



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA CIVIL**

**TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS
SUELOS MEJORADOS CON EL SISTEMA DE “JET-GROUTING” EN
LA CONSTRUCCION DE LA LÍNEA 1 DEL METRO DE QUITO.**

CHRISTIAN ALEJANDRO PÉREZ RODRIGUEZ

JEAN PAUL LAIME DONOSO

DIRECTOR: ING. WILSON CANDO

QUITO 2019

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por su amor, y su guía y por siempre levantarme y estar junto a mí a lo largo de este proceso educativo.

A mis padres, Patricio y María, los cuales siempre me han apoyado en todo momento y me brindan su guía. Gracias por su amor y ser el ejemplo de trabajo y constancia.

A mi hermana, y su familia, por darme su amor y apoyo.

A mi novia, Katya, por ser mi fuerza y darme palabras de aliento cuando las necesitaba, sin ti nada de esto hubiese sido posible.

A mi amigo, Steven, por su amistad única, desinteresada y su apoyo en los momentos más duros.

A mis compañeros de carrera y todos quienes forman parte de la PUCE, por toda la ayuda brindada para que esta investigación se realice.

A los Ingenieros, Wilson Cando, Jorge Bucheli y Jorge Albuja, por todos los conocimientos brindados, y de su tiempo y experiencia.

Jean

AGRADECIMIENTO

Dedico este proyecto a mis padres, por todo su amor y apoyo, gracias a ellos es posible cumplir esta meta en mi vida.

A mi compañero de tesis Christian, por el compromiso y apoyo para que esta investigación salga adelante.

A SIKA Ecuador por su valioso aporte técnico

Jean

DEDICATORIA

El siguiente trabajo de disertación está dedicado a mis padres por permitirme estudiar esta profesión en esta prestigiosa institución y a mi familia por apoyarme en todos los momentos.

Christian.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a la empresa "SIKA del Ecuador" por ayudarnos con información y los aditivos para realizar este trabajo de investigación, también quiero agradecer al "Laboratorio de materiales resistencia de materiales, mecánica de suelos, pavimentos y geotecnia de la PUCE" por permitirnos realizar este trabajo de investigación en sus instalaciones y finalmente al Ing. Wilson Cando, Ing. Jorge Bucheli y al Ing. Jorge Albuja por su ayuda como director y correctores de este trabajo de investigación respectivamente.

Christian.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como finalidad analizar y desarrollar una comparativa del mejoramiento de suelos mediante el método de “JET-GROUTING”, haciendo uso del mortero que fue empleado para la estabilización e impermeabilización de suelos, en los pozos y salidas de emergencia del proyecto Metro de Quito línea 1 y posteriormente se generó y analizó la variación del mortero con la adición de bentonita al 1%, 2%, 2.5% y 3% y el uso de aditivos Sikament N100, Sigunit L65 y cemento puzolánico Selvalegre tipo IP.

Las muestras que se utilizaron para este trabajo de investigación fueron obtenidas en el sector de la Av. Rodrigo de Chávez y Pedro Dorado (La pileta), a las cuales se les realizó ensayos de laboratorio y se determinó sus características físicas mediante una clasificación SUCS. A los 15 metros se realizó ensayos Triaxiales UU sin saturar de esta manera se obtuvo sus características mecánicas en estado natural, para posteriormente recrear un mejoramiento del suelo haciendo uso del mortero en análisis.

Palabras clave: Metro de Quito, Jet-Grouting, mejoramiento de suelo

ABSTRACT

The purpose of this research work is to analyze and develop a comparison of soil improvement through the “JET-GROUTING” method, using the mortar that was used for the stabilization and waterproofing of soils, in the wells and outlets of emergency of the Metro de Quito project line 1 and subsequently the variation of the mortar was generated and analyzed with the addition of 1%, 2%, 2.5% and 3% bentonite and the use of additives Sikament N100, Sigunit L65 and Puvalanic cement Selvagre type IP.

The samples that were used for this research work were obtained in the sector of Av. Rodrigo de Chávez and Pedro Dorado (The pool), to which laboratory tests were carried out and their physical characteristics were determined by means of an SUCS classification. At 15 meters, Triaxial UU unsaturated trials were carried out in this way, its mechanical characteristics were obtained in its natural state, to subsequently recreate an improvement of the soil using the mortar in analysis.

Keywords: Metro de Quito, Jet-Grouting, soil improvement

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE GRÁFICAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE FIGURAS	XVI
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. ALCANCE.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.4. OBJETIVO.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. ANTECEDENTES.....	4
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. JET-GROUTING.....	5
2.1.1. Historia Jet-Grouting.....	5
2.1.2. Que es el Jet-Grouting.....	6
2.1.3. Sistemas de Jet-Grouting.....	8
2.1.4. Descripción del método Jet-Grouting.....	10
2.1.5. Resistencia de columnas suelo-cemento de Jet-Grouting.....	12
2.1.6. Parámetros fundamentales de Jet-Grouting.....	13
2.1.7. Materiales Jet-Grouting.....	14
2.1.8. Consideraciones Económicas.....	16
2.1.9. Aplicaciones Jet-Grouting	17
2.1.10. Lechada y parámetros de ejecución para columnas de inyección Jet-Grouting del metro de Quito Línea 1 para pozos y salida de emergencia	18
2.2. TRIAXIAL (UU) SIN SATURAR.....	21
2.3. TEORÍA SUCS.....	23
2.4.1. Simbología.....	24
2.4.2. Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos	27
2.4.2.1. Proceso para realizar el ensayo de límite líquido.....	28
2.4.2.2. Proceso para realizar el ensayo de límite plástico.....	30
2.4. ENSAYO CORTE DIRECTO DE SUELO.....	31
3.1. MEZCLA DE LECHADA	32
3.1.1. Mecanismo de estabilización de suelos con cemento.....	33
3.1.2. Dosificación	33

3.2.	ENSAYO DE VISCOSIDAD	34
3.2.1.	Viscosidad dinámica.....	35
3.2.2.	Viscosidad cinemática	35
3.2.3.	Ensayo de viscosidad del método Marsh	35
3.3.	BENTONITA	36
CAPITULO 3: PROCESO DE ENSAYO.....		37
3.1.	TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO.....	37
3.2.	PROCESO DE ENSAYOS SUCS.....	42
3.3.	PROCESO ENSAYO TRIAXIAL SIN SATURAR.....	44
3.4.	PROCESO DE RECREACIÓN LECHADA METRO DE QUITO (MORTEROS)....	46
3.5.	PROCESO DE INYECCION DE LECHADA PARA.....	49
CAPITULO 4: RESULTADOS		53
4.1.	RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN (SUCS).....	53
4.1.1.	CLASIFICACIÓN SUCS (2m)	53
4.1.1.1.	Contenido de humedad norma ASTM D2216 (2m).....	53
4.1.1.2.	Límite plástico norma ASTM D4318 (2m).....	53
4.1.1.3.	Límite líquido norma ASTM D4318 (2m)	53
4.1.1.4.	Carta de plasticidad SUCS (2m)	53
4.1.1.5.	Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (2m)	54
4.1.1.6.	Curva granulométrica (2m).....	54
4.1.1.7.	Resumen de resultados y clasificación (2m).....	54
4.1.2.	CLASIFICACIÓN SUCS (3m)	55
4.1.2.1.	Contenido de humedad norma ASTM D2216.....	55
4.1.2.2.	Límite plástico norma ASTM D4318	55
4.1.2.3.	Límite líquido norma ASTM D4318	55
4.1.2.4.	Carta de plasticidad SUCS (3m)	55
4.1.2.5.	Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (3m)	56
4.1.2.6.	Curva granulométrica (3m).....	56
4.1.2.7.	Resumen de resultados y clasificación (3m).....	56
4.1.3.	CLASIFICACIÓN SUCS (6m)	57
4.1.3.1.	Contenido de humedad norma ASTM D2216 (6m).....	57
4.1.3.2.	Límite plástico norma ASTM D4318 (6m).....	57
4.1.3.3.	Límite líquido norma ASTM D4318 (6m)	57
4.1.3.4.	Carta de plasticidad SUCS (6m)	58
4.1.3.5.	Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (6m)	58
4.1.3.6.	Curva granulométrica (6m).....	58
4.1.3.7.	Resumen de resultados y clasificación (6m).....	59
4.1.4.	CLASIFICACIÓN SUCS (8m)	59
4.1.4.1.	Contenido de humedad norma ASTM D2216 (8m).....	59
4.1.4.2.	Límite plástico norma ASTM D4318 (8m).....	59
4.1.4.3.	Límite líquido norma ASTM D4318 (8m)	60
4.1.4.4.	Carta de plasticidad SUCS (8m)	60
4.1.4.5.	Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (8m)	60
4.1.4.6.	Curva granulométrica (8m).....	61
4.1.4.7.	Resumen de resultados y clasificación (8m).....	61
4.1.5.	CLASIFICACIÓN SUCS (10m)	62

4.1.5.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (10m).....	62
4.1.5.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (10m).....	62
4.1.5.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (10m).....	62
4.1.5.4. Carta de plasticidad SUCS (10m).....	63
4.1.5.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (10m).....	63
4.1.5.6. Curva granulométrica (10m).....	63
4.1.5.7. Resumen de resultados y clasificación (10m).....	64
4.1.6. CLASIFICACIÓN SUCS (12m).....	64
4.1.6.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (12m).....	64
4.1.6.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (12m).....	64
4.1.6.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (12m).....	65
4.1.6.4. Carta de plasticidad SUCS (12m).....	65
4.1.6.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (12m).....	65
4.1.6.6. Curva granulométrica (12m).....	66
4.1.6.7. Resumen de resultados y clasificación (12m).....	66
4.1.7. CLASIFICACIÓN SUCS (15m).....	67
4.1.7.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (15m).....	67
4.1.7.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (15m).....	67
4.1.7.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (15m).....	67
4.1.7.4. Carta de plasticidad SUCS (15m).....	68
4.1.7.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (15m).....	68
4.1.7.6. Resumen de resultados y clasificación (15m).....	68
4.1.7.7. Resumen de resultados y clasificación (15m).....	69
4.2. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS.	
70	
4.2.1. Mortero de cemento 0% bentonita.....	70
4.2.1.1. Resistencia a la compresión lechada con el 0% de bentonita.....	70
4.2.1.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 0%.....	70
4.2.1.3. Exudación bentonita 0%.....	71
4.2.2. Mortero de cemento 1% bentonita.....	71
4.2.2.1. Resistencia a la compresión lechada con el 1% de bentonita.....	71
4.2.2.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 1%.....	72
4.2.2.3. Exudación bentonita 1%.....	72
4.2.3. Mortero de cemento 2% bentonita.....	73
4.2.3.1. Resistencia a la compresión lechada con el 2% de bentonita.....	73
4.2.3.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 2%.....	73
4.2.3.3. Exudación bentonita 2%.....	74
4.2.4. Mortero de cemento 2.5% bentonita.....	74
4.2.4.1. Resistencia a la compresión lechada con el 2.5% de bentonita.....	74
4.2.4.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 2,5%.....	75
4.2.4.3. Exudación bentonita 2,5%.....	75
4.2.5. Mortero de cemento 3% bentonita.....	76
4.2.5.1. Resistencia a la compresión lechada con el 3% de bentonita.....	76
4.2.5.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 3%.....	76
4.2.5.3. Exudación bentonita 3%.....	77
4.2.6. Gráfica de resumen.....	77
4.2.6.1. Gráfica comparativa de bentonita vs la resistencia.....	77
4.2.6.2. Gráfica comparativa de la resistencia con 0%, 1%, 2%, 2.5% y 3% de bentonita.....	78
4.3. VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS.....	78

4.3.1. Tabla de viscosidades.....	78
4.3.2. Grafica de comparación de viscosidades.....	79
4.4. ENSAYOS TRIAXIAL (UU) SIN SATURAR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA Y ANGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO ANTES Y DESPUES DEL MEJORAMIENTO.	80
4.4.1. Resultado suelo a 15m de profundidad (suelo sin mejorar).	80
4.4.1.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	80
4.4.1.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	80
4.4.1.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	80
4.4.1.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).81	
4.4.1.2. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	81
4.4.1.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	81
4.4.1.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	82
4.4.1.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).82	
4.4.1.3. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	83
4.4.1.3.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	83
4.4.1.3.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	83
4.4.1.3.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).84	
4.4.1.4. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo sin mejorar).84	
4.4.1.5. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).	85
4.4.2. Resumen suelo a 15m de profundidad (suelo mejorado).	86
4.4.2.1. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo mejorado).	86
4.4.2.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).....	86
4.4.2.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).	86
4.4.2.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado)...	87
4.4.2.2. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo mejorado).	87
4.4.2.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).	87
4.4.2.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).	88
4.4.2.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado)...	88
4.4.2.3. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo mejorado)...	89
4.4.2.4. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).	90
4.4.3. Resumen suelo de muestra del sector plaza de toros Quito (suelo sin mejorar).	90
4.4.3.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	90
4.4.3.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	90
4.4.3.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	91
4.4.3.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar) 91	
4.4.3.2. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	92
4.4.3.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	92
4.4.3.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	92
4.4.3.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).93	
4.4.3.3. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	93
4.4.3.3.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).	93
4.4.3.3.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).....	94
4.4.3.3.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).94	
4.4.3.4. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo sin mejorar).95	
4.4.3.5. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).	96
4.4.4. Resumen suelo de muestra del sector plaza de toros Quito (suelo mejorado).	96
4.4.4.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo mejorado).	96
4.4.4.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).....	96

4.4.4.1.2.	Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).....	97
4.4.4.1.3.	Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado)...	97
4.4.4.2.	Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorado).....	98
4.4.4.2.1.	Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorado).....	98
4.4.4.2.2.	Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorado).....	98
4.4.4.2.3.	Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorado).	
	99	
4.4.4.3.	Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorado).....	99
4.4.4.3.1.	Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorado).....	99
4.4.4.3.2.	Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorado).....	100
4.4.4.3.3.	Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorado).	
	100	
4.4.4.4.	Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo mejorado)..	101
4.4.4.5.	Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).....	102
5.	CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	103
5.1.	CONCLUSIONES.....	103
5.2.	RECOMENDACIONES.....	110
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
7.	ANEXOS.....	114

ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Gráfica de la resistencia según su edad al 0%	70
Gráfica N° 2: Gráfica de la resistencia según su edad al 1% bentonita.	72
Gráfica N° 3: Gráfica de la resistencia según su edad al 2% de bentonita.	73
Gráfica N° 4: Gráfica de la resistencia según su edad al 2.5% de bentonita.	75
Gráfica N° 5: Gráfica de la resistencia según su edad al 3% de bentonita.	76
Gráfica N° 6: Gráfica de bentonita vs resistencia variando el porcentaje de bentonita	77
Gráfica N° 7: Gráfica ilustrativa de la resistencia de la lechada con bentonita al 1%, 2%, 2.5% y 3%.....	78
Gráfica N° 8: Grafica ilustrativa de la viscosidad de lechad con bentonita.....	79
Gráfica N° 9: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	80
Gráfica N° 10: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	82
Gráfica N° 11: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).....	83
Gráfica N° 12: Envolverte de los estados de carga (suelo sin mejorar).	85
Gráfica N° 13: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo mejorado).....	86
Gráfica N° 14: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo mejorado).....	88
Gráfica N° 15: Envolverte de los estados de carga (suelo mejorado).	89
Gráfica N° 16: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito.	91
Gráfica N° 17: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).....	92
Gráfica N° 18: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).....	94
Gráfica N° 19: Envolverte de los estados de carga (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).....	95
Gráfica N° 20: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).....	97
Gráfica N° 21: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).....	98
Gráfica N° 22: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).....	100
Gráfica N° 23: Envolverte de los estados de carga (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).....	101
Gráfica N° 24: Grafico ilustrativo ensayo triaxial 4.1.1.	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Parámetros de trabajo. (Boletín Oficial del Estado, 2002)	8
Tabla N° 2: Parámetros generales Jet-Grouting. (Labad, 1989)	12
Tabla N° 3: Dosificación lechada metro de Quito de pozos y salidas de emergencia	18
Tabla N° 4: Parámetros de ejecución Jet-Grouting-metro de Quito de pozos y salidas de emergencia.....	19
Tabla N° 5: Simbología SUCS 1. (ASTM D-2487, 1952).....	24
Tabla N° 6: Simbología SUCS 2. (ASTM D-2487, 1952).....	25
Tabla N° 7: Simbología SUCS 3 (ASTM D-2487, 1952).....	26
Tabla N° 8: Propiedades Químicas de la bentonita. (J. A. PINZÓN BELLO, 1996)	36
Tabla N° 9: Contenido de humedad (2m)	53
Tabla N° 10: Resumen límite plástico (2m).....	53
Tabla N° 11: Resumen límite plástico (2m).....	53
Tabla N° 12: Granulometría (2m)	54
Tabla N° 13: Resultados humedad natural y límites de atterberg (2m).	54
Tabla N° 14: Análisis granulométrico (2m).....	54
Tabla N° 15: Contenido de humedad (3m)	55
Tabla N° 16: Resumen límite plástico (3m).....	55
Tabla N° 17: Resumen límite plástico (3m).....	55
Tabla N° 18: Granulometría (3m)	56
Tabla N° 19: Resultados humedad natural y límites de atterberg (3m)	56
Tabla N° 20: Análisis granulométrico (3m).....	57
Tabla N° 21: Contenido de humedad (6m)	57
Tabla N° 22: Resumen límite plástico (6m).....	57
Tabla N° 23: Resumen límite plástico (6m).....	57
Tabla N° 24: Granulometría (6m).	58
Tabla N° 25: Resultados humedad natural y límites de atterberg (6m).	59
Tabla N° 26: Análisis granulométrico (6m).	59
Tabla N° 27: Contenido de humedad (8m)	59
Tabla N° 28: Resumen límite plástico (8m).....	59
Tabla N° 29: Resumen límite plástico (8m).....	60
Tabla N° 30: Granulometría (8m).	60
Tabla N° 31: Diagrama de granulometría (8m).....	61
Tabla N° 32: Resultados humedad natural y límites de atterberg (8m).	61
Tabla N° 33: Análisis granulométrico (8m).	61
Tabla N° 34: Contenido de humedad (10m).	62
Tabla N° 35: Resumen límite plástico (10m).....	62
Tabla N° 36: Resumen límite plástico (10m).....	62
Tabla N° 37: Granulometría (10m).	63
Tabla N° 38: Resultados humedad natural y límites de atterberg (10m).	64
Tabla N° 39: Análisis granulométrico (10m).	64
Tabla N° 40: Contenido de humedad (12m)	64
Tabla N° 41: Resumen límite plástico (12m).....	64
Tabla N° 42: Resumen límite plástico (12m).....	65

Tabla N° 43: Granulometría (12m).	65
Tabla N° 44: Resultados humedad natural y límites de atterberg (12m).	66
Tabla N° 45: Análisis granulométrico (12m).	66
Tabla N° 46: Contenido de humedad (15m).	67
Tabla N° 47: Resumen limite plástico (15m).	67
Tabla N° 48: Resumen limite plástico (15m).	67
Tabla N° 49: Granulometría (15m).	68
Tabla N° 50: Resultados humedad natural y límites de atterberg (15m).	69
Tabla N° 51: Análisis granulométrico (15m).	69
Tabla N° 52: Resistencia de los morteros según su edad al 0%	70
Tabla N° 53: Exudación de la muestra al 0%	71
Tabla N° 54: Resistencia de los morteros según su edad al 1% de bentonita	71
Tabla N° 55: Exudación de la muestra al 1% de bentonita.	72
Tabla N° 56: Resistencia de los morteros según su edad al 2% de bentonita.	73
Tabla N° 57: Exudación de la muestra al 2% de bentonita.	74
Tabla N° 58: Resistencia de los morteros según su edad al 2.5% de bentonita.	74
Tabla N° 59: Exudación de la muestra al 2.5% de bentonita	75
Tabla N° 60: Resistencia de los morteros según su edad al 3% de bentonita.	76
Tabla N° 61: Exudación de la muestra al 3% de bentonita.	77
Tabla N° 62: Datos de la viscosidad de la lechada con distintos tipos de bentonita.	78
Tabla N° 63: Detalles de la muestra a 15m y 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).	80
Tabla N° 64: Condición de corte a 50Kpa (suelo sin mejorar)	81
Tabla N° 65: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo sin mejorar).	81
Tabla N° 66: Detalles de la muestra a 15m y 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).	81
Tabla N° 67: Condición de corte a 100Kpa (suelo sin mejorar).	82
Tabla N° 68: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo sin mejorar).	82
Tabla N° 69: Detalles de la muestra a 15m y 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).	83
Tabla N° 70: Condición de corte a 200Kpa (suelo sin mejorar).	84
Tabla N° 71: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo sin mejorar).	84
Tabla N° 72: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo sin mejorar).	84
Tabla N° 73: Detalles de la muestra a 15m y 100 Kpa de presión (suelo mejorado).	86
Tabla N° 74: Condición de corte a 100Kpa (suelo mejorado).	87
Tabla N° 75: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo mejorado).	87
Tabla N° 76: Detalles de la muestra a 15m y 200 Kpa de presión (suelo mejorado).	87
Tabla N° 77: Condición de corte a 200Kpa (suelo mejorado).	88
Tabla N° 78: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo mejorado).	88
Tabla N° 79: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo mejorado).	89
Tabla N° 80: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	90
Tabla N° 81: Condición de corte a 50Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito). ...	91
Tabla N° 82: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	91
Tabla N° 83: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	92

Tabla N° 84: Condición de corte a 100Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	.93
Tabla N° 85: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	93
Tabla N° 86: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	93
Tabla N° 87: Condición de corte a 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	.94
Tabla N° 88: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	94
Tabla N° 89: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	95
Tabla N° 90: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 50 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	96
Tabla N° 91: Condición de corte a 50Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	97
Tabla N° 92: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	97
Tabla N° 93: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 100 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	98
Tabla N° 94: Condición de corte a 100Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	99
Tabla N° 95: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	99
Tabla N° 96: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 200 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	99
Tabla N° 97: Condición de corte a 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	100
Tabla N° 98: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	100
Tabla N° 99: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	101
Tabla N° 100: Resultados triaxial sin saturar sur de Quito.	107
Tabla N° 101: Resultados triaxial sin saturar norte de Quito.	108
Tabla N° 102: Variación de cohesión y ángulo de fricción varios autores.	108
Tabla N° 103: comparación de densidades ensayo triaxial 4.4.1.	109

