UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales

Conductividad Hidráulica de Limos Compactados y
Estabilizados con Bentonita

Autor: Ing. Pablo M. Nieva

Director: Dr. Ing. Franco M. Francisca

Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería
Mención Estructuras y Geotecnia

Junio de 2008

Conductividad Hidráulica de Limos Compactados y Estabilizados con Bentonita

por

Ing. Pablo M. Nieva

Dr. Ing. Franco M. Francisca

Director

Esta Tesis fue enviada a la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, para cumplimentar los requerimientos de obtención del grado académico de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Estructuras y Geotecnia.

Córdoba, Argentina

Julio, 2008

Conductividad Hidráulica de Limos Compactados y Estabilizados
con Bentonita

Aprobada:

.....

.....

.....

Fecha de aprobación: _____

*No hacen falta alas
para hacer un sueño:
basta con las manos,
basta con el pecho,
basta con las piernas
y con el empeño.*

*No hacen falta alas
para ser más bello:
basta el buen sentido
del amor inmenso.*

*No hacen falta alas
para alzar el vuelo.*

Silvio Rodríguez

*a mi familia
y a mi novia Marcela*

Conductividad hidráulica de limos compactados y estabilizados con bentonita

Hydraulic conductivity of compacted silt-bentonite mixtures

RESUMEN

La conductividad hidráulica es una de las propiedades más importantes en el diseño de barreras de contención de rellenos sanitarios. En esta Tesis se estudia el comportamiento hidráulico de los limos loésicos y mezclas de limo-bentonita compactadas usando líquidos permeantes de distinta naturaleza como ser agua deionizada, soluciones de cloruro de sodio y cloruro de calcio y lixiviado. En función de los resultados obtenidos se definen aspectos relevantes para el diseño de las barreras de contención en rellenos sanitarios, cuando se quiera utilizar como material de construcción a los limos de origen loésico del centro de Argentina.

ABSTRACT

Hydraulic conductivity is the most important soil property for the design of earthen liners in landfills. In this work, the hydraulic conductivity of compacted silt-bentonite mixtures is experimentally determined by using deionized water, sodium and calcium chloride solutions and leachate as permeant fluids. The effect of soil fabric, compaction energy, particle fluid interaction, void ratio and effective pressure on the hydraulic conductivity is analyzed. Obtained results allow defining several loessical silt properties relevant for the construction of landfill barrier systems.

AGRADECIMIENTOS

Me es difícil poder expresar en unos cuantos párrafos todo mi agradecimiento a las personas que de alguna manera hicieron posible, a través de su apoyo, consejo, paciencia y fundamentalmente respeto, que esté en esta instancia de mi vida. Se mezclan muchos recuerdos y sensaciones que me producen una gran emoción.

Quiero en primer lugar agradecer a mi familia, Pedro, Mari y Germán por su apoyo y por ser mi ejemplo en muchas cosas de la vida. En especial quiero agradecer a mi madre, por ser de esas personas “imprescindibles” como dice Bertolt Brecht, que luchan toda la vida. También quiero mencionar a los seres queridos que físicamente ya no están pero se encuentran intactos en mis recuerdos.

Agradecer especialmente a mi novia Marcela por su apoyo incondicional, paciencia, contención y fundamentalmente por todo su amor. Gracias por acompañarme.

Quiero agradecer especialmente a mi director Franco Francisca por su confianza, tiempo, dedicación y por haberme dado la oportunidad de aprender y de trabajar a su lado durante estos años.

Quiero reconocer y expresar mi agradecimiento al plantel docente de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mención en Estructuras y Geotecnia en particular a Luis Godoy, Ricardo Rocca, Emilio Redolfi, Roberto Terzariol, Victor Rinaldi, Marcelo Zeballos, Juan Clariá, Ernesto Abril, José Inaudi y Fernando Flores.

