento de matriz en la grava.

8.5.3 Para proporciones de matrices mayores a las indicadas, la tendencia es el aumento del ángulo de fricción hasta valores mayores que para el caso de grava sin matriz. Este comportamiento puede estar condicionado por el aumento significativo del peso unitario de los especímenes de ensayos que para proporciones de matriz mayores de 35% son del orden 1.900gr/cm³.

8.5.4 En el caso de la cohesión, se observa que varía inversamente al ángulo de fricción, es decir tiende a aumentar conforme se incrementa la proporción de matriz, tal como puede observarse en las Figuras 8.15 y 8.16.

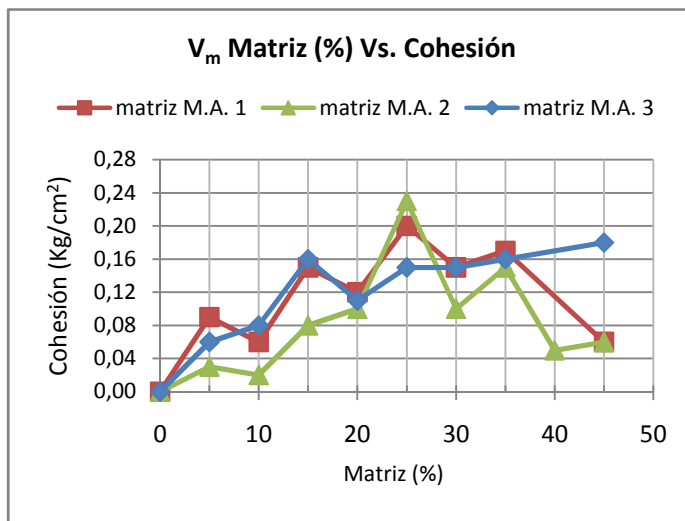


FIGURA 8.15
Variación de la Cohesión con el incremento de matriz en la grava. Resultados del grupo con matriz arenosa.

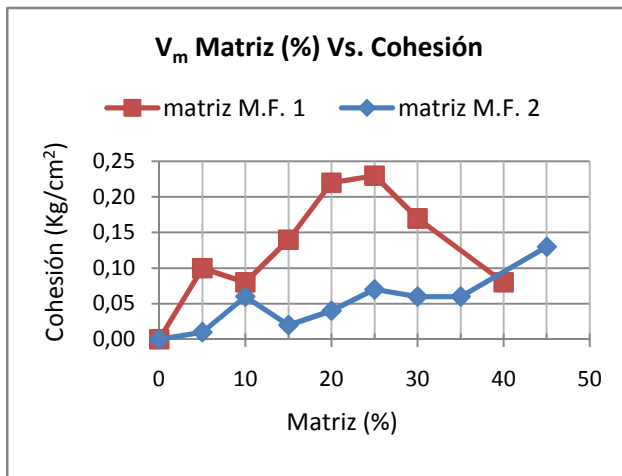


FIGURA 8.16
 Variación de la cohesión con el incremento de matriz en la grava. Resultados del grupo con matriz fina.

8.5.5. En laboratorio los ensayos con matriz arcillosa fue laborioso debido a su plasticidad que dificultó su mezcla con la grava.

8.5.6. Analizando los resultados de los ensayos con las cinco matrices sin diferenciar el tipo vemos que se mantiene la tendencia, el ángulo de fricción interna disminuye conforme se aumenta la proporción de matriz hasta un promedio del 35% tal como se observa en la Figura 8.17. Dentro de este rango la excepción es la matriz fina M.F.2 con la cual la disminución es solo hasta el 25%.