ÍNDICE FIGURAS

Figura N° 1: Columnas de Jet-Grouting. (Soperco, 2019).....	7
Figura N° 2: sistema fluido único. (Zuloafa-Fábrega).....	9
Figura N° 3: Sistema de doble fluido. (Zuloafa-Fábrega).....	9
Figura N° 4: Sistema de triple fluido. (Zuloafa-Fábrega).....	10
Figura N° 5: secuencias de operaciones Jet-Grouting. (Labad, 1989).....	11
Figura N° 6: Resistencia a la compresión soilcrete. (Jet Grouting – Soilcrete®, 2019).....	13
Figura N° 7: Cemento Portland Puzolánico Tipo IP-Selvalegre.....	14
Figura N° 8: Acelerante Sika Sigunit L65 y superplastificante Sika Sikament N100.....	15
Figura N° 9: Bentonita Sika.....	15
Figura N° 10: Rango de aplicación soilcrete. (Jet Grouting – Soilcrete®, 2019).....	17
Figura N° 11: Mapa de inyecciones Jet-Grouting metro de Quito.....	20
Figura N° 12: Envolverte de Mohr. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011).....	21
Figura N° 13: Preparación de la muestra para ensayo triaxial.....	22
Figura N° 14: Carta de clasificación SUCS. (Hollemart, 2011).....	27
Figura N° 15: Procedimiento LL.....	29
Figura N° 16: Copa de casa grande.....	29
Figura N° 17: Muestras para LL.....	30
Figura N° 18: Descripción grafica del ensayo de corte. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007).....	31
Figura N° 19: Proceso de corte directo en la maquina. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007).....	32
Figura N° 20: Viscosidad de Marsh. (Llampa, 2019).....	36
Figura N° 21: Lugar donde se extraerán las muestras sector pileta.....	37
Figura N° 22: Proceso de extracción de muestras.....	38
Figura N° 23: Presencia de materiales solidos (relleno/ladrillo).....	38
Figura N° 24: Muestra extraída a los 2m.....	39
Figura N° 25: Muestra extraída a los 3m.....	39
Figura N° 26: Muestra extraída a los 6m.....	40
Figura N° 27: Muestra extraída a los 8m.....	40
Figura N° 28: Muestra extraída a los 10m.....	41
Figura N° 29: Muestra extraída a los 12m.....	41
Figura N° 30: Muestra extraída a los 15m.....	42
Figura N° 31: Preparación del suelo.....	42
Figura N° 32: Copa de casa grande para el ensayo de límite líquido.....	43
Figura N° 33: Tamizado para análisis granulométrico norma ASTM D 6913.....	43
Figura N° 34: Toma de muestras para determinar las humedades.....	43
Figura N° 35: Remoldeo de las muestras previo al ensayo triaxial UU sin saturar.....	44
Figura N° 36: Colocación de la muestra en la máquina de Triaxial.....	45
Figura N° 37: Figura después del ensayo.....	45
Figura N° 38: Aditivos adquiridos para poder realizar la recreación acelerante Sika L65 y el súper plastificante Sika N100.....	46
Figura N° 39: Bentonita Sika usada en la variación de mezclas.....	47
Figura N° 40: Dosificación al peso de bentonita, L65, N100 y cemento Selvalegre.....	47
Figura N° 41: Proceso de mezclado de los elementos que conforman la lechada.....	48
Figura N° 42: Cubos fraguados y desmoldados.....	48

Figura N° 43: Proceso de rotura de cubo.	49
Figura N° 44: Proceso de remoldeo.	49
Figura N° 45: Muestras selladas con bentonita previa inyección.	50
Figura N° 46: Emulación de inyección de la lechada	51
Figura N° 47: Muestra en proceso de ensayo.....	51
Figura N° 48: Muestra mejorada después del ensayo	52
Figura N° 49: Carta SUCS señalando el resultado a (2m)	53
Figura N° 50: Diagrama de granulometría (2m).....	54
Figura N° 51: Carta SUCS señalando el resultado a (3m)	55
Figura N° 52: Diagrama de granulometría (3m).....	56
Figura N° 53: Carta SUCS señalando el resultado a (6m).	58
Figura N° 54: Diagrama de granulometría (6m).	58
Figura N° 55: Carta SUCS señalando el resultado a (8m).	60
Figura N° 56: Carta SUCS señalando el resultado a (10m).	63
Figura N° 57: Diagrama de granulometría (10m).	63
Figura N° 58: Carta SUCS señalando el resultado a (12m).	65
Figura N° 59: Diagrama de granulometría (12m).	66
Figura N° 60: Carta SUCS señalando el resultado a (15m).	68
Figura N° 61: Diagrama de granulometría (15m).	68
Figura N° 62: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo sin mejorar).....	85
Figura N° 63: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo mejorado).....	90
Figura N° 64: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).	96
Figura N° 65: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).	102

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Dentro de este plan de investigación se busca la determinación de las características de los suelos mejorados versus las características del suelo en estado natural mediante el sistema de “Jet-Grouting” en el proceso de construcción de la línea 1 del metro de Quito en el sector de la Av. Rodrigo de Chávez y Pedro Dorado (La Pileta).

En las últimas décadas se han creado gran variedad de métodos de mejoramiento de suelos mediante la inyección de morteros para mejorar las características mecánicas del suelo, como una alternativa a estos métodos tradicionales se creó en Japón el método de Jet-Grouting el cual densifica y mejora suelos de baja resistencia, es una técnica de alta presión que consiste en romper el suelo mezclándolo con un mortero a presión así se consigue el llenado de huecos y discontinuidades, incrementando las características mecánicas del terreno en el cual se aplica este sistema, este método depende bastante en la maquinaria empleada para lograr buenos resultados entre sus aplicaciones se encuentra impermeabilización del suelo, recalce de cimentaciones, creación de muros de contención. (CONSTRUMÁTICA, s.f.)

Para la fabricación de morteros se utiliza comúnmente materiales como: Cemento puzolánico Selvalegre tipo IP, agua y en ciertos casos bentonita. A esta mezcla se le añade Superplastificante que actúa como reductor de agua como por ejemplo Sikament N100 (SIKA, 2014), entre sus características esta facilitar el bombeo, disminuir la exudación y aumento de resistencia inicial del mortero. Se recomienda el uso de acelerante creado para usos como muros,

túneles y hormigón lanzado ya que sus características aportan de mejor manera a proyectos de esta importancia una alternativa de acelerante es el Sigunit L-65 (SIKA, 2017).

1.2. JUSTIFICACIÓN

En vista a la construcción de la Línea 1 del Metro de Quito, iniciada en el año 2016 se ha provisto realizar mejoramientos de suelo con la finalidad de estabilizar y evitar asentamientos diferenciales en sectores colindantes de la obra, por lo que nuestra evaluación se enfocará en comprobar si dicho mejoramiento de suelo propuesto para su ejecución es el adecuado para llegar a las propiedades físicas y geo-mecánicas requeridas que podrían ser replicadas en mejoramientos posteriores de suelos con las mismas características.

1.3. ALCANCE

Se realizará extracción de núcleos para determinar los parámetros mecánicos del suelo, mediante la prueba rápida Triaxial (UU) sin saturar, se realizará cuatro pruebas para comparar y verificar los resultados esperados antes y después de la inyección de mortero (4 ensayos triaxiales).

Se realizará recreación del mortero utilizado para el tratamiento de Jet-Grouting (45 muestras), la cual será comprobada su resistencia en laboratorio y analizar su comportamiento con la adición de bentonita al 1%, 2%, 2,5% y 3% con relación al peso del cemento.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la Construcción de la línea 1 del Metro de Quito se debió realizar en ciertos sectores un mejoramiento de suelos, para aumentar la capacidad física y geo-mecánicas del suelo; los cuales ayudarán a estabilizar e impermeabilizar el suelo para que no exista asentamientos

diferenciales y de esta manera salvaguardar las edificaciones colindantes a la superficie de la construcción, y evitando daños tanto en la parte estructural y no estructural de la mismas.

Por esto, debemos verificar que la dosificación utilizada para el sistema de Jet-Grouting cumple con dichas especificaciones diseñadas para el objetivo propuesto, además plantearemos alternativas basadas en dicha dosificación para comprobar una resistencia óptima.

1.4. OBJETIVO

1.4.1. Objetivo general

Realizar una evaluación de las técnicas de mejoramiento de suelo aplicadas a la construcción de la Línea 1 del Metro de Quito en el sector comprendido en el sector de la Av. Rodrigo de Chávez y Pedro Dorado mediante una comparación de las propiedades mecánicas del suelo antes y después del mejoramiento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la calidad del mortero utilizado para el procedimiento de Jet-Grouting en el mejoramiento de suelo mediante una comparación de ensayos de compresión de morteros.
- Evaluar las propiedades mecánicas del suelo antes de mejoramiento y después del mejoramiento mediante ensayo de Triaxial (UU) sin saturar.
- Adicionar en laboratorio cuatro porcentajes de bentonita al mortero original del Metro de Quito y determinar sus resistencias, exudación y viscosidad.

1.5. ANTECEDENTES

En este sentido y de acuerdo con lo establecido en el documento identificado con el código PMQ-CL1-D-OBCTRT-ESL-MTD-0001-01B: “Propuesta de Ejecución de Campo de Pruebas de Columnas de Jet-Grouting en la Quebrada Rio Grande”, se realizaron 16 columnas de prueba para evaluar los tratamientos del terreno mediante la técnica Jet-Grouting. (Quito, 2016)

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1. JET-GROUTING

2.1.1. Historia Jet-Grouting

Sus inicios no se encuentran documentados, pero se tiene indicios que el uso de esta técnica que combina mortero con altas presiones de manera in situ se dio en sus inicios por los años 1950 a cargo de la compañía *Cementación Co.* En la región de Pakistán. Se dio una evolución de este sistema en las décadas siguientes en Japón, a cargo de los hermanos Yamakado a partir del año 1965 de manera simultánea con las investigaciones de Nakanishi y Yahiro. (Zuloafa-Fábrega)

En el año 1973 Yahiro desarrollo el uso de tres boquillas concéntricas para el proceso, utilizando agua, aire y mortero, lo que permite romper el suelo y mezclarlo con el mortero a esta técnica se le dio el nombre de *Jet-Grouting*. (Zuloafa-Fábrega)

Por otra parte, Nakanishi desarrollo su técnica que consistía en inyectar mortero a alta presión usando una boquilla dentro de una perforación que al momento de girar y ascender dejaba conformada una columna de suelo-cemento. Este procedimiento recibió el nombre de Churning Pile o CCP Jet-Grouting. (Zuloafa-Fábrega)

La metodología a de Jet-Grouting fue presentada al mundo el mes de abril de 1974 en Cambridge (Inglaterra), en el segundo simposio de Jet-Cutting. Los señores T. Yahiro y H. Yoshida de Japón describieron como un método de tratamiento del terreno que se encontraba siendo usado en su país al cual se lo llamaba Jet-Grouting que en esencia consistía en la elaboración de un hueco en el terreno de manera plana, usando como herramientas un chorro de agua a alta

velocidad (jet), mediante un tubo independiente se hacía llenar el hueco con la mezcla a inyección, este sistema descrito requería perforaciones adyacentes para la evacuación de los detritus de esta manera se lograban crear en el terreno elementos o paneles impermeables y coherentes que podían ser dispuestos de manera horizontal y vertical. Para lograr una mejor eficiencia del corte. (Labad, 1989)

A partir de esto se empezó a utilizar ampliamente en todo el mundo esta metodología de tratamiento para suelos, hoy en día su uso más común se ha orientado en la creación de elementos de suelo-cemento que de manera contigua o aisladas pueden servir para problemas como recalce de cimentaciones, así como de contención del terreno e impermeabilización. (Labad, 1989)

2.1.2. Que es el Jet-Grouting

Es un método de mejora del terreno a profundidad, mediante la mezcla del terreno con un mortero a presión que conforman elementos de suelo-cemento, se debe aclarar que esto no es exclusivo del Jet-Grouting, otro método similar es la técnica de columnas de cal a profundidad que puede lograr mejoramiento del terreno. (Labad, 1989)

Usualmente se clasifica a la técnica de Jet-Grouting como una técnica a inyección de alta presión, debido que las bombas que se utilizan para introducir el mortero, deben ser capaces de alcanzar presiones altas que se encuentran entre 40,53 MPA a 70,93 MPA. Pero internamente en el taladro no rige estas presiones mencionadas, sino las presiones generadas por el peso de la columna del fluido y la presión necesaria para mantener la circulación del fluido de no ser de

esta manera la batería de perforación y de inyección se verían afectadas y siendo disparadas hacia el exterior con resultados graves. Se puede afirmar que el Jet-Grouting es una técnica a inyección de fluidos por medio de perforaciones para modificar sus propiedades mecánicas y características de permeabilidad. (Labad, 1989)

La principal característica es el uso del Jet o chorro de alta velocidad es que actúa como herramienta de corte y mezcla del terreno, hay que considerar la velocidad del fluido en la manguera de salida estará en el orden de 200 a 300 m/s con estos valores se justifica como jet. (Labad, 1989)



Figura N° 1: Columnas de Jet-Grouting. (Soperco, 2019)

2.1.3. Sistemas de Jet-Grouting

Se presentan tres diferentes sistemas esto dependerá de la maquinaria y el aspecto económico y tipo de suelo.

Parámetros del trabajo	Fluido sencillo	Doble fluido (aire)	Doble fluido (agua)	Triple fluido
Presión de mortero (MPA)	30-50	30-50	>2	>2
Caudal de mortero (L/min)	50-450	50-450	50-200	50-200
Presión de agua (MPA)	-----	-----	30-60	30-60
Caudal de agua (L/min)	-----	-----	30-150	30-150
Presión de aire (MPA)	-----	0,2-1,7	-----	0,2-1,7
Caudal de aire (L/min)	-----	3,0-12,0	-----	3,0-12,0

Tabla N° 1: Parámetros de trabajo. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Fluido único: Se considera único fluido cuando la disgregación y cementación de los suelos se logra por medio de un chorro de un único fluido por medio de una alta presión que, en general, es un mortero. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

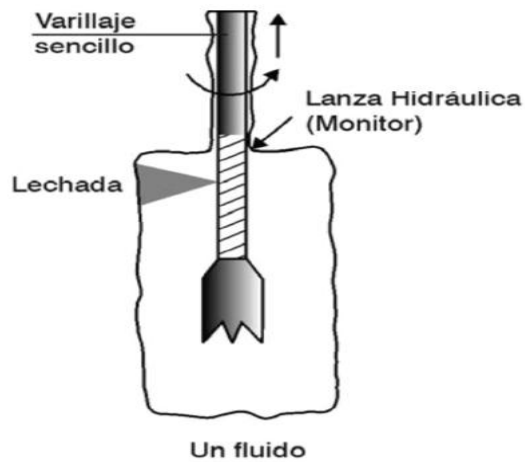


Figura N° 2: sistema fluido único. (Zuloafa-Fábrega)

Doble fluido (aire): Es cuando la disgregación y cementación de los suelos se efectúa mediante un fluido, usualmente mortero, en conjunto de un chorro de aire a presión que actúa como segundo fluido. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Doble fluido (agua): Este sistema es cuando la disgregación de los suelos se logra usando un chorro de agua a altas presiones, siendo el segundo fluido el mortero para conseguir la cementación del suelo. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

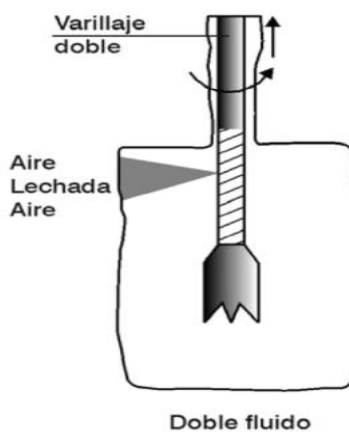


Figura N° 3: Sistema de doble fluido. (Zuloafa-Fábrega)

Triple fluido: Se utiliza para disgregar el terreno un chorro de agua a alta presión, apoyado por un chorro de aire a una alta presión, y como tercer fluido el mortero para lograr la cementación del terreno. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

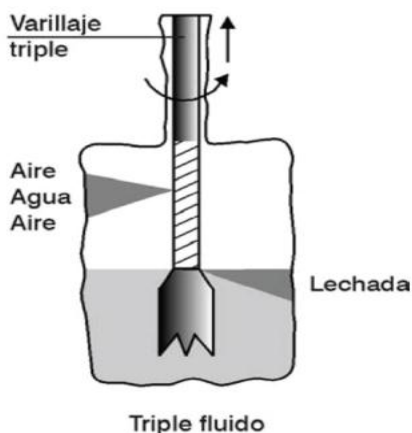


Figura N° 4: Sistema de triple fluido. (Zuloafa-Fábrega)

2.1.4. Descripción del método Jet-Grouting

El Jet-Grouting es un método in situ para estabilización de los suelos el cual consiste en la disgregación del suelo o roca fragmentada, mezclándolo y de manera parcial sustituyéndolo por un elemento cementante. La disgregación se efectúa por medio de un fluido de alta energía que puede ser con el propio agente cementante, este método depende bastante de la maquinaria que se empleara y sus características mecánicas.

Como primer paso de operación consiste en realizar una perforación con un taladro de 10 cm de diámetro, hasta lograr la profundidad máxima requerida para el tratamiento deseado en la cual se inserta un varillaje metálico que en el fondo se encuentra equipado con dos o más mangueras de pequeño diámetro que están en el orden de 1,5 - 3,0 mm, esto es para la posterior inyección

de la mezcla. En sistemas más sencillos las perforaciones se realizan empleando el mismo varillaje para la inyección. (Labad, 1989)

Una vez que se logra alcanzar la profundidad necesaria para el tratamiento se obtura la salida del fluido de perforación y se reemplaza este por la mezcla de inyección haciendo uso de una bomba de alta presión que únicamente podrá salir por las mangueras a una gran velocidad de esta manera se logrará la disgregación del terreno. (Labad, 1989)

El método se ejecuta haciendo girar el varillaje y levantándolo lentamente, y al mismo tiempo generando la inyección, debido a esto obtiene como resultado una columna cilíndrica de suelo estabilizado con la altura necesaria. (Labad, 1989)

En el esquema de la Figura N° 5 se ilustra las secuencias de operaciones de Jet-Grouting que son las siguientes:

- 1 y 2 perforación
- 3 y 4 tratamiento del terreno
- 5 columna de suelo tratado

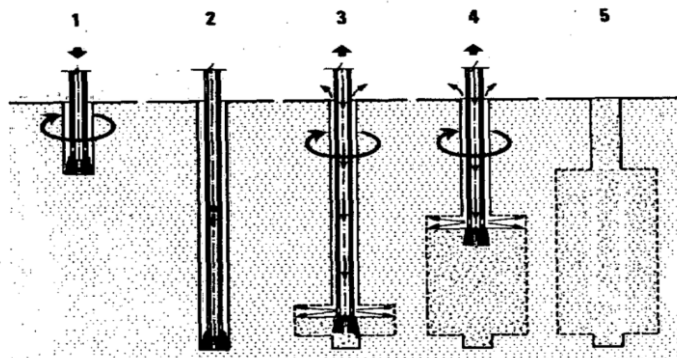


Figura N° 5: secuencias de operaciones Jet-Grouting. (Labad, 1989)

Como parámetros generales sobre el Jet-Grouting los podemos encontrar en la Tabla N° 2:

Velocidad rotación del varillaje	10 a 30 rpm
Velocidad de extracción	20 a 70 cm por minuto
Caudal de inyección	60 a 80 lt por minuto

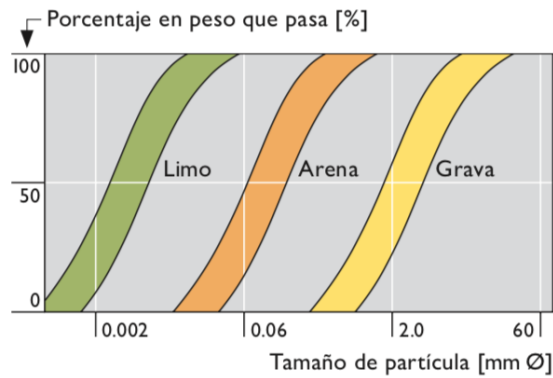
Tabla N° 2: Parámetros generales Jet-Grouting. (Labad, 1989)

El diámetro de la columna de suelo-cemento dependerá de la característica del terreno y la velocidad de salida de la mezcla por medio de las mangueras y lógicamente por la presión de inyección, se obtiene de manera frecuente diámetros menores a 1m y se ha logrado columnas con diámetros mayores a 3 m en arenas se logra haciendo uso de maquinaria más complejas y así mismo preparando el terreno con una rotura preliminar del suelo. (Labad, 1989)

2.1.5. Resistencia de columnas suelo-cemento de Jet-Grouting

La resistencia de las columnas depende de la naturaleza del terreno y del mortero utilizado, en ensayos experimentales se obtuvieron que la resistencia a la compresión simple puede oscilar entre 10 kg/cm² a 40 kg/cm² en el caso de suelos arcillosos; y, en gravas arenosas la resistencia a la compresión simple puede llegar a ser de 200 kg/cm². (Labad, 1989)

Resistencia a compresión simple de Jet Grouting – Soilcrete®



Tipo de suelo	Limo	Arena	Grava
Resistencia a compresión simple [N/mm ²]	≤ 5	≤ 10	< 25

Desarrollo de la resistencia del Soilcrete®

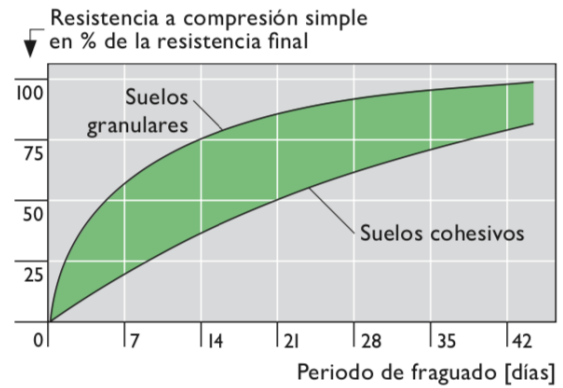


Figura N° 6: Resistencia a la compresión soilcrete. (Jet Grouting – Soilcrete®, 2019)

2.1.6. Parámetros fundamentales de Jet-Grouting

Los parámetros detallados a continuación están ligados a los resultados técnicos y económicos del tratamiento de los suelos

1. Característica de la lechada inyectada.
2. Cilindros de la bomba de inyección (diámetros).
3. Velocidad de operación del motor.
4. Velocidad de ascenso del varillaje.
5. Velocidad de giro del varillaje.
6. Toberas para la salida de la lecha.
7. Tipo del terreno.
8. Separación de los taladros. (Labad, 1989)

2.1.7. Materiales Jet-Grouting

Se deberá utilizar materiales vigentes y que cumplan con las regulaciones: medioambientales, de salud, seguridad, transporte y almacenamiento. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Mezclas de agua cemento: las relaciones entre el agua y el cemento deberán estar comprendidas entre 0.5 y 1.5, se podrá utilizar otra relación previamente su justificación. (Boletín Oficial del Estado, 2002)



Figura N° 7: Cemento Portland Pozolánico Tipo IP-Selvalegre

El cemento deberá ser elegido en base a la resistencia que se requiera lograr y el agua, si se tiene dudas que el agua que tenga elementos que generen efectos no deseados en la lechada deberá ser analizada. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Aditivos: Los más comunes que se utiliza en el método son aquellos aditivos que sirven para reducir el contenido de agua o aquellos que son para variar la viscosidad, así como para estabilizar o aumentar la impermeabilidad de la mezcla a/c que se utilizó y finalmente acelerante de fraguado. (Boletín Oficial del Estado, 2002)



Figura N° 8: Acelerante Sika Sigunit L65 y superplastificante Sika Sikament N100

También se puede hacer uso de materiales como bentonita la adición o no de esta deberá ser analizada por otro lado se puede utilizar ceniza volcánica y filler. (Boletín Oficial del Estado, 2002).



