

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS
DE UN SUELO CONTAMINADO SOMETIDO AL PROCESO DE
LAVADO CON SURFACTANTES”**

Por:

MIRANDA HUANCA JOSE LUIS

**FEBRERO DE 2012
TARIJA - BOLIVIA**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRÁULICAS
DE UN SUELO CONTAMINADO SOMETIDO AL PROCESO DE
LAVADO CON SURFACTANTES”**

Por:

MIRANDA HUANCA JOSE LUIS

Proyecto de Grado II elaborado en la Materia CIV. - 502, presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

FEBRERO DE 2012

TARIJA - BOLIVIA

V° B°

.....
Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo.

PROFESOR GUIA

.....
MSc. Ing. Luis Alberto Yurquina

DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
Lic. Gustavo Succi

VICEDECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Pacheco.

.....
Ing. Marcelo Segovia

.....
Ing. Moisés Diaz

El Tribunal Calificador del presente Proyecto de Ingeniería II, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente es responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

El presente trabajo esta dedicado a mi madre, hermanos, y amigos por brindarme su amor y apoyo incondicional en todos estos años, en especial al ser que me dio la vida que es madre Candida Huanca Reynaldes.

AGRADECIMIENTO:

A Jehová Dios por fortalecerme y guiarme en todos estos años de estudio.

A mi madre los más sinceros reconocimientos porque me brindo su amor y comprensión durante todos estos largos años, a costa de muchos sacrificios y por haberme inculcado con su ejemplo y su noble valores.

A mis catedráticos mi agradecimiento por haberme guiado en el desarrollo de mi trabajo.

A mi familia y amigos por contar siempre con su apoyo indispensable e incondicional.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

Resumen	Página
CAPÍTULO I.	
ASPECTOS GENERALES	
1.1.- Descripción del problema.-.....	1
1.2.-Ubicación geográfica del proyecto.-.....	3
1.3.-Hipótesis.-.....	5
1.4.-Justificación.-.....	5
1.4.1.- Situación del problema.-.....	5
1.5.-Objetivos.-.....	6
1.5.1.-Objetivo general.-.....	6
1.5.2.-Objetivos específicos.-.....	6
1.6.-Alcance.-.....	8
1.7.-Metodología y medios.-.....	9
CAPÍTULO II.	
PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y PROCESO DE LAVADO	
2.1.- Concepto de suelos.-.....	11
2.2.- Tipos de propiedades.-.....	11
2.2.1. Propiedades mecánicas y físicas del suelo.-.....	11
2.2.1.1- Textura de suelo.-.....	12
2.2.1.2.-Estructura de los suelos.-.....	13
2.2.1.2.1.-Un suelo con buena estructura.-.....	14
2.2.1.2.2.-Suelos con mala estructura.-.....	14
2.2.1.3.-Color de los suelos.-.....	14
2.2.1.4.-Porosidad de los suelos.-.....	15
2.2.1.5.-Consistencia de un suelo.-.....	15
2.2.1.5.1.-Determinación de la consistencia del suelo mojado.-.....	16
2.2.2.-Propiedades hidráulicas del suelo.-.....	21
2.2.2.1.-Flujo laminar y turbulento.-.....	21
2.2.2.2.-Ley de Darcy y coeficiente de permeabilidad.-.....	23