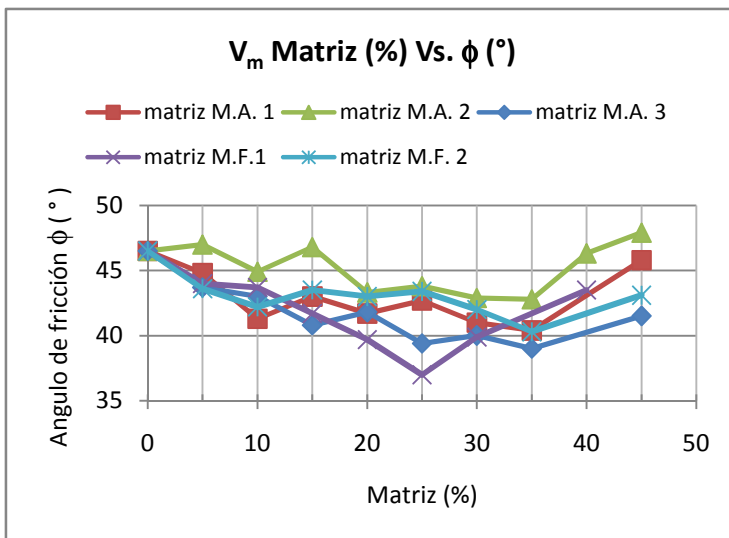


FIGURA 8.17
 Variación del ángulo de fricción interna con el incremento de matriz en la grava. Resultado general para todas las matrices.

8.5.7 La variación en la cohesión considerando las cinco matrices puede observarse en la Figura 8.18, la tendencia es un aumento de la cohesión proporcional al aumento de la matriz, la tendencia es clara hasta un contenido de 25% de matriz. Para proporciones mayores no hay tendencia definida, en algunos casos disminuye y en otros sigue la tendencia al aumento tal como se observa para el caso de la matriz M.A.3 y M.F.2.

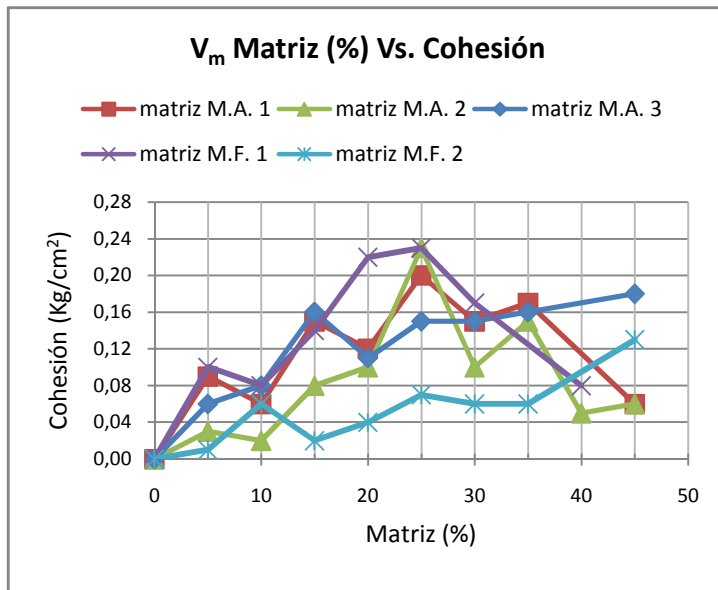


FIGURA N° 8.18
Variación de la cohesión con el incremento de matriz en la grava.
Resultado general para todas las matrices.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) "Standard Test Method for Direct Shear test of Soils under Consolidated Drained Conditions" - ASTM D3080

CAPÍTULO IX

CORRECCIONES Y APLICACIONES

9.1 CORRECCIONES EN LOS PARÁMETROS ϕ y C

Todas las determinaciones de laboratorios expresadas en valores numéricos están sujetas a variaciones, la precisión en la determinación generalmente se expresa en un rango y debería indicarse en las normas respectivas.

En la Norma ASTM D3080 vigente se indica que la información está siendo evaluada para determinar su precisión, en cuanto a la dispersión señala que no puede ser determinada al no disponer de valores referenciales para este ensayo.

A. Martínez V. (1986), adecuó el método estadístico de selección doble de Stein aplicado a la precisión en la determinación de propiedades físicas y mecánicas de suelos ⁽¹⁾, que se muestra en la Tabla 9.1 “Valores de Precisión Confiables Recomendables en la Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Suelos” .