Figura N° 9: Bentonita Sika.

2.1.8. Consideraciones Económicas

El tratamiento de Jet-Grouting se puede considerar relativamente caro, partiendo que las columnas de suelo y cemento se comportan como un pilote de baja resistencia y su costo es igual y en algunos casos superior al de un pilote de hormigón también influye el costo de las maquinarias y también se suele presentar costo de perforaciones adicionales en sectores del terreno que no es necesario mejorar. (Labad, 1989)

Una ventaja de este método, es que a través de perforaciones pequeñas se pueden lograr columnas de diámetros superiores a 80 centímetros debido a esto se utiliza este método para dar solución a problemas de recalce de cimentaciones siendo un método competidor con los micropilotes y como alternativa cuando no se logra hacer frente al punzonamiento. Se deberá considerar otras opciones técnicas - económicas de tratamiento de suelos antes de hacer uso de Jet-Grouting. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Para realizar los pagos económicos de una inyección de Jet-Grouting deberán hacerlos en m^3 y si se requiere se podrá pagar por metro de longitud cuando se presente diferentes litologías afectadas por el procedimiento. (Boletín Oficial del Estado, 2002)

Como mecanismo de control se puede utilizar la norma europea **AENOR, 2001. EN 12716**

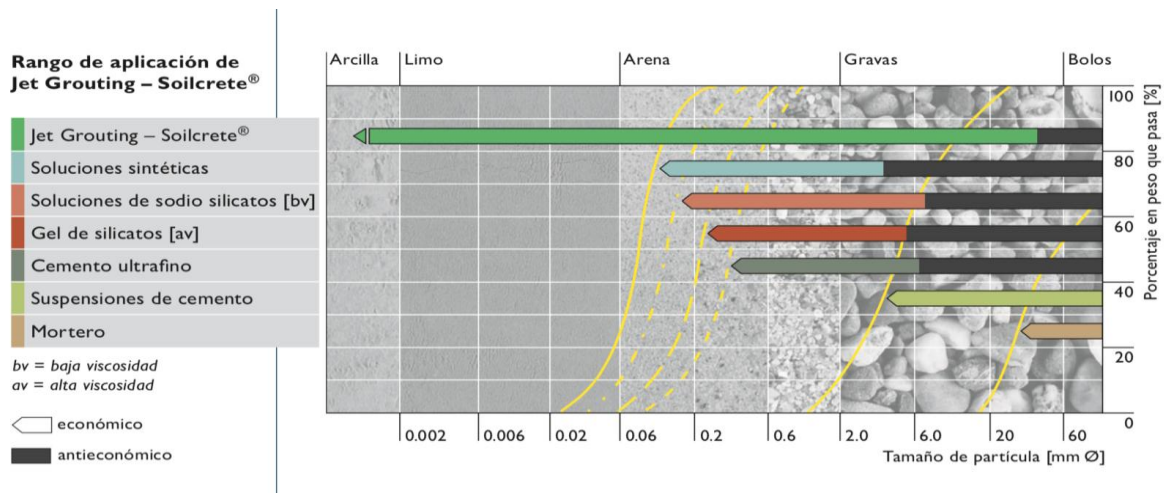


Figura N° 10: Rango de aplicación soilcrete. (Jet Grouting – Soilcrete®, 2019)

2.1.9. Aplicaciones Jet-Grouting

El método estudiado tiene gran variedad de aplicaciones hoy en día debido al desarrollo tecnológico podemos dividir su aplicabilidad en dos grupos, el primer grupo es *Estabilidad y mejoramiento del terreno*; y, el segundo grupo *Impermeabilización del terreno*.

Estabilidad y mejoramiento del terreno:

- Recalces
- Protección de túneles
- Restauración de cimientos
- Jet-Grouting horizontal
- Modificación de cimientos
- Pozos
- Cimentaciones profundas
- Reducción de empujes del terreno

Impermeabilización:

- Losas abovedadas
- Muros de paneles
- Muros de columnas
- Cubierta impermeabilizante
- Impermeabilización de presas
- Sellado de juntas
- Tapones de fondo

2.1.10. Lechada y parámetros de ejecución para columnas de inyección Jet-Grouting del metro de Quito Línea 1 para pozos y salida de emergencia

A continuación se presenta la dosificación de la lechada usada para el metro de Quito línea 1 en la Tabla N° 3:

<u>DOSIFICACIÓN DE LECHADA:</u>	
	<u>Kg/m3</u>
Cemento tipo IP	930
Agua	651
Aditivo Sikamen N 100	1,0%
	9,3
Aditivo Acelerante Sigunit L65	2,0%
	18,6
Relación a/c	0,73

Tabla N° 3: Dosificación lechada metro de Quito de pozos y salidas de emergencia

A Continuación, se presenta los parámetros de Jet-Grouting utilizados en el metro de Quito línea 1 en la **Tabla N° 4**:

PARÁMETROS DE EJECUCIÓN:	
Volumen teórico de mezcla por m de columna de Jet-Grouting:	1,000 l/m
Presión de lechada de cemento:	400 - 450 bar
Caudal de lechada de cemento:	200 - 250 lt/min
Consumo de cemento por m de columna:	750 kg/m
Velocidad ascensional de retirada de varillaje:	0,25 m/min
Velocidad de rotación de varillaje:	15 - 20 revs/min
Presión de aire comprimido:	8 - 12 bar
Ø de la manguera de alta presión (mm):	4,5
Ø de la corona perforación (mm):	190,5

Tabla N° 4: Parámetros de ejecución Jet-Grouting-metro de Quito de pozos y salidas de emergencia

Mapa de inyecciones metro de Quito Línea 1, sector Rodrigo de Chávez **Figura N° 11:**

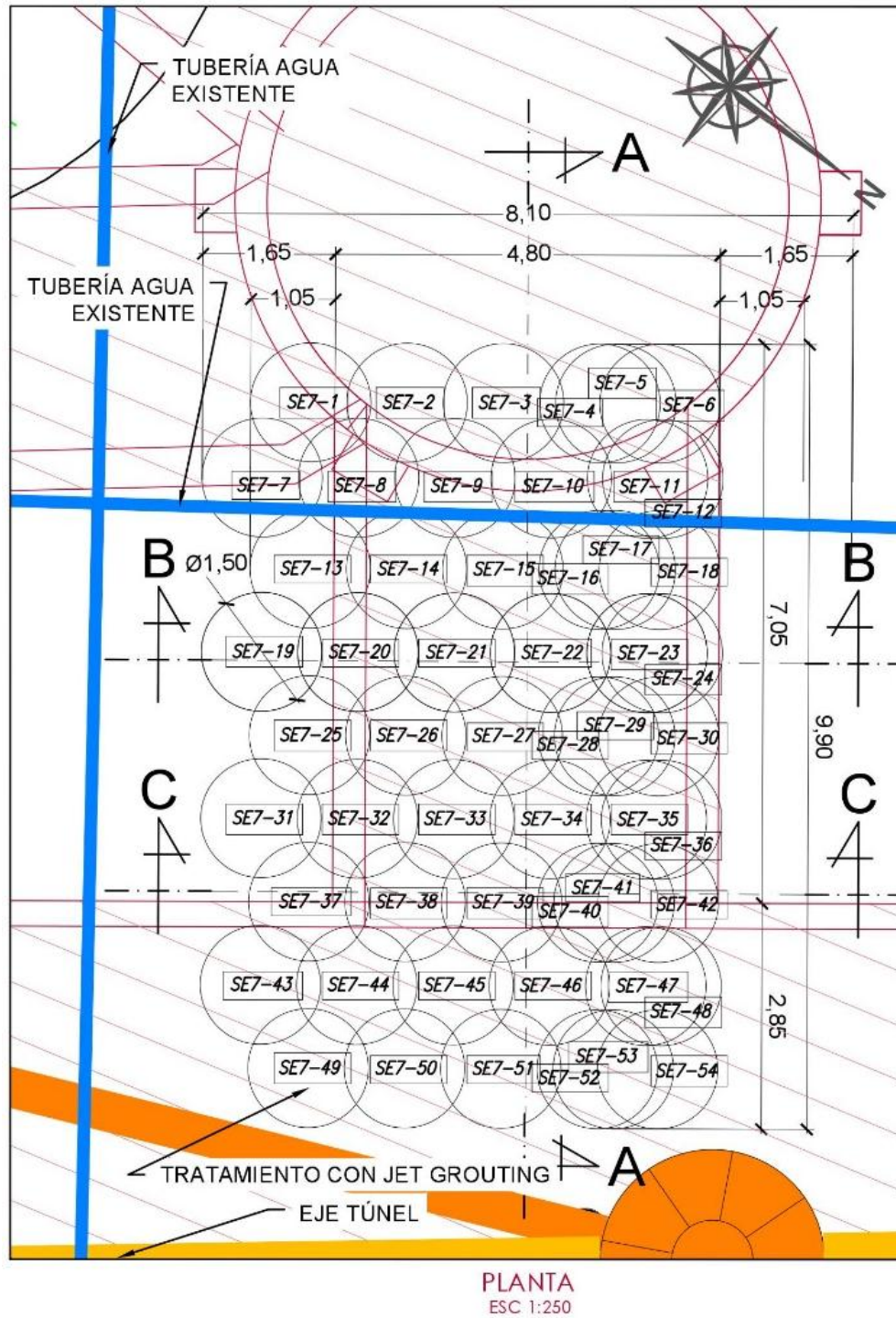


Figura N° 11: Mapa de inyecciones Jet-Grouting metro de Quito

2.2. TRIAXIAL (UU) SIN SATURAR.

Con este tipo de ensayos lo que se quiere demostrar o analizar es la capacidad que tiene los suelos como su esfuerzo cortante, ya sea en la estabilidad de taludes, en el diseño de muros o en una simple cimentación, el estudio del colapso de suelos es fundamental para cualquier tipo de estructura ya que conseguiremos la carga máxima a ser aplicada en ese tipo de suelos. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)

El esfuerzo último de corte, es el esfuerzo que definiremos con este ensayo y es la relación de carga máxima que resiste el suelo, distribuida en un área predefinida. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)

El análisis de falla de los suelos se realiza mediante un análisis de Mohr, el cual nos dice que un material no falla solo por los esfuerzos máximo de compresión o de corte, si no por una combinación de ambos. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)

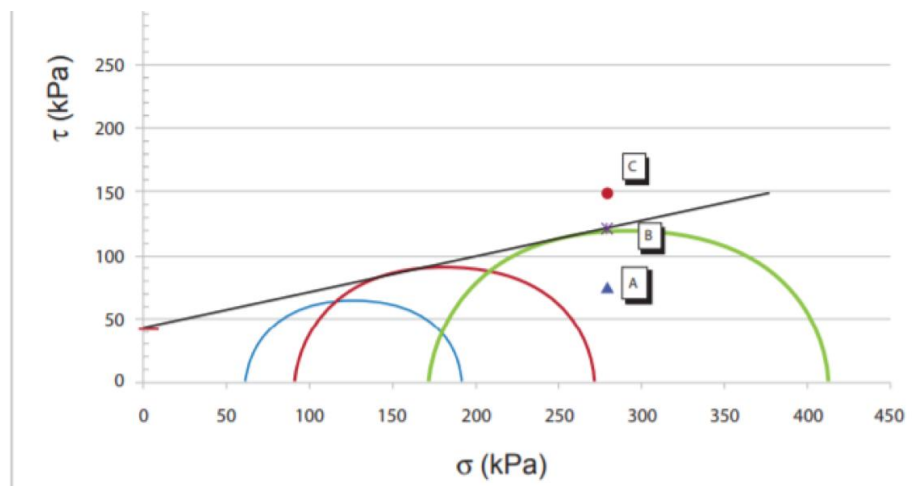


Figura N° 12: Envolvente de Mohr. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)

La grafica anterior nos explica la envolvente de las fuerzas en el ensayo previamente realizado en el ejemplo, los estados de falla del suelo indicados en el ejemplo son: En el punto A estará en un estado de carga que no generará falla en el suelo y si está en el punto B encontraremos una falla de corte en todo ese plano. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)



Figura N° 13: Preparación de la muestra para ensayo triaxial

El ensayo triaxial empieza después de tener una muestra de suelo cilíndrico el cual posteriormente se lo recubre con una membrana de látex y con dos rocas porosas en los extremos superior e inferior, luego se coloca en una cámara que emula la presión de los suelos por lo general se satura la cámara de agua. Para los ensayos triaxiales tenemos 3 tipos de ensayos: la prueba de consolidación y drenaje (CD); la prueba rápida de consolidación y sin drenaje (CU); y, por último la prueba sin consolidación y sin drenaje (UU- sin saturar) que es la que usamos en nuestra investigación. En este ensayo se cierra la válvula para impedir el drenaje de la muestra y se satura la capsula de agua para emular la presión del suelo mientras inmediatamente

empezamos a presionar la muestra para obtener su punto de falla. (Ing. Oscar Valerio Salas, 2011)

Importancia y usos:

- Determinar el esfuerzo total mediante la resultante del estado de carga y eso influye mucho la presión de poros en el estado de humedad de la muestra por eso en este caso no se drena la muestra ya que el esfuerzo de la presión de poros es muy importante.
- La muestra de suelo para tener un estado de carga adecuado no debe estar consolidada por lo tanto su estado de humedad debe estar intacto con respecto al suelo de muestra.

(ASTM, 1995)

2.3. TEORÍA SUCS.

Este método de clasificación de suelos es una de las más usadas en el mundo, en sus principios fue creado para clasificar suelos de los aeródromos por el señor A. Casagrande y posteriormente fue mejorado para que se pueda usar con todo tipo de suelo con la ayuda de las fuerzas armadas de los Estados Unidos, principalmente el método trata de clasificar a los suelos por medio del tamaño de sus partículas, su límite líquido y su índice plástico el sistema principal clasifica a los suelos en gruesos, finos y altamente orgánicos. (ASTM, 2005)

Los suelos gruesos pueden ser gravas y arenas, este tipo de suelos tiene como características especiales que el 50% de la muestra es retenida por el tamiz #4. Mientras los suelos finos pueden ser limos o arcillas y principalmente son aquellos suelos que son retenidos en un 50% de su muestra por el tamiz #200. (ASTM, 2005)

2.4.1. Simbología

Simbología	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limo Orgánico
PT	Turba o suelo altamente orgánico
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduado
P	Mal graduado

Tabla N° 5: Simbología SUCS 1. (ASTM D-2487, 1952)

Símbolo Sucs	Descripción
GW	Grava bien mezclada con poco o nada de material fino.
GP	Grava mal graduada mezcla de arena y grava con poco o nada de finos.
GC	Grava arcillosa mezcla de grava y arcilla con cantidad de finos apreciables.
SW	Arena bien graduada, arena con grava con poca presencia de finos y partículas de tamaño intermedio.
SP	Arena mal graduada, arena con grava con poca presencia de finos y ausencia de tamaño de partícula intermedia.
SM	Material fino con plasticidad muy baja o nula.
SC	Arena arcillosa o mezclada con arcilla.
ML	Limos orgánicos o arenas muy finas.

Tabla N°

6:

Simbología SUCS 2. (ASTM D-2487, 1952)

Símbolo	Descripción
Sucs	
CL	Arcilla inorgánica de plasticidad baja o media.
OL	Limo orgánico y arcilla limosas.
MH	Limo orgánico y arcilla limosas de baja plasticidad.
CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
OH	Arcilla orgánica de media o baja plasticidad.
PT	Turba o suelo orgánico.

Tabla N° 7: Simbología SUCS 3 (ASTM D-2487, 1952)

Sistema USCS de Clasificación de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SÍMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS LIMPIAS (CON POCOS FINOS Y SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
		FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)		GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO			
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA			
SUELOS DE GRANO MEDIO - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 40	ARENAS CON POCOS FINOS (CON POCOS FINOS Y SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7		
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS			
		FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)		SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS			
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS			
MÉTODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40								
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD	UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE: CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SÍMBOLOS DOBLES MENOS DEL 5% MAS DEL 12% 5% AL 12%	
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA				
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA				
	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD			
LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS HICACOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS			
	ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS			
	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA			
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA			Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS			

LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Figura N° 14: Carta de clasificación SUCS. (Hollemart, 2011)

Para determinar el tipo de suelo con la carta de clasificación SUCS, es imprescindible determinar el límite plástico y el límite líquido del suelo. (ASTM, 2005)

2.4.2. Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos

El límite líquido es un ensayo en el cual se toma una porción representativa de suelo, y haciendo uso del método multipunto se coloca la muestra a ensayar dentro de la copa de casa grande y se genera una ranura utilizando un acanalador, posteriormente en la copa de casa grande mediante un motor se genera un determinado número de golpes constantes, esto hace que se cierre la ranura creada por el acanalador, para este método multipunto se requieren tres ensayos de

contenido de agua el primero se realiza con un límite de 15 golpes, el segundo con un límite de 25 golpes y el último se realiza con un límite de 35 golpes, mediante esta relación se genera el límite líquido. (ASTM, 2005)

El límite plástico o índice de plasticidad por otra parte consiste en realizar rollos con una porción de suelo a un cierto porcentaje de hidratación, el cual se irá probando, para poder moldearlo en rollos de 3.2 mm. (ASTM, 2005)

El índice de plasticidad por su parte es una diferencia entre el límite líquido y el índice plástico. (ASTM, 2005)

Estos índices nos dan parámetros para poder ubicar los suelos finos en distintos parámetros de clasificación, no solo se puede realizar un análisis con el límite líquido y el límite plástico para caracterización de los suelos si no también se pueden usar para distintos ensayos como de contracción, compatibilidad o la resistencia al corte hidráulico. (ASTM, 2005)

Este método también nos indica que cuando se satura la muestra fina y la secamos al horno, y después de secar la muestra, si se presenta una disminución considerable de la muestra se puede concluir que la muestra tiene un alto contenido orgánico. (ASTM, 2005)

2.4.2.1. Proceso para realizar el ensayo de límite líquido.

1. Primero en un recipiente se coloca la muestra de suelos que va a ser utilizada en el ensayo y se humedece de manera que se encuentre en el rango de los 25-35 golpes. (ASTM, 2005)



Figura N° 15: Procedimiento LL

2. Luego se coloca la muestra en la copa de casa grande enrazándolo bien y marcando con un acanalador especial un surco en la muestra que va desde arriba hacia abajo que se cerrara posteriormente con el golpeteo de la copa de casa grade. (ASTM, 2005)

3. Ya formado un surco de 13mm de largo aproximadamente se verifica que la copa de casa grande gire a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo. (ASTM, 2005)



Figura N° 16: Copa de casa grande

4. Posteriormente se cuenta el número de golpes requerido para cerrar la ranura y se toma una porción significativa de la parte que se cerró, para ponerlo a secar al horno. (ASTM, 2005)
5. El proceso se repite por lo menos 3 veces ya que se debe tener muestras que caigan en el rango de 15-25 golpes, de 20-30 golpes y de 25-35 golpes. (ASTM, 2005)
6. Finalmente, después de tomar las muestras significativas de los 3 ensayos se las pesan y se los seca en el horno 24 horas. (ASTM, 2005)



Figura N° 17: Muestras para LL

2.4.2.2. Proceso para realizar el ensayo de límite plástico.

1. Primero se selecciona una muestra de 1.5-2 gr. (ASTM, 2005)
2. Luego se procede a escoger entre 1 de los 2 métodos el de mano o el de máquina. (ASTM, 2005)
3. El método de manos es el más accesible y este método consiste en generar una masa cilíndrica de 3.2mm que serán colocadas en el horno por 24 horas para determinar su contenido de humedad. (ASTM, 2005)

2.4. ENSAYO CORTE DIRECTO DE SUELO

Este tipo de ensayo se realiza para poder determinar la resistencia al corte de los suelos consolidados y drenados utilizando un método en donde se genera esfuerzos de corte hasta que se genere la falla en la muestra, la muestra puede ser inalterada o remoldeada para este ensayo. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007)

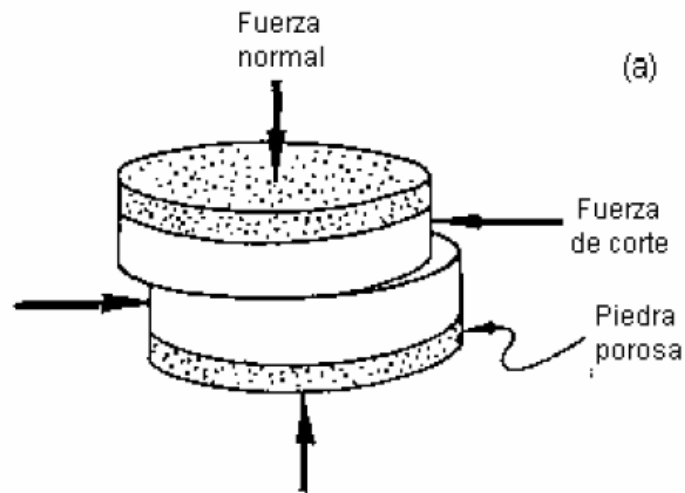


Figura N° 18: Descripción grafica del ensayo de corte. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007)