2.2.2.3.-Velocidad de descarga, velocidad de filtración y velocidad real.-.....	26
2.2.2.4.- Permeabilidad de los suelos.-.....	27
2.2.2.4.1.- Generalidades.-.....	27
2.2.2.4.2.-Métodos para medir el coeficiente de permeabilidad.-	28
2.2.2.4.3.- Influencia de la temperatura.-.....	33
2.2.2.5.- Sifonamiento.-.....	33
2.2.2.6.-Tensión superficial.-.....	33
2.2.2.7.-Capilaridad en suelos.-.....	33
2.2.2.8.-Succión.-.....	34
2.2.2.9.- Electroósmosis.-.....	34
2.3. Contaminación de los suelos.-.....	35
2.3.1.- La contaminación.-.....	35
2.3.2.-La contaminación del suelo por las actividades humanas.-.....	36
2.4. Técnicas de restauración de los suelos.-.....	37
2.4.1.-Estrategia de restauración.-.....	38
2.4.1.1.-Destrucción o modificación de los contaminantes.-.....	38
2.4.1.2.-Extracción o separación.-.....	38
2.4.1.3.-Aislamiento o inmovilización del contaminante.-.....	38
2.4.2.-Lugar en el que se realiza el proceso de remediación.-.....	38
2.4.2.1.-In situ.-.....	38
2.4.2.2.-Ex situ.-.....	38
2.4.3.-Tipos de tratamientos.-	39
2.4.3.1.-Tratamientos biológicos.-.....	39
2.4.3.2.-Tratamientos fisicoquímicos.-.....	40
2.4.3.3.-Tratamientos térmicos.-.....	42
2.5.- Proceso de lavado de los suelos.-.....	43
2.5.1-Lavado de los suelos.-.....	43
2.5.2.-Ventajas del lavado de los suelos.-.....	45
2.6.- Surfactantes.-.....	45
2.6.1.-Concepto de los surfactantes.-.....	45

2.6.2.-Clasificación de los surfactantes.-.....	46
2.6.2.1.-Iónicos.-.....	46
2.6.2.2.-No iónicos.-.....	46
2.6.3.-Eficiencia del surfactante.-.....	47
2.7.- Normativa en contaminación por hidrocarburos.-.....	47
2.7.1.-Límites máximos permisibles.-.....	47

CAPITULO III.

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1.-Ubicación y delimitación del área de estudio.-.....	50
3.1.1.-Localizacion.-.....	50
3.1.2.-Poblacion.-.....	51
3.1.3.-Problema de la contaminación por hidrocarburos.-.....	51
3.2. Realización del muestreo.-.....	52
3.3.- Lavado del suelo con surfactantes.-.....	55
3.3.1.-Metodo de Castillo-Espinoza.-.....	55
3.3.2.-Desarrollo de la practica.-.....	57
3.4.- Caracterización de los suelos.-.....	58
3.4.1.- Contenido de humedad del lugar.-.....	58
3.4.1.1.-Concepto del contenido de humedad.-.....	58
3.4.1.2.-Material y equipo.-.....	59
3.4.1.3.-Desarrollo de la práctica.-.....	59
3.4.1.3.1.-Método estándar.-.....	60
3.4.2.- Granulometría.-.....	60
3.4.2.1.- Concepto de la granulometría.-.....	60
3.4.2.2.-Enfoque de la granulometría.-.....	61
3.4.2.2.1.-Clasificación de suelos basados en criterios granulométricos.-.....	61
3.4.2.2.2.-Tamaño patrón de tamices.-.....	64
3.4.2.2.3.- Representación de la distribución granulométrica-.....	64
3.4.2.3.-Material y equipo.-.....	65

3.4.2.4.-Desarrollo de la práctica.-.....	66
3.4.3.-Límites de Atterberg.-.....	67
3.4.3.1.- Concepto de los límites.-.....	67
3.4.3.2.-Enfoque de los límites.-.....	67
3.4.3.3.-Material y equipo.-.....	71
3.4.3.4.- Desarrollo de la práctica.-.....	71
3.4.3.4.1.- Límite líquido.-.....	71
3.4.3.4.2.- Límite plástico.-.....	72
3.4.4.-Clasificación del suelo.-.....	73
3.4.4.1.-Concepto sobre la clasificación de los suelos.-.....	73
3.4.4.2.-Metodos de clasificación de suelos.-.....	74
3.4.4.2.1.-Clasificación Aashto.-.....	74
3.4.4.2.1.1-Índice de grupo.-.....	77
3.4.4.2.2.-Clasificación unificada.-.....	77
3.4.5. Permeabilidad.-.....	81
3.4.5.1.-Concepto de permeabilidad.-.....	81
3.4.5.2.-Enfoque de la permeabilidad.-.....	81
3.4.5.2.1.- Permeámetro de carga variable.-.....	82
3.4.5.3.- Desarrollo de la práctica.-.....	82
3.4.6.- Compactación.-.....	84
3.4.6.1.-Concepto de la compactación.-.....	84
3.4.6.2.-Enfoque de la compactación.-.....	86
3.4.6.2.1.- Prueba proctor estándar.-.....	86
3.4.6.2.2.-Teoría de compactación.-.....	87
3.4.6.2.3.-Relación entre la humedad y el peso específico.-.....	89
3.4.6.2.4.- Curva de compactación.-.....	90
3.4.6.3.-Material y equipo.-.....	91
3.4.6.4.-Desarrollo de la práctica.-.....	91