A mis compañeros del Grupo de Investigación en Medios Porosos y Aguas Subterráneas Pedro Arrúa, Magalí Carro Pérez y Marcos Montoro. En especial a Marcos por las sugerencias, comentarios, por la compañía y fundamentalmente por su amistad durante estos años en los cuales compartimos cursos y muchas pero muchas horas de ensayos en el laboratorio. Marcos, prometo que antes de irme voy a tomar un mate!

También quiero mencionar y agradecer a mis compañeros del laboratorio Rodrigo, Hugo, Julio, Pedro y Cecilia. Deseo dar las gracias a mis amigos Diego, Claudio, Marcelo y Lucrecia.

Finalmente quiero agradecer a la Secretaria de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Córdoba por la beca que me permitió seguir adelante con mis estudios de posgrado. También agradezco a la Agencia Córdoba Ciencia (actual Ministerio de Ciencia y Tecnología), Minarmco S.A. y SECyT-UNC por el soporte financiero brindado al grupo de investigación en el cual se realizó este Trabajo.

Pablo M. Nieva

ÍNDICE

RESUMEN.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE.....	viii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE.....	7
1.3 ORGANIZACIÓN.....	8
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LA LITERATURA	
2.1 INTRODUCCIÓN.....	9
2.2 SUELOS.....	11
2.2.1 Suelos loésicos.....	13
2.2.2 Suelos arcillosos.....	19
2.3 LÍQUIDOS PERMEANTES.....	24
2.3.1 Tipos de fluidos y propiedades.....	24
2.3.2 Lixiviado.....	26
2.4 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.....	27
2.4.1 Estructura de los suelos compactados y conductividad hidráulica.....	31
2.4.2 Doble capa y conductividad hidráulica en suelos compactados.....	38
2.4.3 Conductividad hidráulica de los suelos compactados.....	41
2.4.4 Conductividad hidráulica de los loess.....	50
2.5 NORMATIVA.....	55
2.5.1 Principales objetivos de los sistemas de contención de residuos.....	55
2.5.2 Normativa.....	56
2.5.3 Barreras de suelo compactado.....	58
2.6 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES.....	63
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1 INTRODUCCIÓN.....	65

3.2 SUELOS	65
3.2.1 Propiedades de los limos	65
3.2.2 Bentonita.....	70
3.3 FLUIDOS	75
3.4 EQUIPOS	76
3.4.1 Permeámetros de molde de compactación.....	77
3.4.2 Permeámetro de celda de consolidación.....	79
3.5 PROCEDIMIENTOS	80
3.5.1 Conductividad hidráulica en el permeámetro de molde de compactación	80
3.5.2 Conductividad hidráulica en el permeámetro de celda de consolidación.....	83
3.6 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES.....	83
CAPÍTULO IV: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DE LIMOS LOÉSSICOS COMPACTADOS	
4.1 INTRODUCCIÓN.....	85
4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS	85
4.2.1 Caracterización de los ensayos.....	86
4.2.2 Muestras permeadas con agua deionizada.....	87
4.2.3 Muestras permeadas con lixiviado y NaCl.....	96
4.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	102
4.4 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES.....	108
CAPÍTULO V: CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DE MEZCLAS COMPACTADAS LIMO-BENTONITA	
5.1 INTRODUCCIÓN.....	111
5.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS	111
5.2.1 Caracterización de los ensayos.....	112
5.2.2 Muestras permeadas con agua deionizada.....	112
5.2.3 Muestras permeadas con lixiviado, NaCl y CaCl ₂	128
5.3 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	133
5.4 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES.....	139
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	
6.1 CONCLUSIONES.....	141

6.2 RECOMENDACIONES PARA FUTUROS ESTUDIOS	142
APÉNDICE A: LISTA DE SÍMBOLOS.....	144
APÉNDICE B: LISTA DE FIGURAS.....	146
APÉNDICE C: LISTA DE TABLAS.....	156
REFERENCIAS.....	158