Este tipo de ensayos se realizan principalmente en suelos que ya han sido previamente consolidados con sobrecarga para generar la falla al disipar la presión de poros existente en la muestra y también nos da la resistencia máxima al corte, este ensayo puede ser alterado por presencia de rocas en la muestra y tampoco es recomendable obtener los esfuerzos de deformación de la muestra, debido que la distribución de esfuerzos no es uniforme. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007)

El proceso de este ensayo consiste en la colocación de la muestra inalterada o remoldeada en el equipo de corte, se aplica la carga normal en la muestra, para generar una consolidación de la

muestra y luego de esto proceder a iniciar el ensayo de la muestra aplicando esfuerzos de corte para encontrar el máximo esfuerzo de falla. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007)

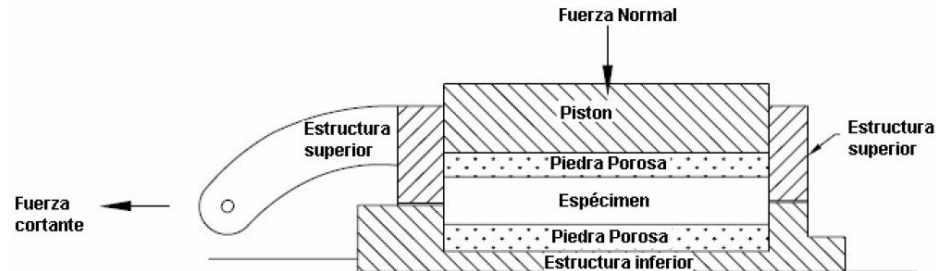


Figura 2. Dispositivo para el ensayo del corte directo

Figura N° 19: Proceso de corte directo en la maquina. (I.N.V. E – 154 – 07, 2007)

3.1. MEZCLA DE LECHADA

La estabilización de suelos mediante el uso de cemento consiste en introducir la mezcla de cemento y agua con estabilizantes. Tras muchos estudios sobre agentes estabilizantes para suelos se pudo comprobar que no existe mejor estabilizante de suelos como las mezclas de cemento ya que no son tan costosas y el mejoramiento del suelo mediante la inyección de mortero es desde el punto de vista mecánico, el cual realiza un aumento de la resistencia del suelo pero a su vez una disminución de la plasticidad del suelos, este proceso de mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo empieza de inmediato después de la inyección de cemento para su estabilización. (Díaz, 2010)

3.1.1. Mecanismo de estabilización de suelos con cemento.

Al adicionar al suelo del 2-3% de cemento se puede tener muchos cambios en su resistencia mientras si se aumenta 5-6% de cemento cambiara de gran forma las propiedades mecánicas del suelo, un estudio revela que al añadir cemento al suelo en un porcentaje del 2-6% se puede conseguir que el suelo se convierta en una losa semirrígida esto es debido que el cemento al entrar en contacto con el agua y ser inyectado al suelo empieza un proceso de densificación. (Díaz, 2010)

La mayoría de los suelos se pueden mejorar mediante una inyección de lechada de cemento excepto los suelos que tienen altos contenidos orgánicos, pero los cambios que genera una inyección al suelo son la modificación del límite líquido y el índice plástico, por otra parte se genera un aumento significativo en la capacidad de compresión del suelo y su resistencia al corte, finalmente también se presenta una disminución significativa en la plasticidad del suelo. (Díaz, 2010)

3.1.2. Dosificación

Las lechadas de cemento tienen por lo general agua, cemento y estabilizante, también se podrá usar como estabilizante bentonita en estado sólido pero en las proporciones adecuadas y con una relación agua cemento A/C muy baja que varía de 0.5 – 1, al tener una relación agua cemento moderadamente baja se obtiene una mezcla estable y gruesa con una cantidad de estabilizante que rodeara entre el 1-2% del peso total del cemento, pero si se usa bentonita las proporciones serán del 2-4% siendo la proporción del 4% la más elevada con una bentonita de excelente

calidad como los son las bentonitas proveniente de la India y de Italia, para bentonitas normales de no tan buena calidad el porcentaje seria de un 2% máximo. (EP - T109, 2017)

La lechada para que puede cumplir debe pasar algunos requisitos como:

1. La decantación de la lechada después de 2 horas de ser fabricada debe ser menor al 10%.
(EP - T109, 2017)
2. La resistencia de los cubos después de 28 días será de 10MPA. (EP - T109, 2017)
3. La viscosidad de la mezcla con el método Marsh no debe ser menor a 28 segundos ni mayor a 60 segundos. (EP - T109, 2017)

3.2. ENSAYO DE VISCOSIDAD

La viscosidad de un líquido es una propiedad física que tienen los fluidos para resistir al movimiento o desplazamiento, debido a la atracción intermolecular que existe por el movimiento de las partículas. (Llampa, 2019)

Cuando un fluido entra en contacto con una superficie sólida sufre un fenómeno de desaceleración que puede ser considerado como fricción lo que quiere decir que cuando se coloca un fluido en una superficie se tiene un movimiento nulo de las partículas del fluido que estén más cerca de la superficie de contacto mientras las partículas del fluido que estén más lejanas de la zona de superficie tendrán un movimiento muy lento. (Llampa, 2019)

3.2.1. Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica o absoluta es la fuerza de rozamiento que existe entre el flujo y una superficie a una cierta distancia de separación. (Llampa, 2019)

3.2.2. Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es la más fácil de determinar ya que no implica tanta ciencia para determinarla ya que solo se tiene que determinar la viscosidad absoluta de un fluido para luego dividirla de la densidad de dicho fluido. (Llampa, 2019)

3.2.3. Ensayo de viscosidad del método Marsh

Este método determina la viscosidad de un elemento en campo, la característica principal de este método es que posee un tamiz N10 en la parte superior y su capacidad volumétrica para el ensayo debe ser 1500 cm^3 , el resultado obtenido de este ensayo es el tiempo para poder evacuar el volumen de muestra lo que se denomina como segundos de Marsh. (Llampa, 2019)

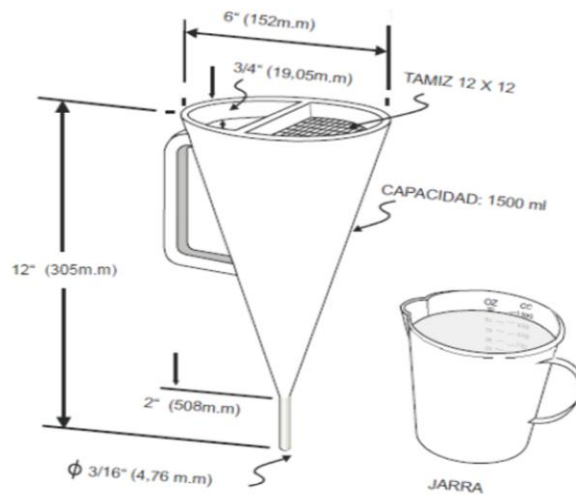


Figura N° 20: Viscosidad de Marsh. (Llampa, 2019)

3.3. BENTONITA

La bentonita es una arcilla jabonosa la cual al contacto con el agua puede expandirse de gran forma adquiriendo un aspecto de gelatina, su composición química es de Montmorillonita, silicato de magnesio y aluminio hidratado que está en forma cristalina. (J. A. PINZÓN BELLO, 1996)

Humedad	11.6(%)
Superficie específica	34 m ² /g
Densidad real	2.422 g/cm ³
Análisis Químico (sobre muestra seca, % en peso)	
Pérdida por calcinación a 800°C	7.68
SiO ₂	56.6
Al ₂ O ₃	19.0
Fe ₂ O ₃	7.60
Na ₂ O	2.96
MgO	2.40
CaO	1.22
Ti ₂ O	0.84
K ₂ O	0.79

Tabla N° 8: Propiedades Químicas de la bentonita. (J. A. PINZÓN BELLO, 1996)

CAPITULO 3: PROCESO DE ENSAYO.

3.1. TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO.

Las muestras fueron extraídas en el sector de la Av. Rodrigo de Chávez y Pedro Dorado en el sur de Quito, para realizar una clasificación SUCS a las profundidades de 2, 3, 6, 10, 12 y 15 metros respectivamente empleando una cuchara partida.

La finalidad de este muestreo fue determinar su tipología y características mediante el método SUCS, la muestra obtenida a los 15 metros se determinó sus características físicas, y más adelante se determinó sus características mecánicas antes y después del mejoramiento.



Figura N° 21: Lugar donde se extraerán las muestras sector pileta.



Figura N° 22: Proceso de extracción de muestras.



Figura N° 23: Presencia de materiales solidos (relleno/ladrillo).

En la muestra comprendida a 2m, se evidencio un comportamiento de arena arcillosa (SC) con presencia de material orgánico, ladrillo, color café, humedad del 10%.



Figura N° 24: Muestra extraída a los 2m.

Para la muestra a 3 m, se evidencio un color café, con presencia de partículas de bloque lo cual es una clara evidencia de un relleno y se comporta como una arena limosa (SM), con una humedad del 14%.



Figura N° 25: Muestra extraída a los 3m.

En el caso para la muestra 6 m, se comporta como una arena arcillosa (SC), color café, con presencia de pequeñas partículas de grava con plasticidad media.



Figura N° 26: Muestra extraída a los 6m.

A los 8m de profundidad se obtuvo una arena limosa de color café (SM), con una humedad de 7%.



Figura N° 27: Muestra extraída a los 8m

A los 10m se obtuvo un suelo con comportamiento de arena arcillosa limosa (SM-SC), con presencia de piedra pómez, color café. Presencia de plasticidad al tacto y una humedad de 17%.

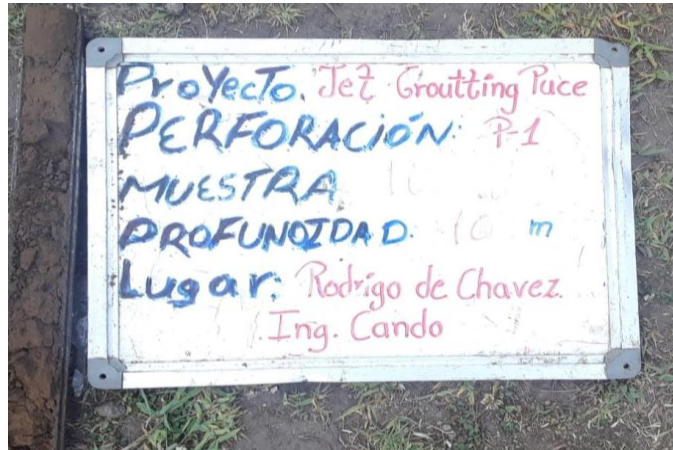


Figura N° 28: Muestra extraída a los 10m.

Para la muestra a la profundidad de 12m, se comporta como un suelo de tipo arena limosa (SM), de color café y con presencia de partículas de piedra pómez y una humedad del 16%.



Figura N° 29: Muestra extraída a los 12m.

Para el caso de la muestra a 15 m de profundidad, se obtuvo un comportamiento como arena limosa (SM), con consistencia firme de color café y una humedad del 18%.



Figura N° 30: Muestra extraída a los 15m.

3.2. PROCESO DE ENSAYOS SUCS.

Una vez obtenidas las muestras necesarias en campo se procedió a realizar en el laboratorio la clasificación SUCS haciendo uso de la norma ASTM D 2216, con la cual se obtiene el límite plástico, límite líquido, contenido de humedad y su índice de plasticidad que son los parámetros básicos para identificar y clasificar los suelos.



Figura N° 31: Preparación del suelo.



Figura N° 32: Copa de casa grande para el ensayo de límite líquido.



Figura N° 33: Tamizado para análisis granulométrico norma ASTM D 6913.



Figura N° 34: Toma de muestras para determinar las humedades.

3.3. PROCESO ENSAYO TRIAXIAL SIN SATURAR.

Se procedió a realizar cuatro ensayos Triaxiales UU sin saturar, realizados en base a las normas ASTM D 2850-95 y AASHTO T296-94, de los cuales dos ensayos fueron con suelo natural y dos con suelo mejorado; se utilizó dos tipos de suelos diferentes el primero es del sur de Quito del sector de la Av. Rodrigo de Chávez y el segundo fue del norte de Quito del sector de la plaza de Toros.



Figura N° 35: Remoldeo de las muestras previo al ensayo triaxial UU sin saturar.



Figura N° 36: Colocación de la muestra en la máquina de Triaxial.



Figura N° 37: Figura después del ensayo.

3.4. PROCESO DE RECREACIÓN LECHADA METRO DE QUITO (MORTEROS)

Con los parámetros de mezcla de la **Tabla N° 3** se procedió a la recreación de la lechada utilizada en el metro de Quito, para el tratamiento de suelos con el método de “Jet-Grouting” además de la mezcla original, se realizó variaciones en base a la fórmula original adicionando bentonita en porcentajes de 1%, 2%, 2.5% y 3% con el fin de evidenciar su comportamiento y justificar el no uso de bentonita en la mezcla original.



Figura N° 38: Aditivos adquiridos para poder realizar la recreación acelerante Sika L65 y el súper plastificante Sika N100.



Figura N° 39: Bentonita Sika usada en la variación de mezclas.



Figura N° 40: Dosificación al peso de bentonita, L65, N100 y cemento Selvalegre.



Figura N° 41: Proceso de mezclado de los elementos que conforman la lechada.

Una vez mezclados los materiales con su peso exacto se procedió a colocar la mezcla en molde para posteriormente desmoldarlos y llevarlos a la cámara de curado, para en los días siguientes ensayarlos a los 3, 7, 28 días respectivamente, se realizó un total de 45 cubos para esta etapa.



Figura N° 42: Cubos fraguados y desmoldados



Figura N° 43: Proceso de rotura de cubo.

3.5. PROCESO DE INYECCION DE LECHADA PARA

Para simular el proceso de mejoramiento de suelos mediante método “Jet-Grouting”, se remoldeo las muestras con la ayuda de tubos de PVC de 5 cm de diámetro y 10 cm de alto con la finalidad de usarlos como moldes.



Figura N° 44: Proceso de remoldeo.

Una vez realizado el proceso de remoldeo se obtuvieron tres elementos para ensayarlos en 3 diferentes estados de carga es decir 50, 100 y 200 kpa, a estos elementos se los sello con bentonita húmeda en sus caras superiores e inferiores con la finalidad de impedir que la lechada se escape de la muestra al momento de la inyección.



Figura N° 45: Muestras selladas con bentonita previa inyección.

Para emular el proceso de inyección “Jet-Grouting”, se utilizó una jeringa de gran tamaño y una aguja que se usa en el ámbito de la ganadería debido a su gran boquilla la cual permite que la lecha fluya internamente y no se tapone y cumpla con la función deseada como se observa en la Figura N° 45.



Figura N° 46: Emulación de inyección de la lechada

Una vez hecha la emulación de inyección se dejó fraguar 3 días, posterior a esto se realizó los ensayos triaxiales UU sin saturar de los suelos mejorados.



Figura N° 47: Muestra en proceso de ensayo

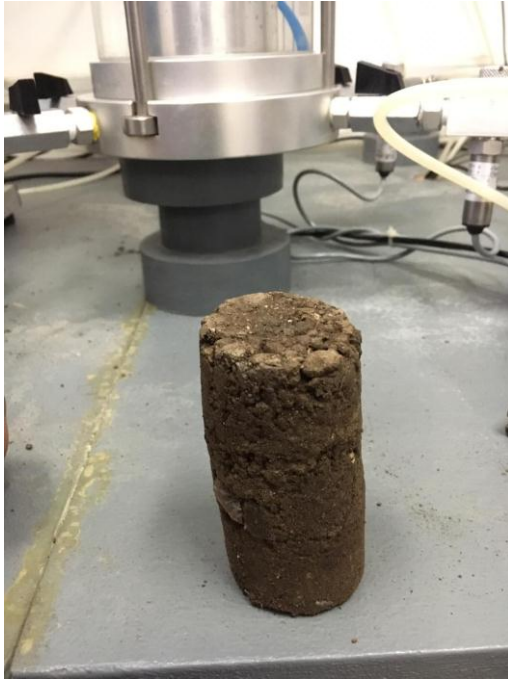


Figura N° 48: Muestra mejorada después del ensayo

CAPITULO 4: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN (SUCS)

4.1.1. CLASIFICACIÓN SUCS (2m)

4.1.1.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (2m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,49	39,31	37,16	10,40	10,13
16,41	42,95	40,57	9,85	

Tabla N° 9: Contenido de humedad (2m)

4.1.1.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (2m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
9,43	15,77	14,65	21,46	21,91
5,80	12,20	11,03	22,37	

Tabla N° 10: Resumen limite plástico (2m)

4.1.1.3. Límite liquido norma ASTM D4318 (2m)

A

MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
35	6,20	15,09	12,83	34,09
23	6,26	18,38	15,24	34,97
15	6,77	20,22	16,54	37,67

Tabla N° 11: Resumen limite plástico (2m)

4.1.1.4. Carta de plasticidad SUCS (2m)

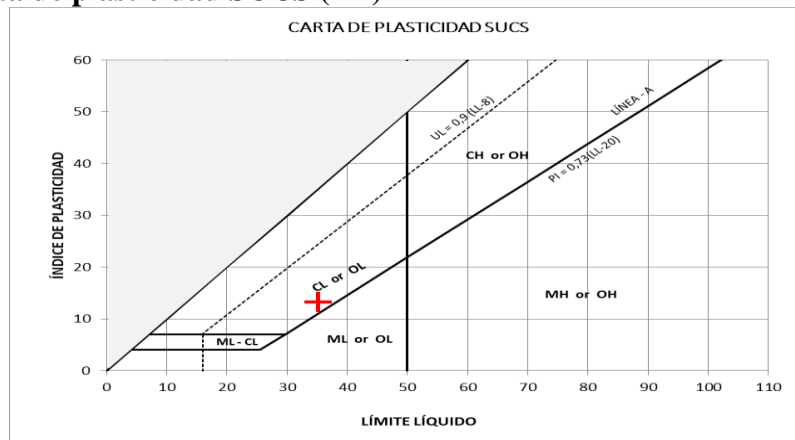


Figura N° 49: Carta SUCS señalando el resultado a (2m)

4.1.1.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (2m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,45
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	23,5

Tabla N° 12: Granulometría (2m)

4.1.1.6. Curva granulométrica (2m)

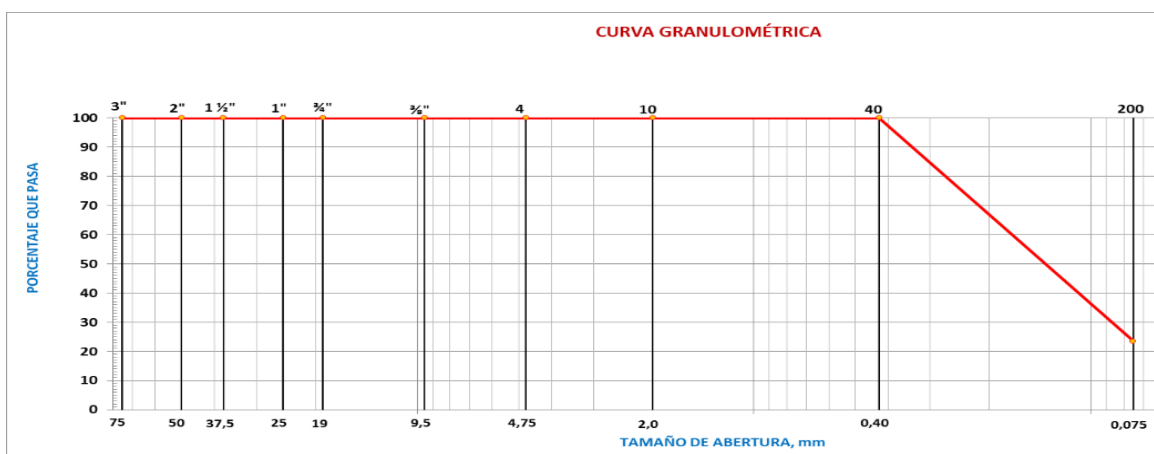


Figura N° 50: Diagrama de granulometría (2m)

4.1.1.7. Resumen de resultados y clasificación (2m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	10
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	35
Límite Plástico, LP:	22
Índice de Plasticidad, IP:	13

Tabla N° 13: Resultados humedad natural y límites de atterberg (2m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	76
Finos (%):	24

Tabla N° 14: Análisis granulométrico (2m)

Clasificación (SUCS): SC
Nombre típico: Arena Arcillosa.