CAPITULO IV

ANÁLISIS COMPARATIVO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.-Resultados, Comparación y Análisis.-.....	93
4.1.1.-Granulometría.-.....	93
4.1.1.1.- Comparación técnica.-.....	93
4.1.1.2.- Análisis de los resultados.-.....	94
4.1.2.-Límites de Consistencia.-.....	95
4.1.2.1.- Comparación técnica.-.....	95
4.1.2.2.- Análisis de los resultados.-.....	96
4.1.3.- Clasificación de los suelos.-.....	97
4.1.3.1.- Comparación técnica.-.....	97
4.1.3.2.- Análisis de los resultados.-.....	97
4.1.4.-Permeabilidad.-.....	98
4.1.4.1.- Comparación técnica.-.....	98
4.1.4.2.- Análisis de los resultados.-.....	98
4.1.5.-Compactacion.-.....	100
4.1.5.1.- Comparación técnica.-.....	100
4.1.5.2.-Análisis de los resultados.-.....	101

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.-Conclusiones.-.....	102
5.2.-Recomendaciones.-.....	103

Bibliografía

Anexos

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página:
FIGURA N°2.1.- Distinción experimental objetiva entre el flujo laminar y el turbulento.-	21
FIGURA N°2.2.- Variación de la velocidad con el gradiente hidráulica en el tiempo laminar y turbulento.-.....	22
FIGURA N°2.3.-Distribución de velocidades en un conducto con flujo laminar.-.....	23
FIGURA N° 2.4.-Esquema del dispositivo experimental de Darcy.-.....	24
FIGURA N°2.5.-Esquema que ilustra la distinción entre la velocidad de descarga y la de filtración.-.....	25
FIGURA N°2.6.-Prueba de permeabilidad bajo carga constante.-.....	29
FIGURA N°2.7.-Esquema de permeámetro de carga constante.-.....	29
FIGURA N°2.8.-Prueba de permeabilidad bajo carga variable.-.....	31
FIGURA N°2.9.-Ascensión capilar del agua en arena seca.-.....	33
FIGURA N°2.10.- Fuerzas introducidas por el agua de contacto.-.....	34
FIGURA N°2.11.- Proceso de lavado del suelo (EPA, 1996).-.....	45
FIGURA N°3.12.-Como debe quedar las muestra en el platillo del Casagrande.-.....	69
FIGURA N°3.13.-suelo bien graduado.-.....	78
FIGURA N°3.14.-suelo bien graduado.-.....	78
FIGURA N°3.15.- Diagrama del permeámetro de carga variable.-.....	83
FIGURA N°3.16.-Proceso de energía al suelo.-.....	85
FIGURA N°3.17.-Influencia de Humedad de Compactación.-.....	90

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pagina:
GRAFICA N°4.1.-Promedio curvas granulométricas (<i>SNC</i>), (<i>SC</i>) y (<i>SL</i>).-.....	94
GRAFICA N°4.2.-Comparación del límite líquido para las tres condiciones del suelo.-....	95
GRAFICA N°4.3.-Comparación en las curvas de compactación de las tres condiciones del suelo.-.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina:
TABLA N°2.1.-Rango de la permeabilidad hidráulica para varios suelos.-.....	32
TABLA N°2.2.-Hidrocarburos que deben analizarse en función del producto contaminante.....	47
TABLA N°2.3.- Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en suelo.	48
TABLA N°3.4.-Algunas clasificaciones granulométricas de los suelos según su tamaño, son las siguientes.-.....	62
TABLA N°3.5.-Descripción aproximada que nos da el diámetro de las partículas.-.....	63
TABLA N°3.6.-Tamaño patrón de tamices.-.....	64
TABLA N°3.7.-Tabla para la clasificación AASHTO.-.....	76
TABLA N°4.8.-Tabla de resumen: granulometría (<i>SNC</i>), (<i>SC</i>) y (<i>SL</i>).-.....	93
TABLA N°4.9.-Resumen: Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico.-.....	96
TABLA N°4.10.-Clasificación del suelo no contaminado.-.....	97
TABLA N°4.11.-Clasificación del suelo contaminado.-.....	97
TABLA N°4.12.-Clasificación del suelo lavado.-.....	97
TABLA N°4.13.-Resumen de valores promedio para coeficientes de permeabilidad en las tres condiciones de suelo.-.....	98
TABLA N°4.14.-Resumen de valores promedio para las tres condiciones de suelo.-.....	100