TABLA 9.1

VALORES DE PRECISIÓN CONFIABLES RECOMENDABLES EN LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE SUELOS

DENOMINACIÓN DE LOS INDICES			LIMITE DE VARIACIÓN DE LOS ÍNDICES					ORDEN EXACTITUD*	
DENSIDAD	(t/m ³)	G	> 3	3 - 2.8	2.8 - 2.6	2.6 - 2.4	< 2.4	-	2%
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	
MASA VOLUMÉTRICA	(t/m ³)	γ	> 2.3	2.1 - 2.3	1.8 - 2.1	1.6 - 1.8	< 1.6	-	10% a 2%
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			0.10	0.05	0.05	0.03	0.02	-	
HUMEDAD	(%)	ω	< 10	10 - 20	20 - 40	40 - 60	> 60	-	0.5% a 3%
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	-	
HUMEDAD AL LIMITE DE INFLUENCIA (%)		LL	< 20	20 - 40	40 - 60	> 60	-	-	1% a 4%
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			1	2.0	3.0	4.0	-	-	
HUMEDAD AL LIMITE DE PLASTICIDAD (%)		IP	< 10	10 - 20	20 - 30	> 30	-	-	1% a 3%
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			1.0	1.5	2.0	3.0	-	-	
ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO ^(o)		φ	> 30°	20° - 30°	20° - 25°	15° - 20°	10° - 15°	< 10°	0.5° a 2.5°
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			2.5	2.0-2.5	1.5 - 2.0	0.5 - 1.0	0.5 - 1.0	0.5	
COHESIÓN	(Mpa)	C	> 2	1.0 - 2.0	0.5 - 1.0	0.1 - 0.5	0.05 - 0.10	< 0.05	0.001 a 0.15
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			0.15	0.00 - 0.15	0.05 - 0.10	0.01 - 0.05	0.005 - 0.01	0.001-0.005	
MODULO DE DEFORMACIÓN	(Mpa)		> 40	20 - 40	10 - 20	5 - 10	1.5	< 1.0	0.1 a 5
EXACTITUD DE DETERMINACIÓN			5.0	2.5 - 5.0	1.0 - 2.5	0.5 - 1.0	0.1 - 0.5	0.1	

* OBTENIDO POR EL MÉTODO ESTADISTICO DE SELECCIÓN DOBLE DE STEIN (Adecuado por A. Martinez Vargas. 1986)

A continuación se aplica la corrección por índices de precisión a los resultados experimentales obtenidos en la investigación y que se detallan en el capítulo anterior.

GRAVA CON MATRIZ M.A.1 (SM)

ENSAYO	V _v Grava reemplazado por V _m de matriz (%)	GRAVA + MATRIZ M.A. 1			ÍNDICES DE PRECISIÓN		RESULTADOS CORREGIDOS	
		γ_d (gr/cm ³)	ϕ (°)	C kg/cm ²	$\phi > 30^\circ$ 2,5 °	C < 0.5kg/cm ² (0,01-0,05) kg/cm ²	ϕ (°)	C kg/cm ²
1	0,0	1,660	46,5	0,0	-2,5	0,010	44,0	0,010
2	5,0	1,694	44,8	0,09	-2,5	0,010	42,3	0,100
3	10,0	1,729	41,3	0,06	-2,5	0,010	38,8	0,070
4	15,0	1,763	43,0	0,15	-2,5	0,015	40,5	0,165
5	20,0	1,798	41,7	0,12	-2,5	0,010	39,2	0,130
6	25,0	1,832	42,7	0,20	-2,5	0,020	40,2	0,220
7	30,0	1,867	41,0	0,15	-2,5	0,011	38,5	0,161
8	35,0	1,901	40,4	0,17	-2,5	0,020	37,9	0,190
8	45,0	1,970	45,8	0,06	-2,5	0,010	43,3	0,070

GRAVA CON MATRIZ M.A.2 (SP-SM)