4.1.2. CLASIFICACIÓN SUCS (3m)

4.1.2.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,87	60,57	55,33	13,62	14,10
16,53	47,98	43,98	14,57	

Tabla N° 15: Contenido de humedad (3m)

4.1.2.2. Límite plástico norma ASTM D4318

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
5,93	12,20	10,99	23,91	24,39
9,30	16,88	15,37	24,88	

Tabla N° 16: Resumen limite plástico (3m)

4.1.2.3. Límite liquido norma ASTM D4318

A

MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
33	5,87	17,10	13,87	40,38
21	9,44	16,86	15,29	26,84
15	8,53	16,11	15,33	11,47

Tabla N° 17: Resumen limite plástico (3m)

4.1.2.4. Carta de plasticidad SUCS (3m)

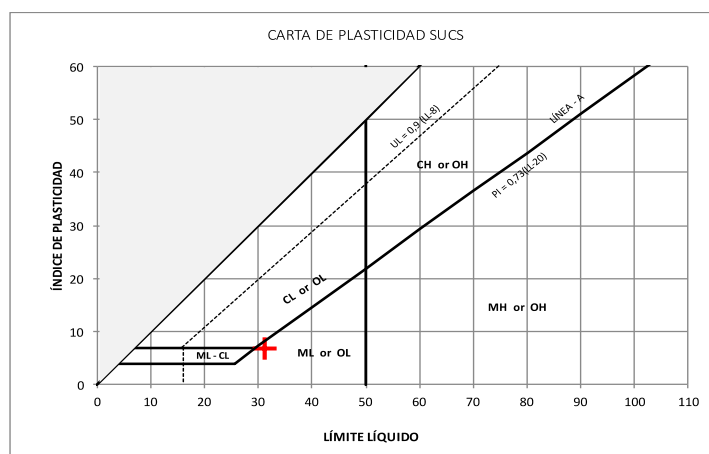


Figura N° 51: Carta SUCS señalando el resultado a (3m)

4.1.2.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (3m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,07
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	24,9

Tabla N° 18: Granulometría (3m)

4.1.2.6. Curva granulométrica (3m)

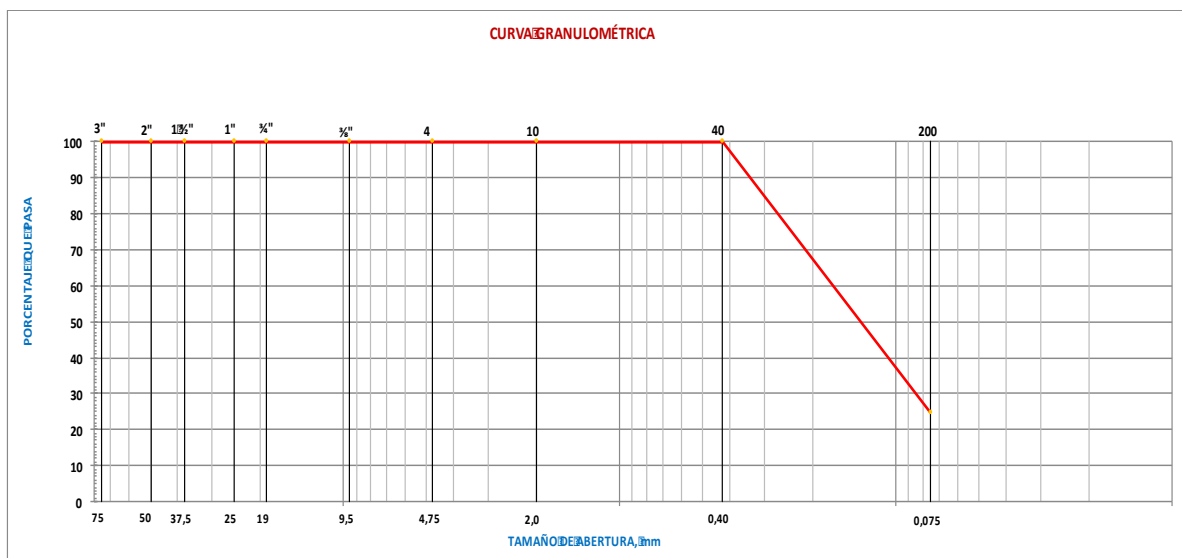


Figura N° 52: Diagrama de granulometría (3m)

4.1.2.7. Resumen de resultados y clasificación (3m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	14
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	31
Límite Plástico, LP:	24
Índice de Plasticidad, IP:	7

Tabla N° 19: Resultados humedad natural y límites de atterberg (3m)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	75
Finos (%):	25

Tabla N° 20: Análisis granulométrico (3m)

Clasificación (SUCS): SM

Nombre típico: Arena Limosa.

4.1.3. CLASIFICACIÓN SUCS (6m)

4.1.3.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (6m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
17,96	46,91	44,20	10,33	10,51
17,78	40,55	38,35	10,70	

Tabla N° 21: Contenido de humedad (6m)

4.1.3.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (6m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
6,01	12,09	10,95	23,08	22,76
6,05	12,38	11,22	22,44	

Tabla N° 22: Resumen limite plástico (6m).

4.1.3.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (6m)

A

MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
33	7,18	16,02	13,98	30,00
24	9,66	18,61	16,55	29,90
15	6,21	13,47	11,68	32,72

Tabla N° 23: Resumen limite plástico (6m).

4.1.3.4. Carta de plasticidad SUCS (6m)

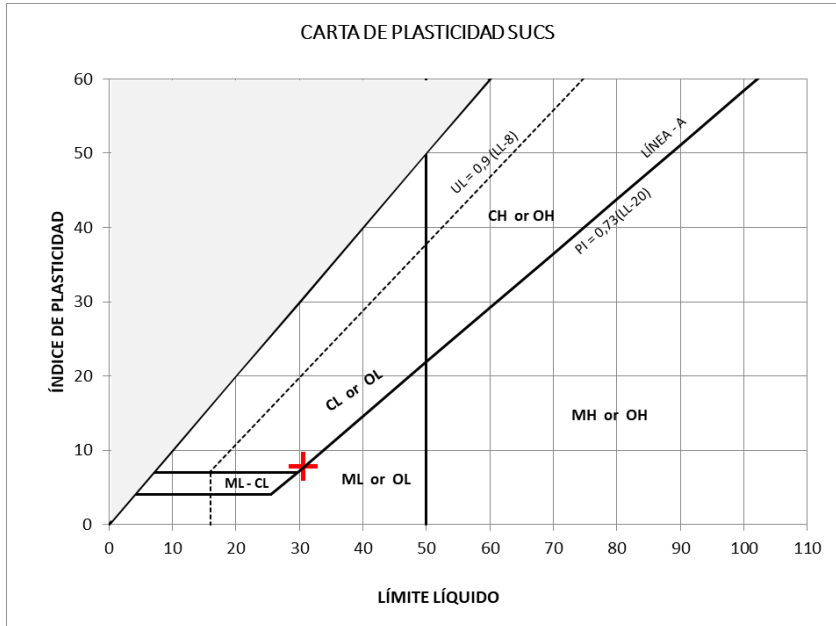


Figura N° 53: Carta SUCS señalando el resultado a (6m).

4.1.3.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (6m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,53
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	16,5

Tabla N° 24: Granulometría (6m).

4.1.3.6. Curva granulométrica (6m)

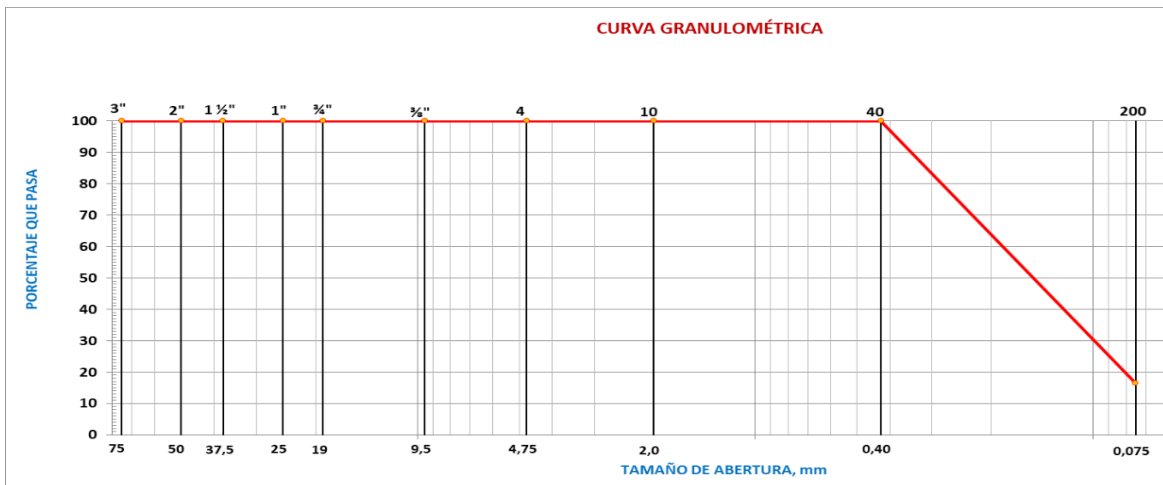


Figura N° 54: Diagrama de granulometría (6m).

4.1.3.7. Resumen de resultados y clasificación (6m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	11
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	31
Límite Plástico, LP:	23
Índice de Plasticidad, IP:	8

Tabla N° 25: Resultados humedad natural y límites de atterberg (6m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	84
Finos (%):	16

Tabla N° 26: Análisis granulométrico (6m).

Clasificación (SUCS): SC

Nombre típico: Arena Arcillosa.

4.1.4. CLASIFICACIÓN SUCS (8m)

4.1.4.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (8m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,04	40,81	39,11	7,37	7,13
17,24	53,65	51,30	6,90	

Tabla N° 27: Contenido de humedad (8m)

4.1.4.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (8m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
6,26	14,43	13,03	20,68	20,85
6,00	14,23	12,80	21,03	

Tabla N° 28: Resumen limite plástico (8m).

4.1.4.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (8m)

A **MÉTODO MULTIPUNTO**

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
30	6,31	16,11	14,12	25,48
24	6,04	17,95	15,47	26,30
15	8,45	16,48	15,82	8,96

Tabla N° 29: Resumen limite plástico (8m).

4.1.4.4. Carta de plasticidad SUCS (8m)

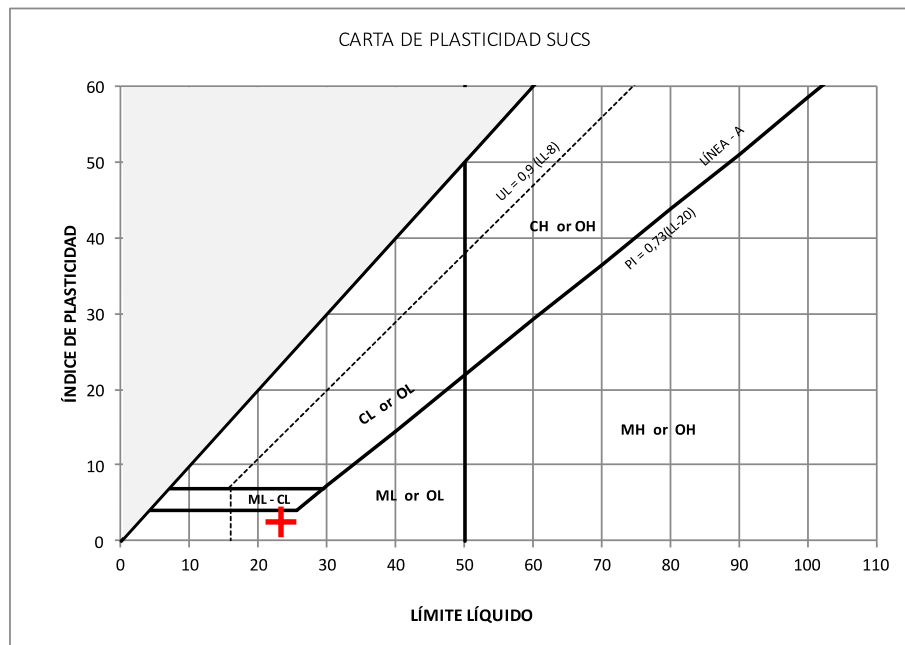


Figura N° 55: Carta SUCS señalando el resultado a (8m).

4.1.4.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (8m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,61
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	26,4

Tabla N° 30: Granulometría (8m).

4.1.4.6. Curva granulométrica (8m)

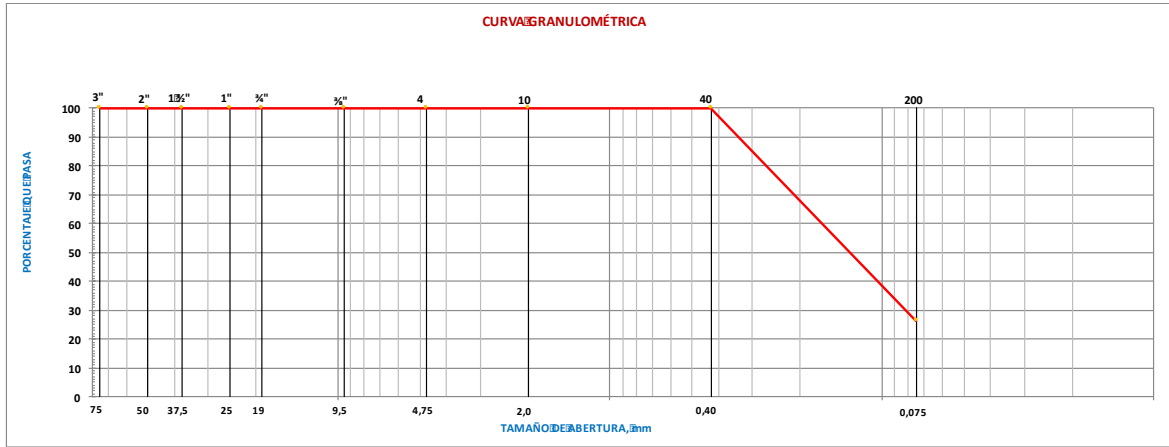


Tabla N° 31: Diagrama de granulometría (8m).

4.1.4.7. Resumen de resultados y clasificación (8m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	7
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	23
Límite Plástico, LP:	21
Índice de Plasticidad, IP:	3

Tabla N° 32: Resultados humedad natural y límites de atterberg (8m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	74
Finos (%):	26

Tabla N° 33: Análisis granulométrico (8m).

Clasificación (SUCS): SM
Nombre típico: Arena Limosa.

4.1.5. CLASIFICACIÓN SUCS (10m)

4.1.5.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (10m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
18,97	42,42	39,09	16,55	16,76
17,99	43,77	40,03	16,97	

Tabla N° 34: Contenido de humedad (10m).

4.1.5.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (10m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
6,36	12,41	11,38	20,52	20,64
5,95	12,58	11,44	20,77	

Tabla N° 35: Resumen limite plástico (10m).

4.1.5.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (10m)

A

MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
35	8,90	20,81	18,33	26,30
24	7,27	14,91	13,27	27,33
15	6,35	13,11	11,58	29,25

Tabla N° 36: Resumen limite plástico (10m).

4.1.5.4. Carta de plasticidad SUCS (10m)

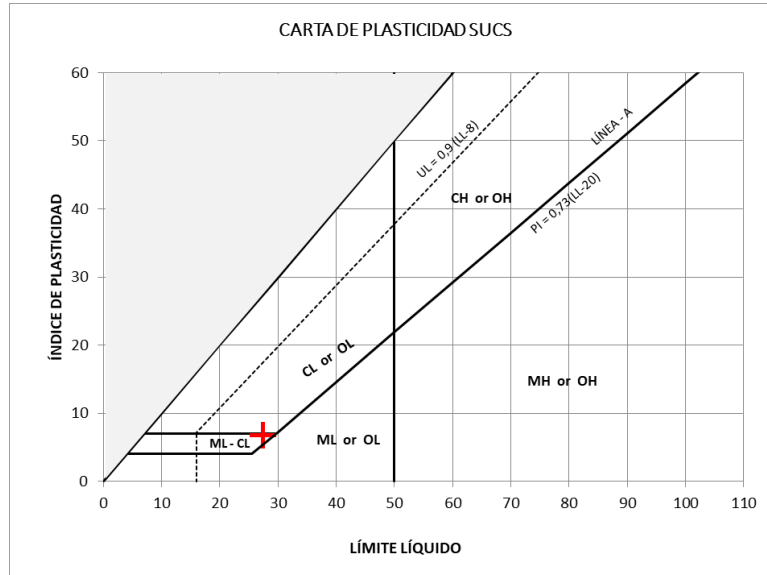


Figura N° 56: Carta SUCS señalando el resultado a (10m).

4.1.5.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (10m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,78
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	16,2

Tabla N° 37: Granulometría (10m).

4.1.5.6. Curva granulométrica (10m)

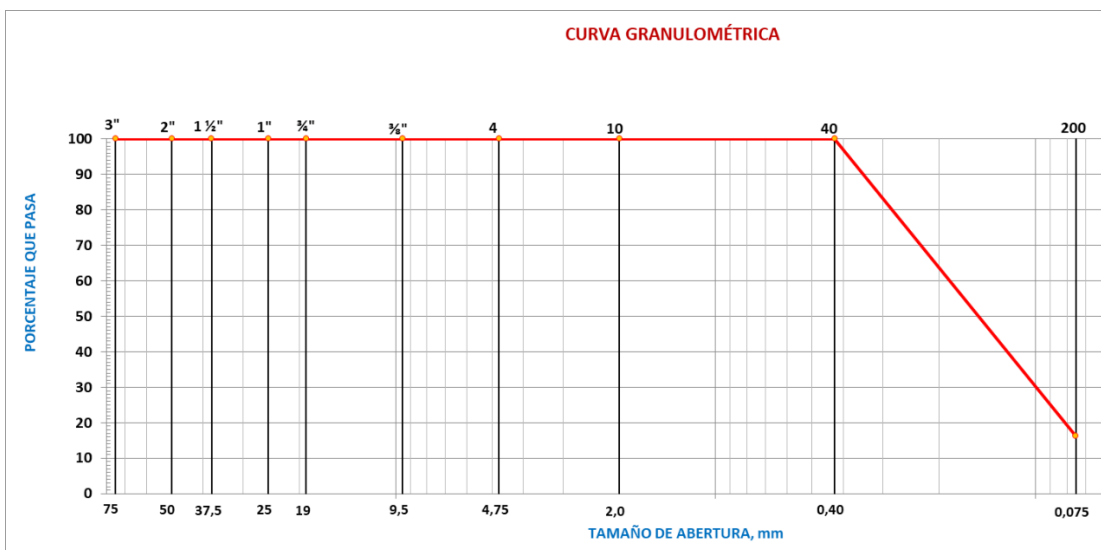


Figura N° 57: Diagrama de granulometría (10m).

4.1.5.7. Resumen de resultados y clasificación (10m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	17
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	27
Límite Plástico, LP:	21
Índice de Plasticidad, IP:	7

Tabla N° 38: Resultados humedad natural y límites de atterberg (10m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	84
Finos (%):	16

Tabla N° 39: Análisis granulométrico (10m).

Clasificación (SUCS): SM-SC

Nombre típico: Arena arcillosa limosa.

4.1.6. CLASIFICACIÓN SUCS (12m)

4.1.6.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (12m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
17,78	49,49	45,11	16,03	16,13
17,94	53,87	48,85	16,24	

Tabla N° 40: Contenido de humedad (12m)

4.1.6.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (12m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
9,48	15,63	14,46	23,49	23,61
5,95	12,52	11,26	23,73	

Tabla N° 41: Resumen limite plástico (12m).

4.1.6.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (12m)

A **MÉTODO MULTIPUNTO**

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
34	6,12	15,81	13,66	28,51
24	6,18	15,08	13,06	29,36
13	9,42	18,74	16,55	30,72

Tabla N° 42: Resumen limite plástico (12m).

4.1.6.4. Carta de plasticidad SUCS (12m)

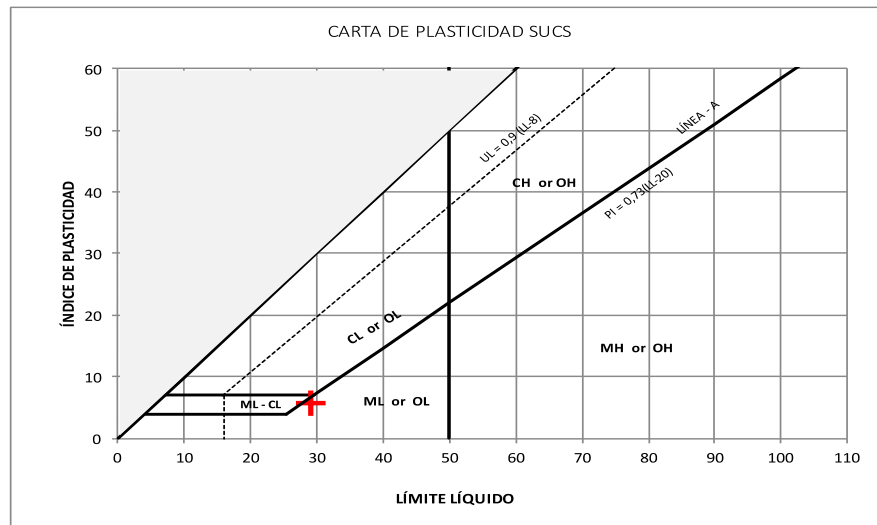


Figura N° 58: Carta SUCS señalando el resultado a (12m).

4.1.6.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (12m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,39
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	29,6

Tabla N° 43: Granulometría (12m).

4.1.6.6. Curva granulométrica (12m)

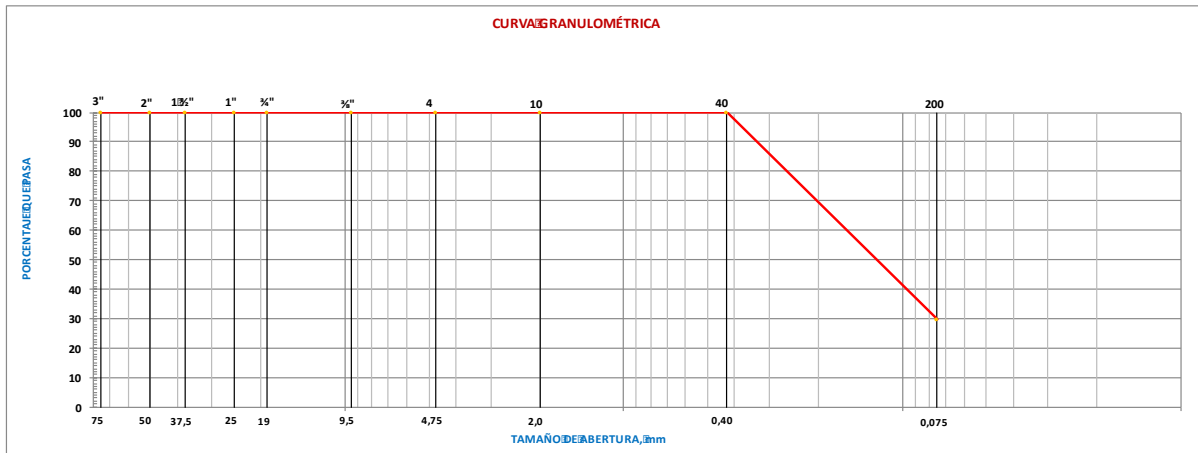


Figura N° 59: Diagrama de granulometría (12m).

4.1.6.7. Resumen de resultados y clasificación (12m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	16
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	29
Límite Plástico, LP:	24
Índice de Plasticidad, IP:	6

Tabla N° 44: Resultados humedad natural y límites de atterberg (12m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	70
Finos (%):	30

Tabla N° 45: Análisis granulométrico (12m).

Clasificación (SUCS): SM.
Nombre típico: Arena Limosa.

4.1.7. CLASIFICACIÓN SUCS (15m)

4.1.7.1. Contenido de humedad norma ASTM D2216 (15m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
16,87	54,72	49,04	17,66	17,52
18,04	55,51	49,96	17,39	

Tabla N° 46: Contenido de humedad (15m).

4.1.7.2. Límite plástico norma ASTM D4318 (15m)

Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. + ss.	% Humedad	% Hum. Promed
6,02	12,40	11,09	25,84	25,49
9,42	15,84	14,55	25,15	

Tabla N° 47: Resumen limite plástico (15m).

4.1.7.3. Límite líquido norma ASTM D4318 (15m)

A

MÉTODO MULTIPUNTO

N° DE GOLPES	Pcap.	Pcap. + sh.	Pcap. +ss	% Humedad
30	6,55	13,94	12,19	31,03
25	5,94	12,13	10,69	30,32
14	6,34	12,35	10,94	30,65

Tabla N° 48: Resumen limite plástico (15m).