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Página:

FOTOGRAFÍA N° 1.1 .-Vista Satelital del Pozo x2 (Bermejo).-.....	2
FOTOGRAFÍA N° 1.2 .- Foto de acceso al pozo x2 (Bermejo).-.....	2
FOTOGRAFÍA N° 1.3 .-Ubicación del Proyecto dentro de Bolivia.-.....	3
FOTOGRAFÍA N° 1.4.-Ubicación del Proyecto dentro del Departamento de Tarija.-.....	4
FOTOGRAFÍA N° 1.5.-Ubicación dentro de la Provincia Arce.-.....	4
FOTOGRAFÍA N° 3.6.-Ubicación del pozo Bermejo X2.-.....	50
FOTOGRAFÍA N° 3.7.-Visiblemente se ve suelo contaminado con petróleo.-.....	52
FOTOGRAFÍA N° 3.8.-Visiblemente no se nota la contaminación. Suelo de referencia.-...	53
FOTOGRAFÍA N° 3.9.-Pesado de la muestra para sacar la Densidad Aparente.-.....	54
FOTOGRAFÍA N° 3.10.-Muestra cerrada en bolsas de plástico.-.....	54
FOTOGRAFÍA N° 3.11.-Método del lavado del suelo a través de una malla N°200 (es el método que se usará).-.....	66
FOTOGRAFÍA N° 3.12.-Copa de Casagrande y ranurador.-.....	72
FOTOGRAFÍA N° 3.13.-Prueba de límite plástico.-.....	73
FOTOGRAFÍA N° 3.14.-Permeámetro de carga variable y pisón.-.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina
CUADRO N° 2.1.-Determinar la adhesividad del suelo mojado.-.....	17
CUADRO N° 2.2.-Determinar la plasticidad del suelo mojado.-.....	18
CUADRO N° 2.3.-Determinación de la consistencia del suelo húmedo.-.....	19
CUADRO N° 2.4.-Determinación de la consistencia del suelo seco.-.....	20
CUADRO N° 2.5.-Nomenclatura Hidrocarburos que deben analizarse.-.....	48
CUADRO N°3.6.-Definición de la humedad del suelo.-.....	58
CUADRO N° 3.7.-Localización relativa de los límites de concentración.-.....	70
CUADRO N° 3.8.-Clasificación de suelos sistema AASHTO.-.....	74
CUADRO N° 3.9.-Clasificación de suelos sistema AASHTO.-.....	75
CUADRO N° 3.10.-Carta de plasticidad.-.....	80
CUADRO N° 3.11.-Clasificación de suelos SUSC.-.....	80
CUADRO N° 3.12.-Efectos de la compactación.-.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N°1.-Planilla de ensayos de los suelos “Contenido de humedad del lugar”.-

ANEXO N°2.-Planilla de ensayos de los suelos “Granulometría”.-

ANEXO N°3.-Planilla de ensayos de los suelos “Límites de Atterberg”.-

ANEXO N°4.-Planilla de ensayos de los suelos “Clasificación”.-

ANEXO N°5.-Planilla de ensayos de los suelos “Compactación Standard T-99”.-

ANEXO N°6.-Planilla de ensayos de los suelos “permeabilidad”.-

ANEXO N°7.-Planilla de ensayos para suelo lavado con 0.7% y 0.9% de surfactante.-

ANEXO N°8.-Tabla de resumen suelo lavado (0.5%), (0.7%) y (0.9%).-

ANEXO N°9.- Planilla de cálculos métricos y precios unitarios.-