ENSAYO	V _v Grava reemplazado por V _m de matriz (%)	GRAVA + MATRIZ M.A. 2			ÍNDICES DE PRECISIÓN		RESULTADOS CORREGIDOS	
		γ_d (gr/cm ³)	ϕ (°)	C kg/cm ²	$\phi > 30^\circ$ 2,5 °	C < 0.5kg/cm ² (0,01-0,05) kg/cm ²	ϕ (°)	C kg/cm ²
1	0,0	1,660	46,5	0,0	-2,5	0,010	44,0	0,010
2	5,0	1,693	47,0	0,03	-2,5	0,010	44,5	0,040
3	10,0	1,726	44,9	0,02	-2,5	0,010	42,4	0,030
4	15,0	1,759	46,8	0,08	-2,5	0,010	44,3	0,090
5	20,0	1,793	43,3	0,10	-2,5	0,010	40,8	0,110
6	25,0	1,826	43,8	0,23	-2,5	0,02	41,3	0,250
7	30,0	1,859	42,9	0,10	-2,5	0,010	40,4	0,110
8	35,0	1,892	42,8	0,15	-2,5	0,015	40,3	0,165
9	40,0	1,925	46,3	0,05	-2,5	0,010	43,8	0,060
9	45,0	1,958	47,9	0,06	-2,5	0,010	45,4	0,070

GRAVA CON MATRIZ M.A.3 (SM)

ENSAYO	V _v Grava reemplazado por V _m de matriz (%)	GRAVA + MATRIZ M.A. 3			ÍNDICES DE PRECISIÓN		RESULTADOS CORREGIDOS	
		γ_d (gr/cm ³)	ϕ (°)	C kg/cm ²	$\phi > 30^\circ$ 2,5 °	C < 0.5kg/cm ² (0,01-0,05) kg/cm ²	ϕ (°)	C kg/cm ²
1	0,0	1,660	46,5	0,0	-2,5	0,010	44,0	0,010
2	5,0	1,695	43,7	0,06	-2,5	0,010	41,2	0,070
3	10,0	1,730	43,0	0,08	-2,5	0,010	40,5	0,090
4	15,0	1,765	40,8	0,16	-2,5	0,016	38,3	0,176
5	20,0	1,800	41,8	0,11	-2,5	0,011	39,3	0,121
6	25,0	1,836	39,4	0,15	-2,5	0,015	36,9	0,165
7	30,0	1,871	40,0	0,15	-2,5	0,015	37,5	0,165
8	35,0	1,906	39,0	0,16	-2,5	0,016	36,5	0,176
8	45,0	1,976	41,5	0,18	-2,5	0,018	39,0	0,198

GRAVA CON MATRIZ M.F. 1 (ML)

ENSAYO	V _v Grava reemplazado por V _m de matriz (%)	GRAVA + MATRIZ M.F. 1			ÍNDICES DE PRECISIÓN		RESULTADOS CORREGIDOS	
		γ_d (gr/cm ³)	ϕ (°)	C kg/cm ²	$\phi > 30^\circ$ 2,5 °	C < 0.5kg/cm ² (0,01-0,05) kg/cm ²	ϕ (°)	C kg/cm ²
	0,0	1,660	46,5	0,0	-2,5	0,010	44,0	0,010
1	5,0	1,686	44,0	0,10	-2,5	0,010	41,5	0,110
2	10,0	1,713	43,7	0,08	-2,5	0,010	41,2	0,090
3	15,0	1,739	41,7	0,14	-2,5	0,014	39,2	0,154
4	20,0	1,765	39,7	0,22	-2,5	0,022	37,2	0,242
5	25,0	1,791	37,0	0,23	-2,5	0,023	34,5	0,253
6	30,0	1,818	39,9	0,17	-2,5	0,017	37,4	0,187
7	40,0	1,870	43,5	0,08	-2,5	0,010	41,0	0,090

GRAVA CON MATRIZ M.F. 2 (CL)

ENSAYO	V _v Grava reemplazado por V _m de matriz (%)	GRAVA + MATRIZ M.F. 2			ÍNDICES DE PRECISIÓN		RESULTADOS CORREGIDOS	
		γ_d (gr/cm ³)	ϕ (°)	C kg/cm ²	$\phi > 30^\circ$ 2,5 °	C < 0.5kg/cm ² (0,01-0,05) kg/cm ²	ϕ (°)	C kg/cm ²
	0,0	1,660	46,5	0,0	-2,5	0,010	44,0	0,010
1	5,0	1,690	43,6	0,01	-2,5	0,010	41,1	0,020
2	10,0	1,721	42,2	0,06	-2,5	0,010	39,7	0,070
3	15,0	1,751	43,5	0,02	-2,5	0,010	41,0	0,030
4	20,0	1,781	43,0	0,04	-2,5	0,010	40,5	0,050
5	25,0	1,811	43,4	0,07	-2,5	0,010	40,9	0,080
6	30,0	1,842	42,0	0,06	-2,5	0,010	39,5	0,070
7	35,0	1,872	40,3	0,06	-2,5	0,010	37,8	0,070
8	45,0	1,932	43,1	0,13	-2,5	0,013	40,6	0,143