4.1.7.4. Carta de plasticidad SUCS (15m)

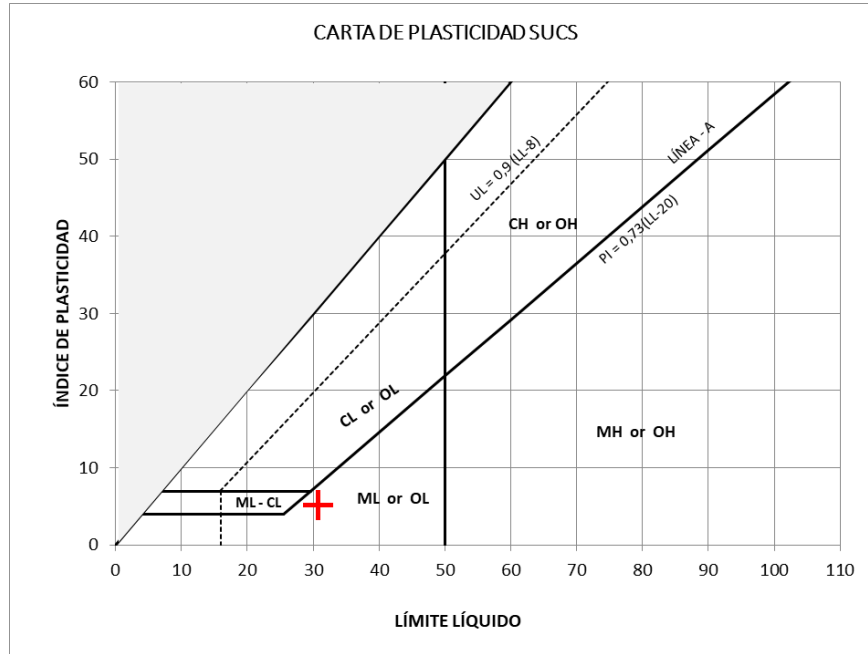


Figura N° 60: Carta SUCS señalando el resultado a (15m).

4.1.7.5. Análisis granulométrico norma ASTM D 6913 (15m)

TAMIZ N°	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
ABERTURA (mm)	75,0	50,0	37,5	25,0	19,0	9,5	4,75	2,0	0,425	0,075
PORCENTAJE RETENIDO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,57
% QUE PASA	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	30,4

Tabla N° 49: Granulometría (15m).

4.1.7.6. Resumen de resultados y clasificación (15m)

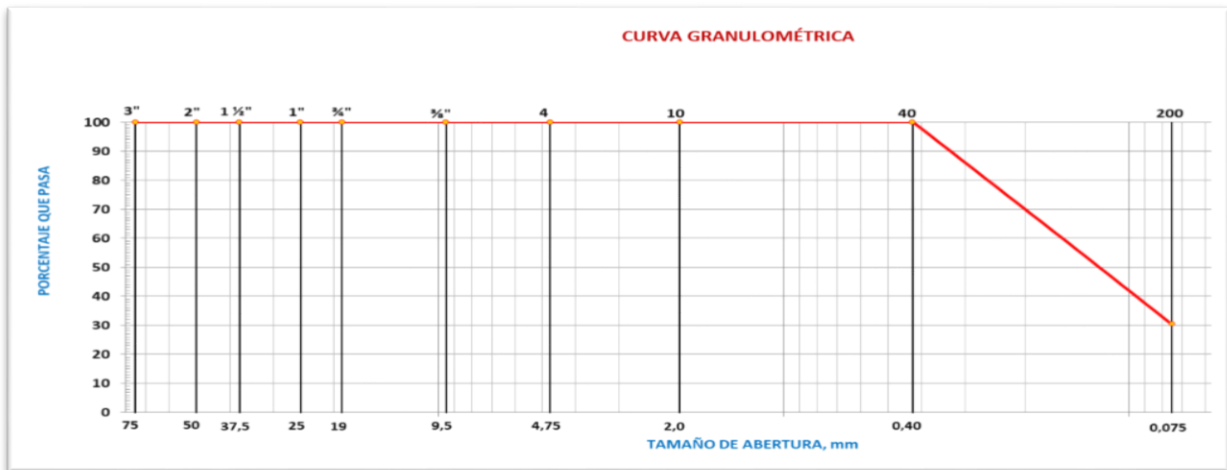


Figura N° 61: Diagrama de granulometría (15m).

4.1.7.7. Resumen de resultados y clasificación (15m)

HUMEDAD NATURAL (%)	
Humedad (%):	18
LÍMITES DE ATTERBERG	
Límite Líquido, LL:	31
Límite Plástico, LP:	25
Índice de Plasticidad, IP:	5

Tabla N° 50: Resultados humedad natural y límites de atterberg (15m).

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Grava (%):	0
Arena (%):	70
Finos (%):	30

Tabla N° 51: Análisis granulométrico (15m).

Clasificación (SUCS): SM
Nombre típico: Arena Limosa.

4.2. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS.

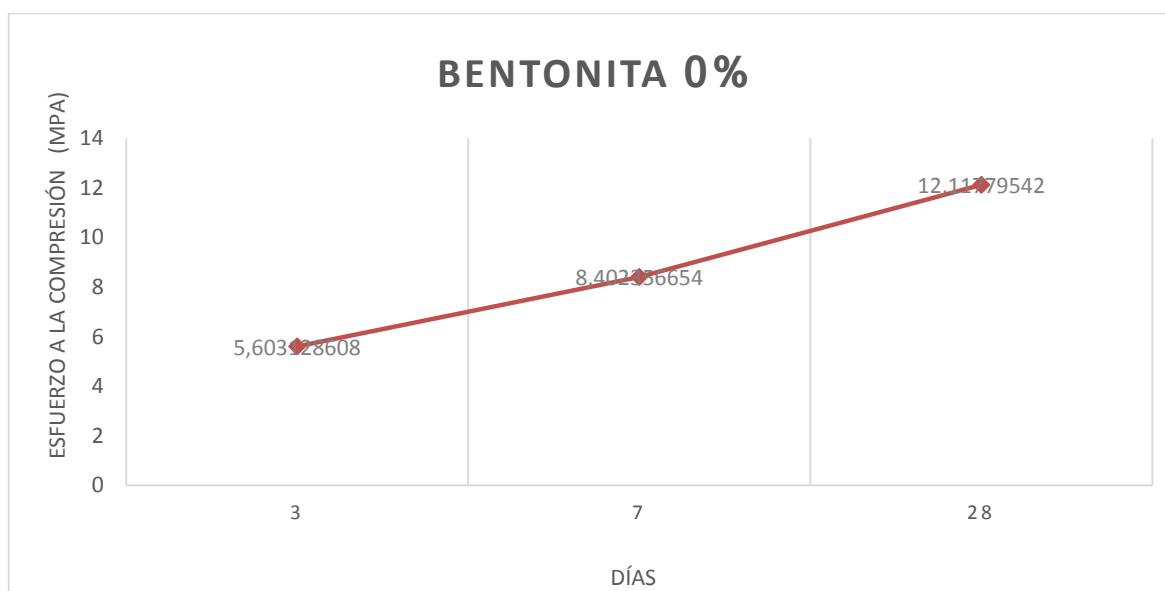
4.2.1. Mortero de cemento 0% bentonita.

4.2.1.1. Resistencia a la compresión lechada con el 0% de bentonita

MUESTRA #	3A	3B	3C	3A	3B	3C	3A	3B	3C
Descripción	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita	no Bentonita
Fecha de fabricación	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019
Fecha de ensayo	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	20/8/2019	20/8/2019	20/8/2019
Edad (días)	3	3	3	7	7	7	28	28	28
Largo (mm)	50,14	50,09	50,13	47,15	50,15	51,25	50,69	50,31	51,43
Ancho (mm)	50,17	50,14	51	50,24	50,26	50,34	50,16	50,89	50,47
Altura (mm)	46,41	47,02	47,48	50,16	47,6	45,54	45,4	48,25	47,28
Masa (gr)	194,25	194,79	197,67	198,8	199,79	198,23	196,52	200,99	205,69
Carga de ruptura (N)	15634	13291	13527	20522	19835	22335	33341	30140	29704
carga en Kg	1595,31	1356,22	1380,31	2094,08	2023,98	2279,08	3402,14	3075,51	3031,02
área cm ²	25,16	25,12	25,57	23,69	25,21	25,80	25,43	25,60	25,96
esfuerzo Kg/cm ²	63,42	54,00	53,99	88,40	80,30	88,34	133,81	120,12	116,77
esfuerzo en MPA	6,21922511	5,29562101	5,2945397	8,66927851	7,87468849	8,66310296	13,1217996	11,780157	11,4514296
esfuerzo promedio		5,603128608			8,402356654			12,11779542	
densidad	1,66387627	1,64948614	1,62840404	1,67312167	1,66522673	1,68721052	1,70243713	1,62701053	1,6760458
densidad promedio (kg/cm ³)		1,647255485			1,675186305			1,668497821	

Tabla N° 52: Resistencia de los morteros según su edad al 0%

4.2.1.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 0%.



Gráfica N° 1: Gráfica de la resistencia según su edad al 0%

4.2.1.3. Exudación bentonita 0%.

EXUDACIÓN -Bentonita 0%			
Medición	hora	medida (ml)	% exudación
0	11:30	610	0
1	12:30	580	4,92
2	13:30	578	5,25
3	14:30	575	5,74

Tabla N° 53: Exudación de la muestra al 0%

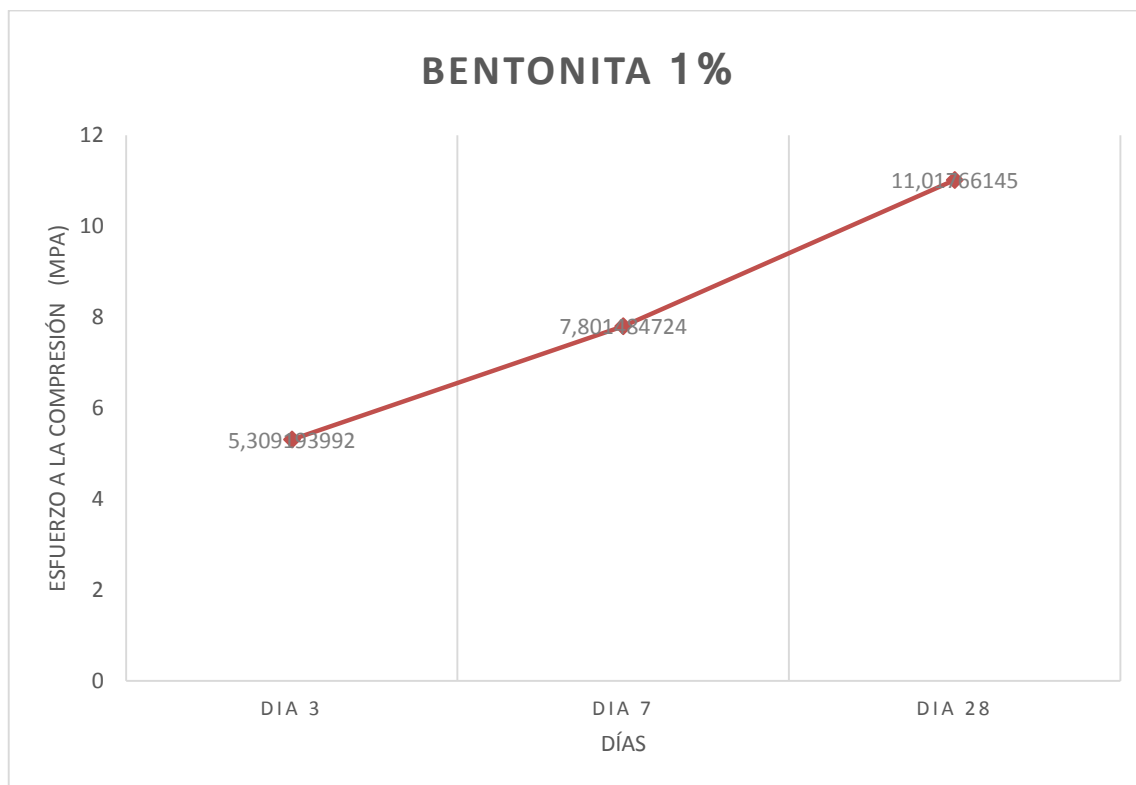
4.2.2. Mortero de cemento 1% bentonita.

4.2.2.1. Resistencia a la compresión lechada con el 1% de bentonita

MUESTRA #	5A	5B	5C	5A	5B	5C	5A	5B	5C
Descripción	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%	bentonita 1%
Fecha de fabricación	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019
Fecha de ensayo	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	20/8/2019	20/8/2019	20/8/2019
Edad (días)	3	3	3	7	7	7	28	28	28
Largo (mm)	50,1	51,05	51,45	50,78	52,61	52,23	50,23	52,06	52,33
Ancho (mm)	50,22	51,5	50,98	49,92	51,05	50,86	52,77	52,13	53,09
Altura (mm)	50,46	50,12	50,01	51,65	51,23	50,4	49,97	50,25	49,98
Masa (gr)	203,998	203,654	203,526	208,98	208,126	207,502	206,284	208,978	211,862
Carga de ruptura (N)	14816,79	13183,27	13149,73	20390,68	19623,61	21352,63	31602,02	29047,86	28906,42
carga en Kg	1511,92	1345,23	1341,81	2080,68	2002,41	2178,84	3224,70	2964,07	2949,64
área cm2	25,16	26,29	26,23	25,35	26,86	26,56	26,51	27,14	27,78
esfuerzo Kg/cm2	60,09	51,17	51,16	82,08	74,56	82,02	121,66	109,22	106,17
esfuerzo en MPA	5,892970679	5,017817941	5,016793356	8,049318382	7,311551334	8,043584456	11,9305155	10,71067612	10,41179273
esfuerzo promedio		5,309193992			7,801484724			11,01766145	
densidad	1,606808902	1,545535222	1,551593075	1,59612583	1,512648195	1,549870346	1,557420627	1,53240166	1,525785052
densidad promedio (kg/cm3)		1,567979066			1,552881457			1,53853578	

Tabla N° 54: Resistencia de los morteros según su edad al 1% de bentonita

4.2.2.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 1%.



Gráfica N° 2: Gráfica de la resistencia según su edad al 1% bentonita.

4.2.2.3. Exudación bentonita 1%.

EXUDACIÓN -Bentonita 1%			
Medición	hora	medida (ml)	% exudación
0	11:30	510	0
1	12:30	490	3,92
2	13:30	485	4,90
3	14:30	483	5,29

Tabla N° 55: Exudación de la muestra al 1% de bentonita.

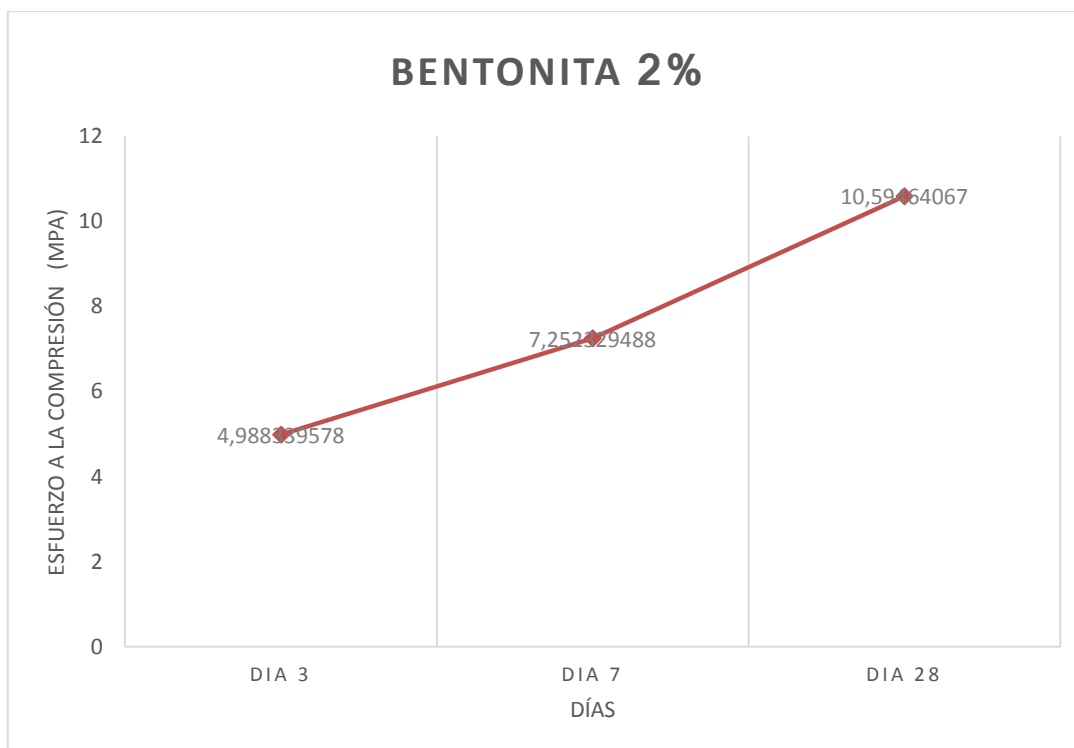
4.2.3. Mortero de cemento 2% bentonita.

4.2.3.1. Resistencia a la compresión lechada con el 2% de bentonita.

MUESTRA #	6A	6B	6C	6A	6B	6C	6A	6B	6C
Descripción	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%	Bentonita 2%
Fecha de fabricación	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019
Fecha de ensayo	29/7/2019	29/7/2019	29/7/2019	2/8/2019	2/8/2019	2/8/2019	23/8/2019	23/8/2019	23/8/2019
Edad (días)	3	3	3	7	7	7	28	28	28
Largo (mm)	50,05	52,93	50,97	50,54	52,35	51,53	51,09	52,27	50,97
Ancho (mm)	50,19	51,89	52,23	51,26	53,06	50,47	49,23	53,08	52,12
Altura (mm)	48,9	49,22	46,98	49,79	47,67	45,88	50,15	47,78	45,98
Masa (gr)	218,746	214,518	215,382	219,16	216,462	216,774	216,048	216,966	218,034
Carga de ruptura (N)	13899,15	12939,97	12539,89	19372,19	18866,84	19433,40	28835,48	28556,34	26579,50
carga en Kg	1418,28	1320,41	1279,58	1976,75	1925,19	1983,00	2942,40	2913,91	2712,19
área cm ²	25,12	27,47	26,62	25,91	27,78	26,01	25,15	27,74	26,57
esfuerzo Kg/cm ²	56,46	48,08	48,07	76,30	69,31	76,25	116,99	105,03	102,09
esfuerzo en MPA	5,536836461	4,71457247	4,713609804	7,482717858	6,796883057	7,477387549	11,47244588	10,29944197	10,01203415
esfuerzo promedio		4,988339578			7,252329488			10,59464067	
densidad	1,780778828	1,586852518	1,72211335	1,699046739	1,634754657	1,816729779	1,712827293	1,636673771	1,784991756
densidad promedio (kg/cm ³)		1,696581565			1,716843725			1,711497607	

Tabla N° 56: Resistencia de los morteros según su edad al 2% de bentonita.

4.2.3.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 2%.



Gráfica N° 3: Gráfica de la resistencia según su edad al 2% de bentonita.

4.2.3.3. Exudación bentonita 2%.

EXUDACIÓN -Bentonita 2%			
Medición	hora	medida (ml)	% exudación
0	11:30	600	0
1	12:30	585	2,50
2	13:30	576	4,00
3	14:30	574	4,33

Tabla N° 57: Exudación de la muestra al 2% de bentonita.

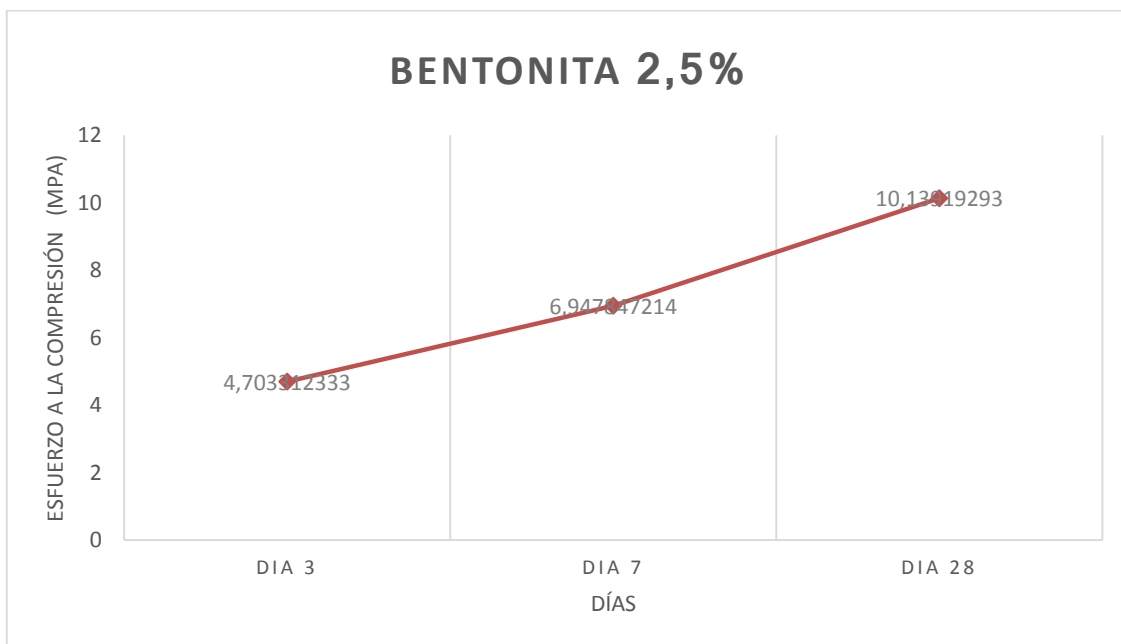
4.2.4. Mortero de cemento 2.5% bentonita.

4.2.4.1. Resistencia a la compresión lechada con el 2.5% de bentonita

MUESTRA #	4A	4B	4C	4A	4B	4C	4A	4B	4C
Descripción	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita	bentonita
Fecha de fabricación	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019	23/7/2019
Fecha de ensayo	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	30/7/2019	20/8/2019	20/8/2019	20/8/2019
Edad (días)	3	3	3	7	7	7	28	28	28
Largo (mm)	53,18	52,35	50,69	53,34	51,59	52,13	51,51	51,96	51,38
Ancho (mm)	50,75	51,16	52,2	50,91	52,66	50,86	52,77	52,44	52,18
Altura (mm)	50,56	50,15	49,6	51,22	50,35	51,31	50,87	50,14	50,26
Masa (gr)	218,62	216,95	212,31	224,25	220,63	221,41	220,93	220,96	221,12
Carga de ruptura (N)	12707	12661	12343	19170	18738	18222	25089	28409	28796
carga en Kg	1296,63	1291,94	1259,49	1956,12	1912,04	1859,39	2560,10	2898,88	2938,37
área cm2	26,99	26,78	26,46	27,16	27,17	26,51	27,18	27,25	26,81
esfuerzo Kg/cm2	48,04	48,24	47,60	72,03	70,38	70,13	94,18	106,39	109,60
esfuerzo en MPA	4,7114355	4,73059084	4,66791065	7,06416125	6,90194433	6,87743606	9,23632715	10,4332286	10,7480231
esfuerzo promedio	4,703312333			6,947847214			10,13919293		
densidad	1,60213255	1,61525649	1,61769253	1,61226627	1,61294184	1,627538	1,59777018	1,61732577	1,64099541
densidad promedio	1,611693858			1,617582036			1,618697119		

Tabla N° 58: Resistencia de los morteros según su edad al 2.5% de bentonita.

4.2.4.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 2,5%.



Gráfica N° 4: Gráfica de la resistencia según su edad al 2.5% de bentonita.

4.2.4.3. Exudación bentonita 2,5%.

EXUDACIÓN -Bentonita 2,5%			
Medición	hora	medida (ml)	% exudación
0	11:31	500	0
1	12:31	490	2,00
2	13:31	482	3,60
3	14:31	480	4,00

Tabla N° 59: Exudación de la muestra al 2.5% de bentonita

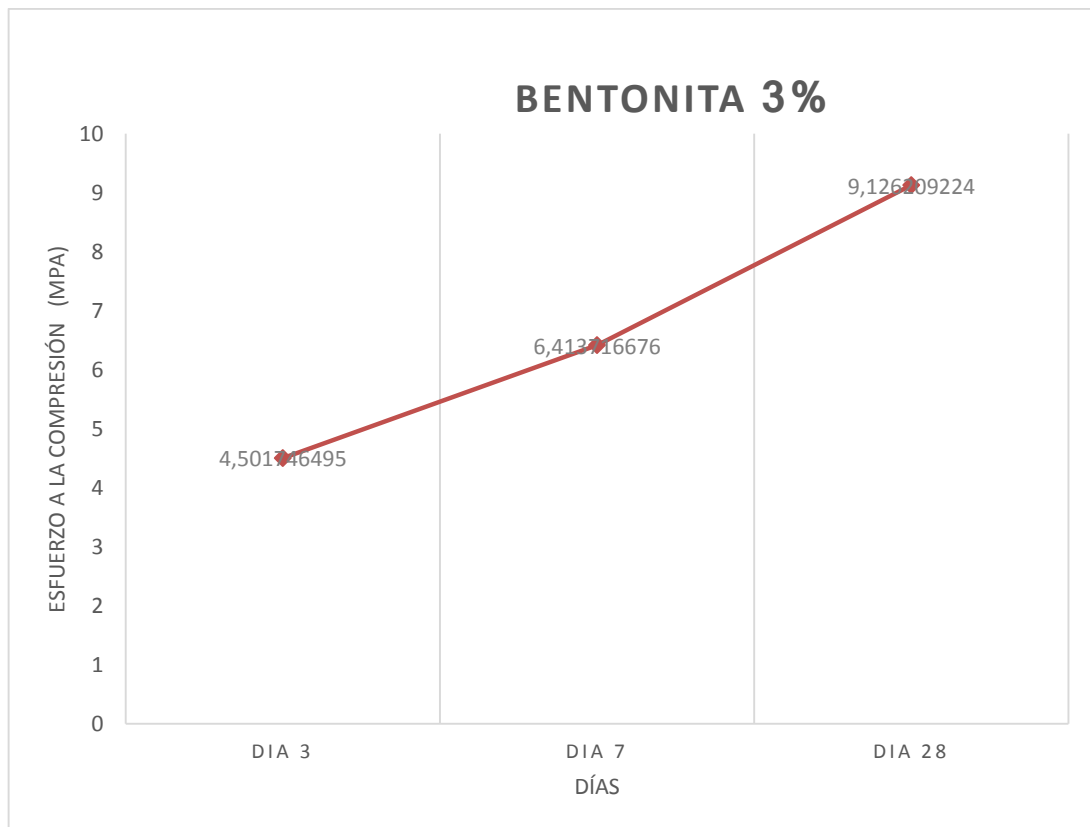
4.2.5. Mortero de cemento 3% bentonita.

4.2.5.1. Resistencia a la compresión lechada con el 3% de bentonita

MUESTRA #	7A	7B	7C	7A	7B	7C	7A	7B	7C
Descripción	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%	Bentonita 3%
Fecha de fabricación	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019	26/7/2019
Fecha de ensayo	29/7/2019	29/7/2019	29/7/2019	2/8/2019	2/8/2019	2/8/2019	23/8/2019	23/8/2019	23/8/2019
Edad (días)	3	3	3	7	7	7	28	28	28
Largo (mm)	50,09	51,07	51,34	52,12	52,45	51,11	49,56	50,07	50,47
Ancho (mm)	50,13	52,24	52,43	53,23	53,12	52,45	50,35	50,45	51,39
Altura (mm)	47,67	48,56	46,98	46,5	47,82	45,16	47,51	49,56	48,92
Masa (gr)	227,494	230,382	233,238	235,34	225,798	229,781	225,812	224,954	224,206
Carga de ruptura (N)	12538,36	11343,36	11442,47	18346,70	16735,97	17714,91	24643,16	22395,57	22353,41
carga en Kg	1279,42	1157,49	1167,60	1872,11	1707,75	1807,64	2514,61	2285,26	2280,96
área cm ²	25,11	26,68	26,92	27,74	27,86	26,81	24,95	25,26	25,94
esfuerzo Kg/cm ²	50,95	43,39	43,38	67,48	61,29	67,43	100,77	90,47	87,94
esfuerzo en MPA	4,996739645	4,254684301	4,25381554	6,617464413	6,010935146	6,612750467	9,882349455	8,871925462	8,624352755
esfuerzo promedio	4,501746495			6,413716676			9,126209224		
densidad	1,900535817	1,778282849	1,844380722	1,824239785	1,694755142	1,898055068	1,904720317	1,796898972	1,767050087
densidad promedio	1,841066463			1,805683332			1,822889792		

Tabla N° 60: Resistencia de los morteros según su edad al 3% de bentonita.

4.2.5.2. Gráfica de la resistencia a la compresión según su edad bentonita 3%.



Gráfica N° 5: Gráfica de la resistencia según su edad al 3% de bentonita.

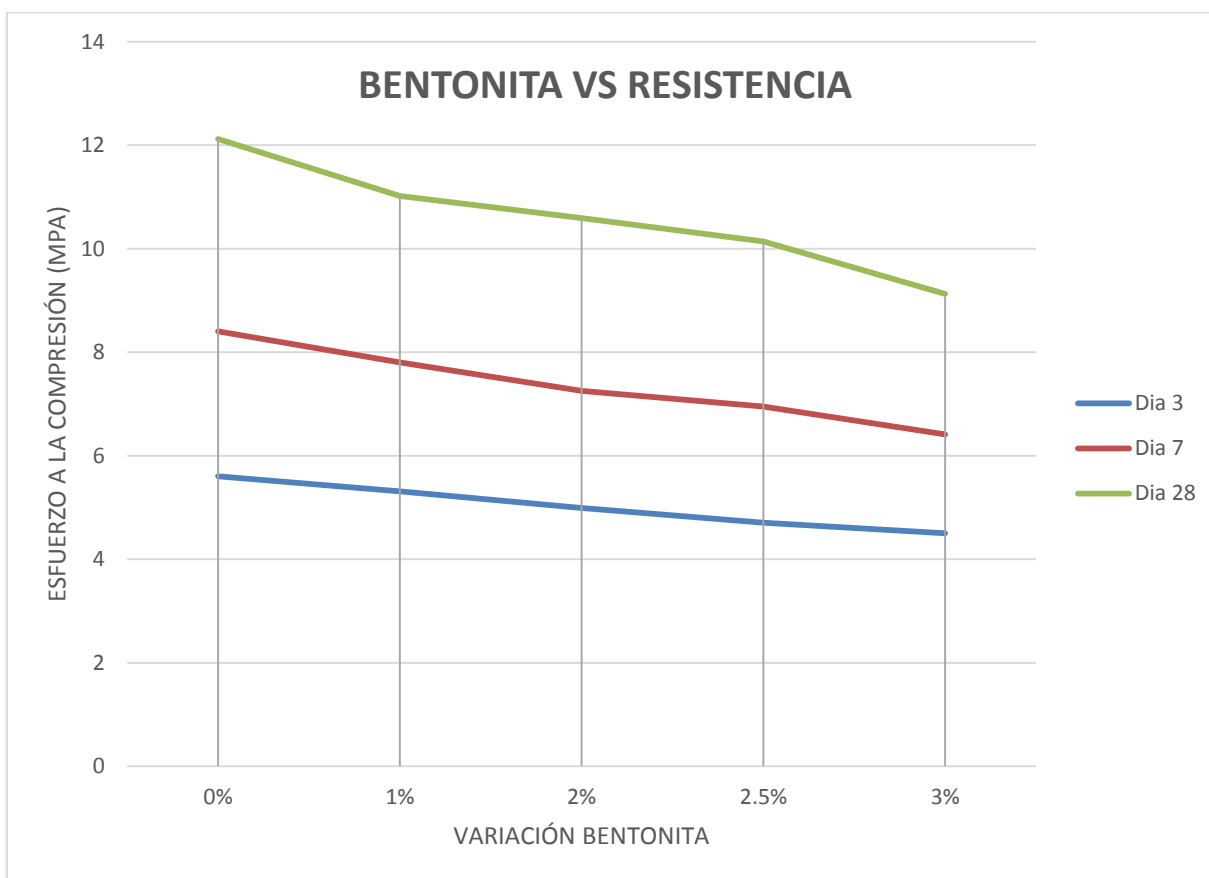
4.2.5.3. Exudación bentonita 3%.

EXUDACIÓN -Bentonita 3%			
Medición	hora	medida (ml)	% exudación
0	11:30	550	0
1	12:30	542	1,45
2	13:30	535	2,73
3	14:30	533	3,09

Tabla N° 61: Exudación de la muestra al 3% de bentonita.

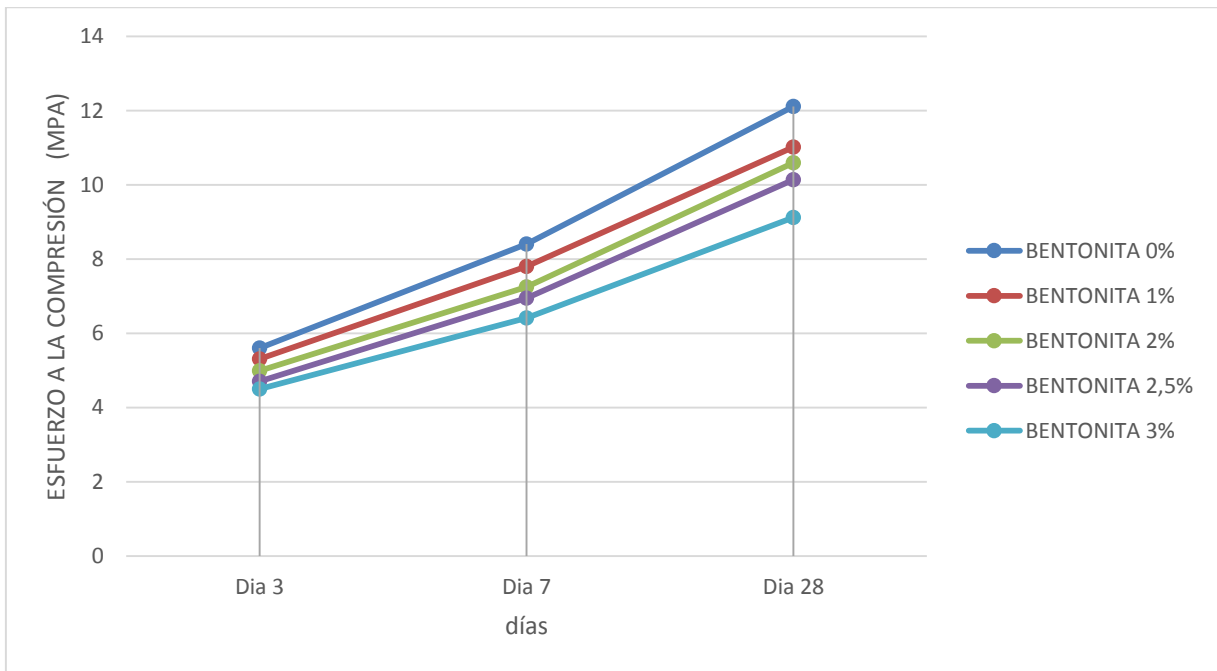
4.2.6. Gráfica de resumen.

4.2.6.1. Gráfica comparativa de bentonita vs la resistencia.



Gráfica N° 6: Gráfica de bentonita vs resistencia variando el porcentaje de bentonita

4.2.6.2. Gráfica comparativa de la resistencia con 0%, 1%, 2%, 2.5% y 3% de bentonita.



Gráfica N° 7: Gráfica ilustrativa de la resistencia de la lechada con bentonita al 1%, 2%, 2.5% y 3%.

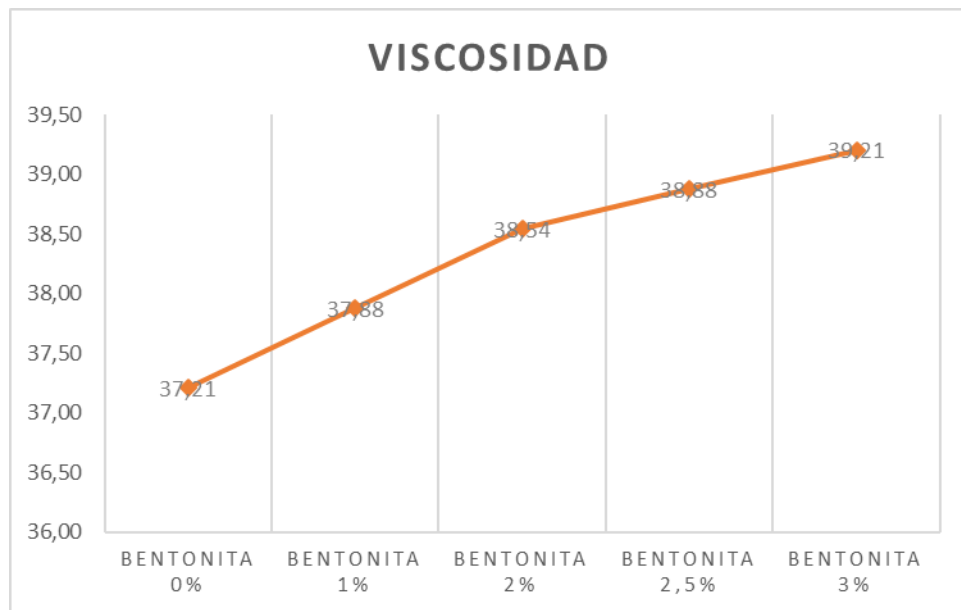
4.3. VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS

4.3.1. Tabla de viscosidades.

VISCOSIDAD/morteros					
CARACTERÍSTICAS	Tiempo (s)			PROMEDIO	Variación %
Bentonita 0%	36,89	37,23	37,51	37,21	100
Bentonita 1%	37,65	38,15	37,83	37,88	101,8
Bentonita 2%	38,41	39,06	38,16	38,54	103,6
Bentonita 2,5%	38,79	39,52	38,32	38,88	104,5
Bentonita 3%	39,20	39,25	39,17	39,21	105,4

Tabla N° 62: Datos de la viscosidad de la lechada con distintos tipos de bentonita.

4.3.2. Grafica de comparación de viscosidades.



Gráfica N° 8: Grafica ilustrativa de la viscosidad de lechad con bentonita.

4.4. ENSAYOS TRIAXIAL (UU) SIN SATURAR PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA Y ANGULO DE FRICCION DEL SUELO ANTES Y DESPUES DEL MEJORAMIENTO.

4.4.1. Resultado suelo a 15m de profundidad (suelo sin mejorar).

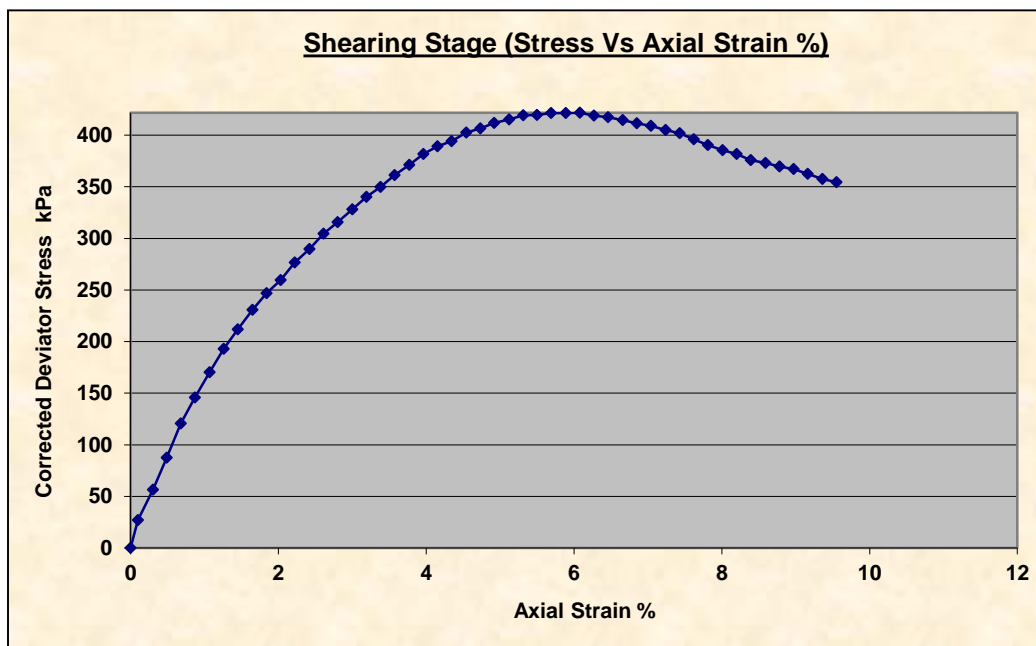
4.4.1.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Stage Reference	1
Initial Height	99.68 mm	Description	
Initial Diameter	50.14 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	16.20 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	18.48 %	Preparation	
Void Ratio	0.53	Degree of Saturation	88.48%
Comments			

Tabla N° 63: Detalles de la muestra a 15m y 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 9: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	50.1kPa

Tabla N° 64: Condición de corte a 50Kpa (suelo sin mejorar)

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	421.6 kPa	Major Principal Stress	471.8 kPa
Axial Strain	6.08%	Minor Principal Stress	50.1 kPa
Deviator Stress Correction Applied	2.04kPa	Final Moisture Content	18.48 %
Final Unit Weight	19.19 kN/m ³		

Tabla N° 65: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo sin mejorar).

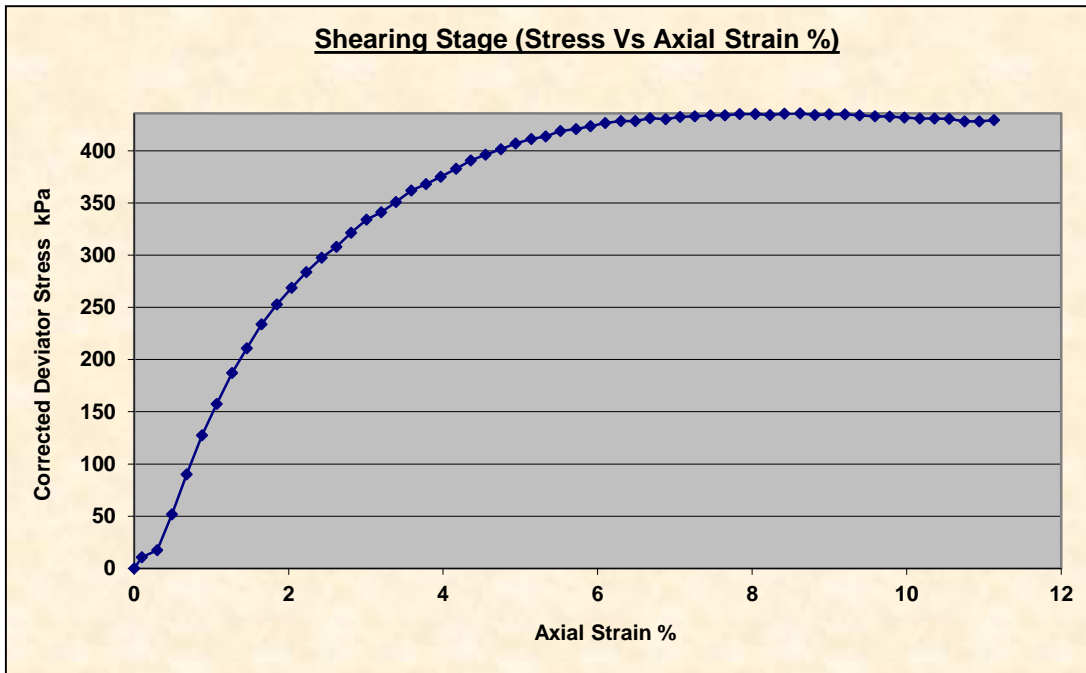
4.4.1.2. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Stage Reference	1
Initial Height	99.30 mm	Description	
Initial Diameter	50.01 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	15.35 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	18.48 %	Preparation	
Void Ratio	0.61	Degree of Saturation	76.28%
Comments			

Tabla N° 66: Detalles de la muestra a 15m y 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 10: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	100.5kPa

Tabla N° 67: Condición de corte a 100Kpa (suelo sin mejorar).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	435.7 kPa	Major Principal Stress	536.3 kPa
Axial Strain	8.62%	Minor Principal Stress	100.5 kPa
Deviator Stress Correction Applied	2.90kPa	Final Moisture Content	18.48 %
Final Unit Weight	18.19 kN/m ³		

Tabla N° 68: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo sin mejorar).