La selección de los índices de precisión se ha efectuado de acuerdo a los siguientes criterios:

- En todos los casos, los valores obtenidos del ángulo de fricción interna son mayores de 30°, de la Tabla 9.1 se tiene que el índice de corrección correspondiente es de 2.5°. Se adoptó un índice negativo para contrarrestar el efecto de incremento del valor experimental por tamaño del molde que ajustadamente cumple con el volumen mínimo requerido por la normatividad ⁽²⁾.
- Los valores de Cohesión en todos los casos son menores de 0.05 Mpa (0.5 kg/cm²), en este caso el índice de corrección está en el rango de 0.001 a 0.005Mpa (0.01 a 0.05 kg/cm²). Se tomó en este caso un índice de corrección proporcional al valor experimental dentro del rango indicado.

- Para el caso de cohesiones nulas ó menores de 0.1 kg/cm², se ha considerado el valor mínimo de 0.001 MPa (0.01 kg/cm²).

9.2 APLICACIONES

Las determinaciones de capacidades de carga admisible basados en los parámetros de resistencia C y ϕ , debe tener en consideración su distribución granulométrica. Las cimentaciones de edificios, reservorios y otras estructuras cimentadas en grava deben considerar en los cálculos los parámetros reales.

Los análisis de estabilidad de presas también debe adoptar corrección en el caso de empleo de fracciones gruesas mayores de 3 pulgadas, que no hayan sido consideradas en los ensayos de laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) “Adecuación del Método Estadístico de Selección Doble de Stein aplicado a la Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Suelos” A. Martínez V. Apuntes de clase, 1986
- (2) “Standard Test Method for Direct Shear test of Soils under Consolidated Drained Conditions” - ASTM D3080

CAPÍTULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 CONCLUSIONES

1. La presente Tesis de Maestría tiene por objetivo el estudio de la influencia de la matriz en el suelo gravoso. La matriz del conglomerado tiene influencia fundamental en su comportamiento, las variaciones en la proporción de la matriz, tipo de suelo y presencia de elementos cementantes, a los cuales se agrega las condiciones de saturación, compacidad, relación de vacíos, entre otros, condiciona su comportamiento.
2. El Perú tiene varias ciudades importantes ubicadas sobre depósitos de gravas y se han reportado casos de gravas especiales en varios lugares, siendo necesario mayor investigación en estos materiales.
3. La investigación de laboratorio sobre estos materiales es limitada por la escasez de equipos apropiados para la realización de ensayos especiales de resistencia, los equipos existentes en nuestro medio son de dimensiones reducidas y apropiadas para ensayos en suelos finos, arenas y gravas de tamaño máximo limitado.
4. Para la grava global con tamaños superiores al tamaño máximo factible de ensayo en los equipos convencionales, se requiere de equipos y aparatos gigantes que no se dispone ó son escasos en nuestro medio.

5. Los ensayos efectuados han tenido como objetivo determinar los parámetros de resistencia C y ϕ de una grava para diversas proporciones de matriz, la condición inicial fue de una grava sin matriz con una porosidad de 38.52% a la cual se le incrementó progresivamente la matriz para que ocupe los vacíos.
6. Para la investigación se utilizó el equipo de corte directo del laboratorio de suelos de la UNI que fue modificado para permitir el ensayo de especímenes de grava con tamaño de partícula máximo de acuerdo a la norma ASTM D3080, se seleccionó la grava con granulometría menor de $\frac{1}{4}$ de pulgada y retenida en el tamiz N°4.
7. En la investigación se utilizó como modelo la grava aluvial depositada en la playa Ventanilla en forma de cordón litoral. Esta grava se seleccionó a sugerencia del asesor de la Tesis por su dureza, procedencia mayoritaria de roca metavolcánica silicificada y forma subredondeada apropiada para los ensayos.
8. Las matrices utilizadas fueron tres muestras inalteradas de arenas procedentes de Madre de Dios, una muestra de limo proveniente de Collique y una muestra de arcilla de Chancay. Las matrices se incorporaron a la grava en forma progresiva, reduciendo su relación de vacíos.
9. Con los ensayos de corte directo se determinó los parámetros de resistencia ϕ y C para los especímenes con proporción de matriz variable, el objetivo fue establecer la tendencia en la variación de estos parámetros a consecuencia de la disminución en su relación de vacíos por incorporación de la matriz.
10. En los ensayos se observó una tendencia a la disminución del ángulo de fricción interna conforme se aumenta la proporción de matriz. Los resultados se consideran representativos hasta un promedio del 35% donde la tendencia es clara. Para mayores proporciones de matriz los especímenes resultantes son de densidades secas altas mayores de 1.900 gr/cm³ sobrecompactadas por el remoldeo por lo que no se consideran representativos.
11. En el caso de la cohesión, se observa que varía inversamente al ángulo de fricción, es decir tiende a aumentar conforme se incrementa la proporción de matriz.

12. Los resultados obtenidos son para un tamaño a escala de la grava de Ventanilla, cuya granulometría completa muestra el predominio de las gravas de $\frac{1}{2}$ " y con tamaño máximo de $1\frac{1}{2}$ ", no habiéndose observado tamaños mayores a 2 pulgadas ni boleos.
13. La investigación puede ampliarse con el ensayo de la misma grava de Ventanilla con su granulometría completa incluyendo tamaños mayores de $\frac{1}{4}$ " para lo cual se requiere el uso de equipos gigantes, esto permitiría establecer parámetros que correlacionen los resultados obtenidos con ambas fracciones.

10.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda mayor investigación de laboratorio en las gravas y la implementación de los laboratorios de nuestro medio con equipos gigantes de mayor diámetro que los existentes en la UNI.
2. Es importante ampliar la presente investigación a la fracción mayor de $\frac{1}{4}$ " de la grava y poder confirmar la tendencia observada ó su variación con el tamaño máximo, por lo cual se recomienda la ejecución de otra Tesis de Investigación que emplee equipos gigantes y la misma grava de Ventanilla.
3. Se recomienda investigar la variación de los parámetros de resistencia para el caso de variación de la proporción grava y matriz, pero sin cambiar el peso unitario de los especímenes. De esta forma podría establecerse una proporción a partir del cual, se pueda afirmar que la matriz predomina en la mezcla.
4. Es recomendable el desarrollo de otros trabajos de investigación que permitan obtener correlaciones para hallar parámetros geotécnicos de la grava en función de resultados obtenidos en laboratorio para fracción de menor tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

- Alva J., López D. (1999)** “Terremoto de Nazca 12 de noviembre de 1996, Perú”, Segunda Conferencia Internacional de Ingeniería Geotécnica Sísmica, Lisboa Junio 1999.
- Aguilar Z., Martínez V., Basurto D. (2009)** “Diseño e Implementación de un equipo de Corte Directo para Suelos Gravosos en el Laboratorio”, XVII Congreso Nacional Ingeniería Civil - Chiclayo noviembre 2009
- ASTM Designation D3080-98 Standard Test Method for Direct Shear test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.**
- Cailleux A. - Tricat J. (1959)** “Initiation a L’etude des Sables et Des Galets” Place De La Sorbonne, París 1959
- Cañari M. (Lima 2001)** “Análisis de Estabilidad de Taludes de la Costa Verde”, Tesis de Grado UNI-FIC
- Carrillo A. (1979)** “Estabilidad y Resistencia del Conglomerado de Lima”; revista “El Ingeniero Civil”; Mayo 1979.
- De la Rosa A. F.(1974)** “Ensayos de Corte Directo In Situ para los Estudios de Factibilidad del Transporte Rápido Masivo de la Gran Lima” Tesis de Grado FIC - UNI
- Fernández E. (1997)** “Investigación del Conglomerado Colapsable de La Cano – Vitor- Arequipa” Tesis de Maestría, FIC-UNI
- Kokusho T. (2006)** “Undrained Strength of gravelly Soil During Earthquakes” Conferencia Sec.Post Grado – FIC-UNI
- Marsal R., Ramírez L. (1969)**; “Contributions and Discussions of Mechanical Properties of Rockfill and Gravel Materials” Instituto de Ingeniería -Mexico
- Martínez A. y Téves N. (1966)** “Estudio sobre los Achantilados desde La Punta al Morro Solar”. I Congreso Nacional de Mca.Suelos.Publicación Lgga -25 FIC-UNI
- Martínez A., Porturas F. (1975)** “ Planos Geotécnicos para Lima-Perú” Publicación Lgga - 66 FIC-UNI
- Martínez A.(1980)** “Gravas Colapsables del Deslizamiento Compuesto del Pie de la Cuesta- Vitor-Arequipa”, XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil – Chiclayo
- Martínez A (1986).** “Adecuación del Método Estadístico de Selección Doble de Stein aplicado a la Determinación de Propiedades Físicas y Mecánicas de Suelos” Apuntes de clase, 1986
- Martínez A. (Mexico 1995)** “Los Suelos Granulares Aluvionales del Perú” ; X Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos; Guadalajara – Jalisco México, 1995.
- Martínez A. (1997)** ”Licuación de Suelos Gravosos”; X CONIC, Trujillo 1997.
- Martínez A. (2000)** “Práctica de Campo en la Costa Verde”, Curso Internacional Nuevas Tendencias de la Mecánica de Suelos del Siglo XXI, Instituto de Desarrollo e Investigación del Perú, Lima, Diciembre 2000.
- Martínez A. (Lima 2001)** “Licuación de Gravas en el Perú” Boletín Técnico M.I.G. N°1 – publicación Sección de Post Grado FIC- UNI Agosto 2003
- Martínez A. (2003)** “Gravas Colapsables” ” Boletín Técnico M.I.G. N°7 – publicación Sección de Post Grado FIC- UNI Abril 2003
- Martínez A. (2008)** “Apreciación y Análisis sobre Gravas Colapsables su Identificación y Caracterización” Apuntes de clase
- Ortigosa P. (2001)** “The Santiago Subway: A Geotechnical Experience in Coarse Soil” Seminario Internacional “Pasado Presente y Futuro de la Geotecnia” Sociedad Peruana de Geotecnia (Lima Marzo 2001).

- Porturas F. (1974)** “Estudio Sedimentológico de la Playa Ventanilla” Tesis de Grado UNMS – Programa Académico de Geología e Ingeniería Geológica – Dpto. de Geología.
- Rashidian, Ishihara, Kokusho, Kanatani y Okamoto (1995).** “Undrained Shearing Behavior of Very Loose Gravelly Soils” *Geotechnical Special Publication N° 56 ASCE: Static and Dynamic properties of Gravelly Soil* pp.77-91
- Rollins, M. et al. (1994)** “Identification and Characterization of Collapsible Gravells” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 120(3)*, pp. 528-542
- Rollins, M. et al (1995)** ”Closure of ‘Identification and Characterization of Collapsible Gravells’” *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE 121(6)*, pp. 511-512
- Shuan L.(1997)** “Determinación de los Parámetros de Resistencia en Suelos Granulares Mediante el Ensayo de Corte Directo In Situ para Fines de Cimentación.Aplicación Intercambio Vial Av. Universitaria – Av.Venezuela” Tesis de Grado FIC - UNI
- Sy A., Campanella, Stewart (1995)** . “BPT-SPT“Correlations for Evaluación of Liquefaction Resistence in Gravelly Soils” *Geotechnical Special Publication N° 56 ASCE: Static and Dynamic properties of Gravelly Soil* pp.1-19
- Verdugo R., Gesche R., De la Hoz K. (2003)**, “Metodología de Evaluación de Parámetros de Resistencia al Corte de Suelos Granulares Gruesos”. 12° Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos e Ing. Geotécnica 22/26 junio 2003 – Cambridge – Massachusetts - USA