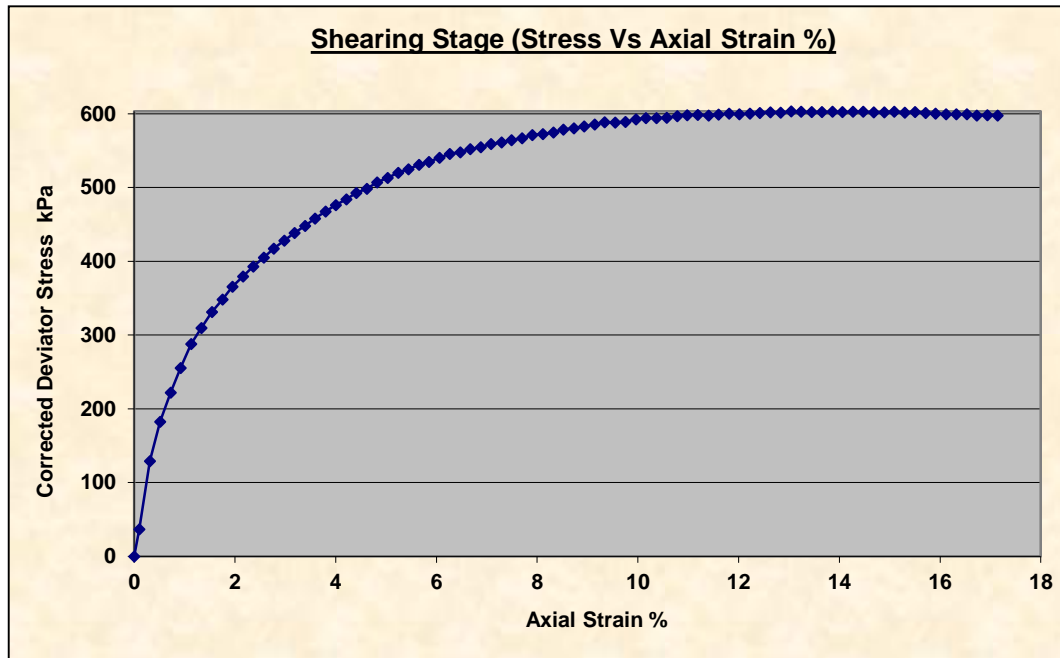
4.4.1.3. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.3.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Stage Reference	1
Initial Height	100.78 mm	Description	
Initial Diameter	50.27 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.98 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	18.48 %	Preparation	
Void Ratio	0.65	Degree of Saturation	71.64%
Comments			

Tabla N° 69: Detalles de la muestra a 15m y 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.3.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 11: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.1.3.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	200.1kPa

Tabla N° 70: Condición de corte a 200Kpa (suelo sin mejorar).

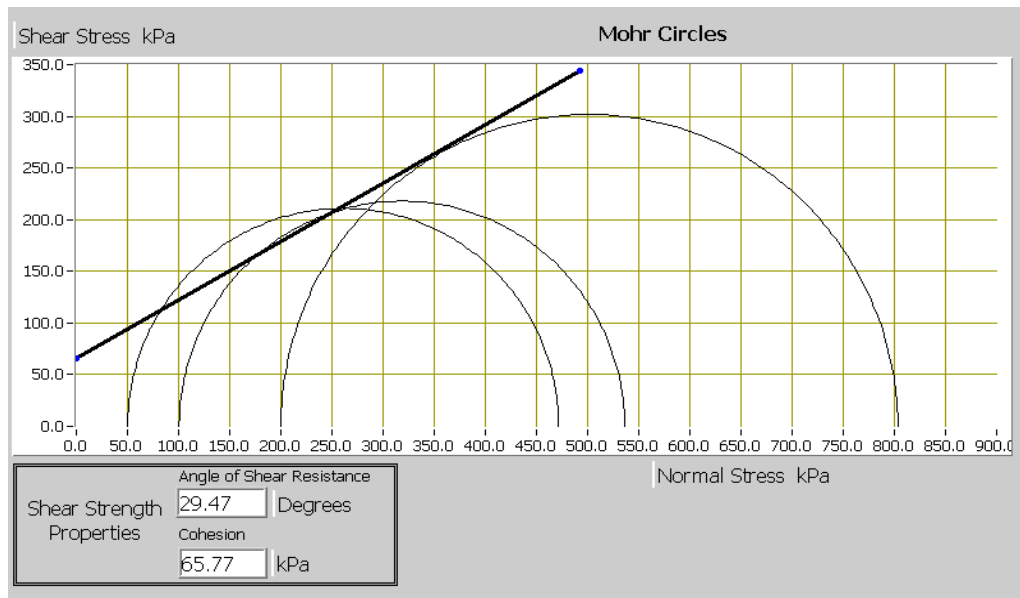
Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	603.2 kPa	Major Principal Stress	803.4 kPa
Axial Strain	13.04%	Minor Principal Stress	200.1 kPa
Deviator Stress Correction Applied	4.36kPa	Final Moisture Content	18.48 %
Final Unit Weight	17.75 kN/m ³		

Tabla N° 71: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo sin mejorar).

4.4.1.4. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo sin mejorar).

All Stages Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	100.5kPa	536.3 kPa	435.7 kPa	8.62%	Maximum Deviator Stress
Stage2	200.1kPa	803.4 kPa	603.2 kPa	13.04%	Maximum Deviator Stress
Stage3	50.1kPa	471.8 kPa	421.6 kPa	6.08%	Maximum Deviator Stress

Tabla N° 72: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 12: Envolvente de los estados de carga (suelo sin mejorar).

Angulo de fricción: 29.47°

Cohesión: 65.77 Kpa – 0.67 Kg/cm²

4.4.1.5. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).

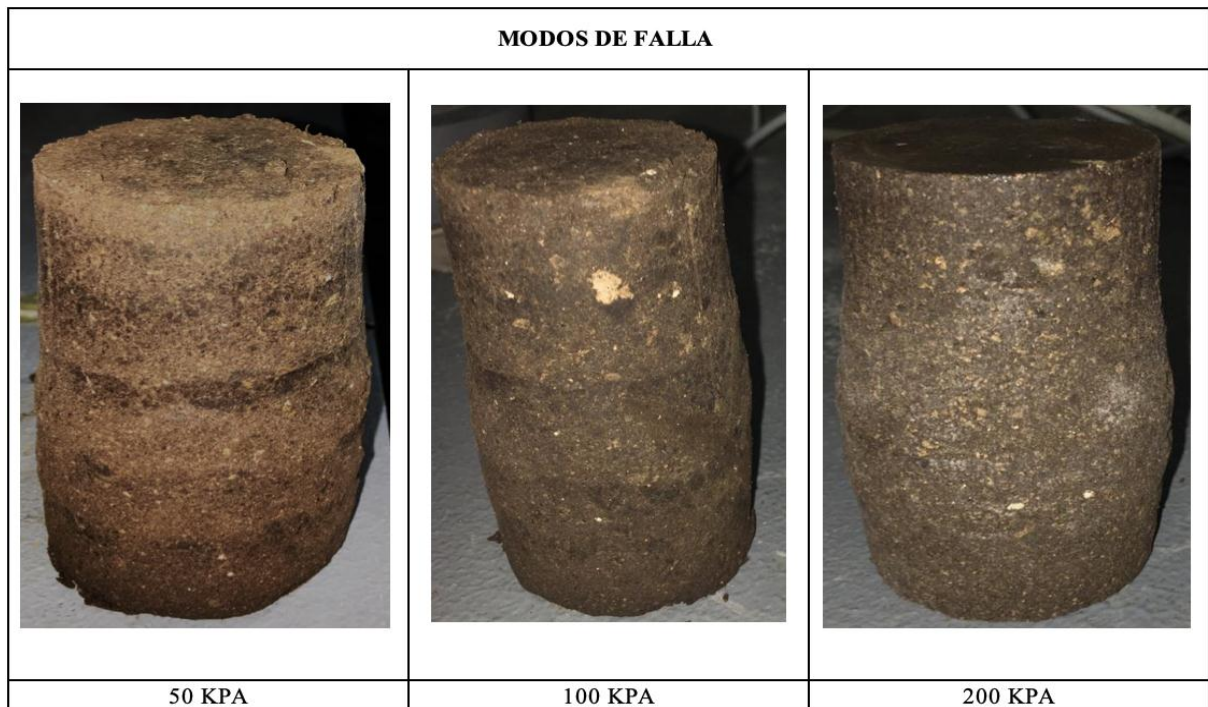


Figura N° 62: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo sin mejorar).

4.4.2. Resumen suelo a 15m de profundidad (suelo mejorado).

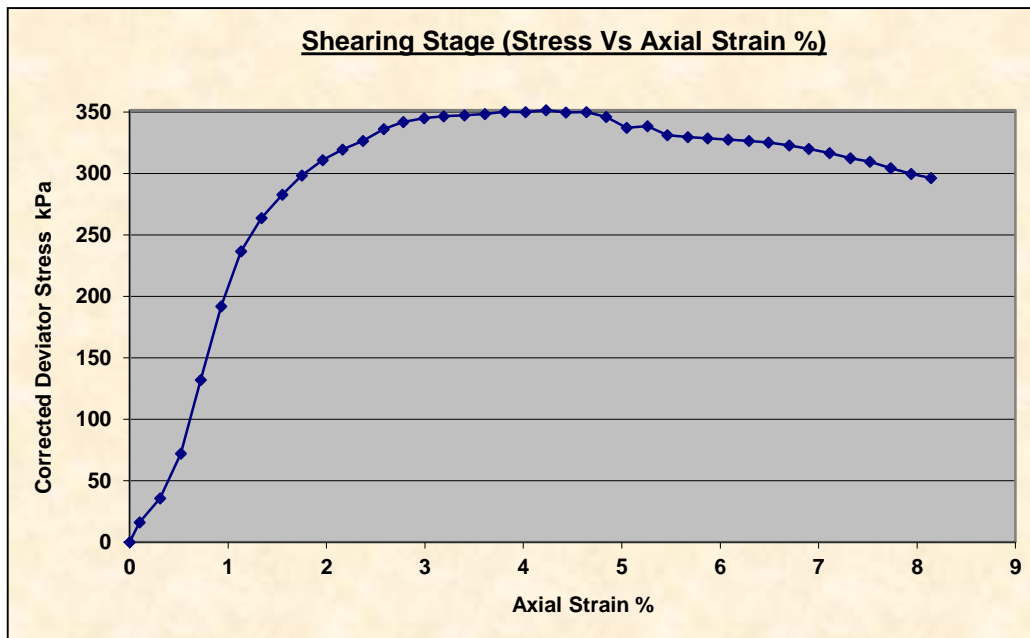
4.4.2.1. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.2.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Stage Reference	1
Initial Height	100.39 mm	Description	
Initial Diameter	47.55 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	13.33 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	13.59 %	Preparation	
Void Ratio	0.94	Degree of Saturation	38.22%
Comments			

Tabla N° 73: Detalles de la muestra a 15m y 100 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.2.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).



Gráfica N° 13: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.2.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	0.30%/min	Cell Pressure	99.8kPa

Tabla N° 74: Condición de corte a 100Kpa (suelo mejorado).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	351.7 kPa	Major Principal Stress	451.4 kPa
Axial Strain	4.23%	Minor Principal Stress	99.8 kPa
Deviator Stress Correction Applied	1.49kPa	Final Moisture Content	13.59 %
Final Unit Weight	15.14 kN/m ³		

Tabla N° 75: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo mejorado).

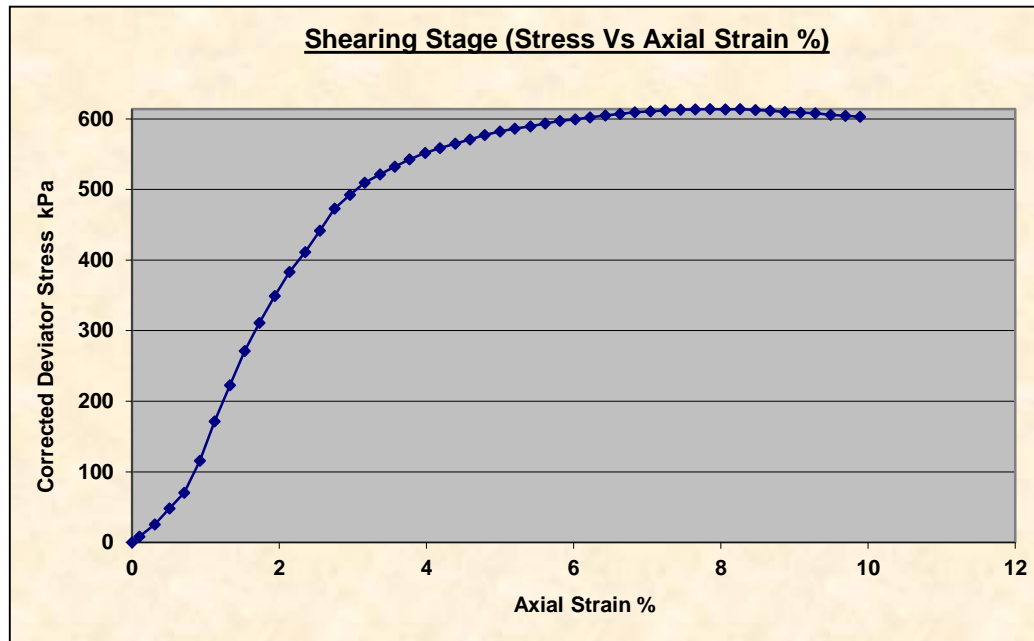
4.4.2.2. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.2.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Stage Reference	1
Initial Height	101.44 mm	Description	
Initial Diameter	46.63 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	13.84 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	13.59 %	Preparation	
Void Ratio	0.86	Degree of Saturation	41.35%
Comments			

Tabla N° 76: Detalles de la muestra a 15m y 200 Kpa de presión (suelo mejorado)

4.4.2.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).



Gráfica N° 14: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.2.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	0.30%/min	Cell Pressure	199.4kPa

Tabla N° 77: Condición de corte a 200Kpa (suelo mejorado).

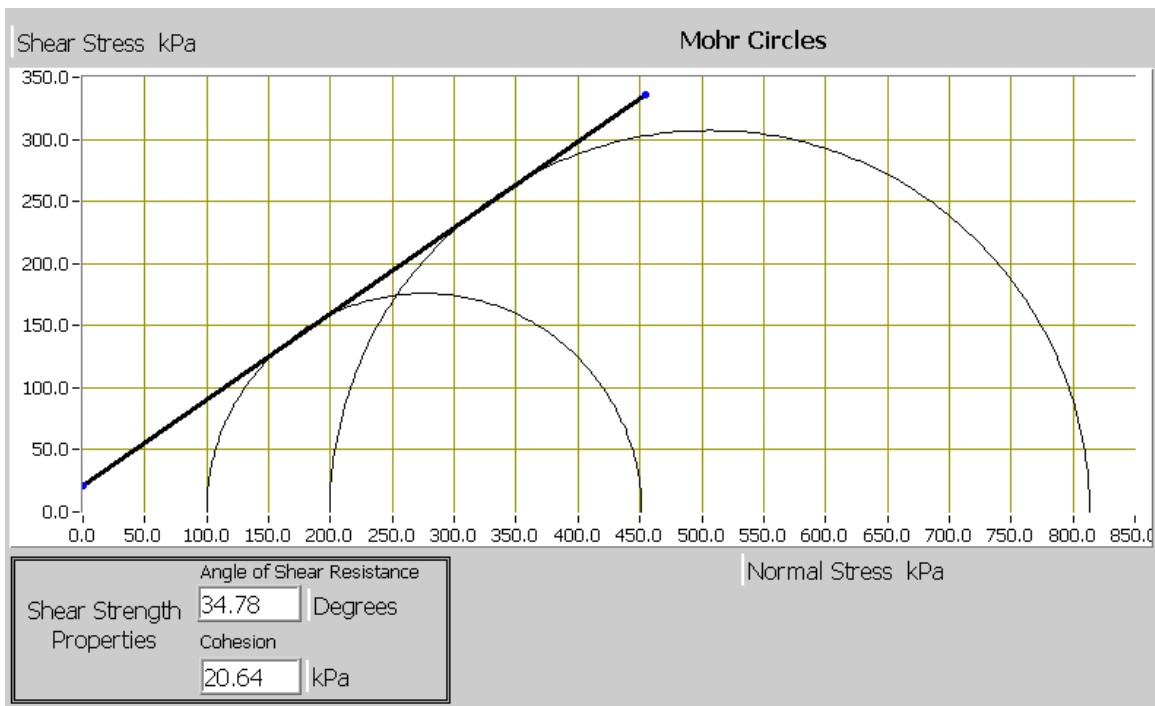
Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	614.1 kPa	Major Principal Stress	813.4 kPa
Axial Strain	8.26%	Minor Principal Stress	199.4 kPa
Deviator Stress Correction Applied	2.98kPa	Final Moisture Content	13.59 %
Final Unit Weight	15.72 kN/m3		

Tabla N° 78: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo mejorado).

4.4.2.3. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo mejorado).

All Stages Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	99.8kPa	451.4 kPa	351.7 kPa	4.23%	Maximum Deviator Stress
Stage2	199.4kPa	813.4 kPa	614.1 kPa	8.26%	Maximum Deviator Stress

Tabla N° 79: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo mejorado).



Gráfica N° 15: Envolvente de los estados de carga (suelo mejorado).

Angulo de fricción: 34.78°
 Cohesión: 20.64 Kpa – 0.21Kg/cm²

4.4.2.4. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).

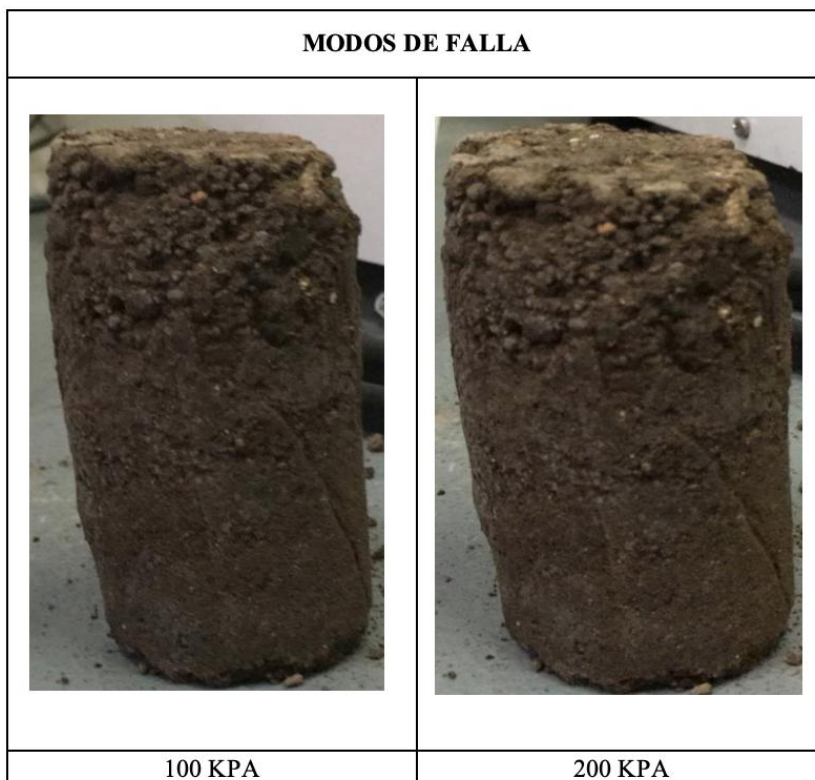


Figura N° 63: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo mejorado).

4.4.3. Resumen suelo de muestra del sector plaza de toros Quito (suelo sin mejorar).

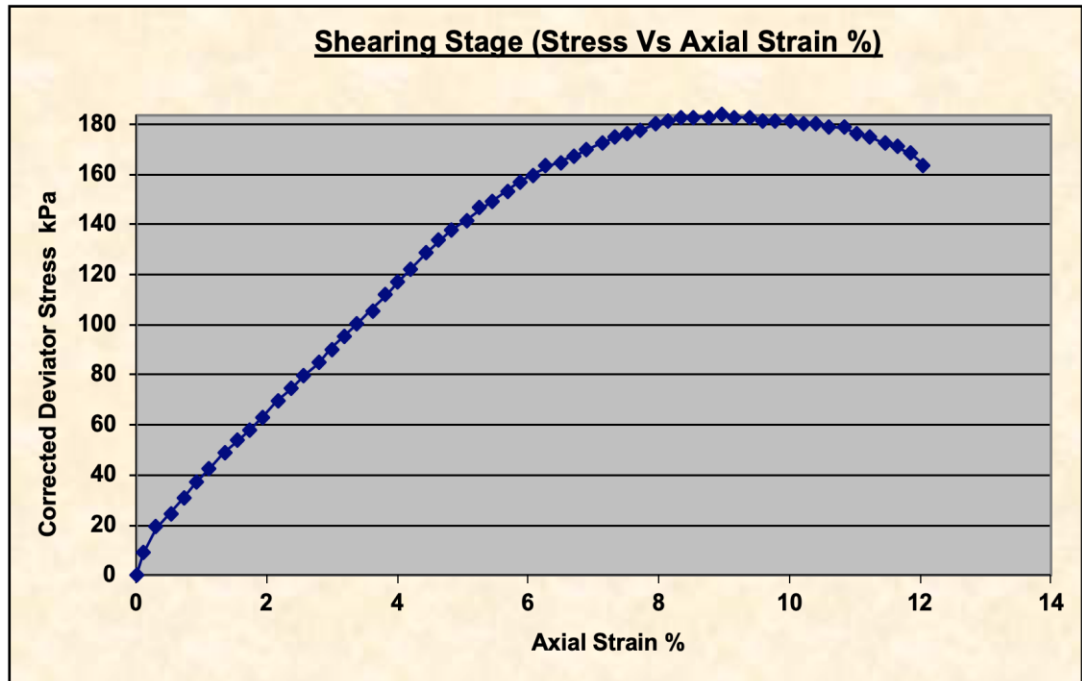
4.4.3.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.3.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Stage Reference	1
Initial Height	100.40 mm	Description	
Initial Diameter	45.93 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	15.35 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	16.88 %	Preparation	
Void Ratio	0.68	Degree of Saturation	65.22%
Comments			

Tabla N° 80: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 16: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar)

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	50.7k Pa

Tabla N° 81: Condición de corte a 50Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	183.7 kPa	Major Principal Stress	234.5 kPa
Axial Strain	8.97%	Minor Principal Stress	50.7 kPa
Deviator Stress Correction Applied	3.28kPa	Final Moisture Content	16.88 %
Final Unit Weight	17.94 kN/m ³		

Tabla N° 82: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

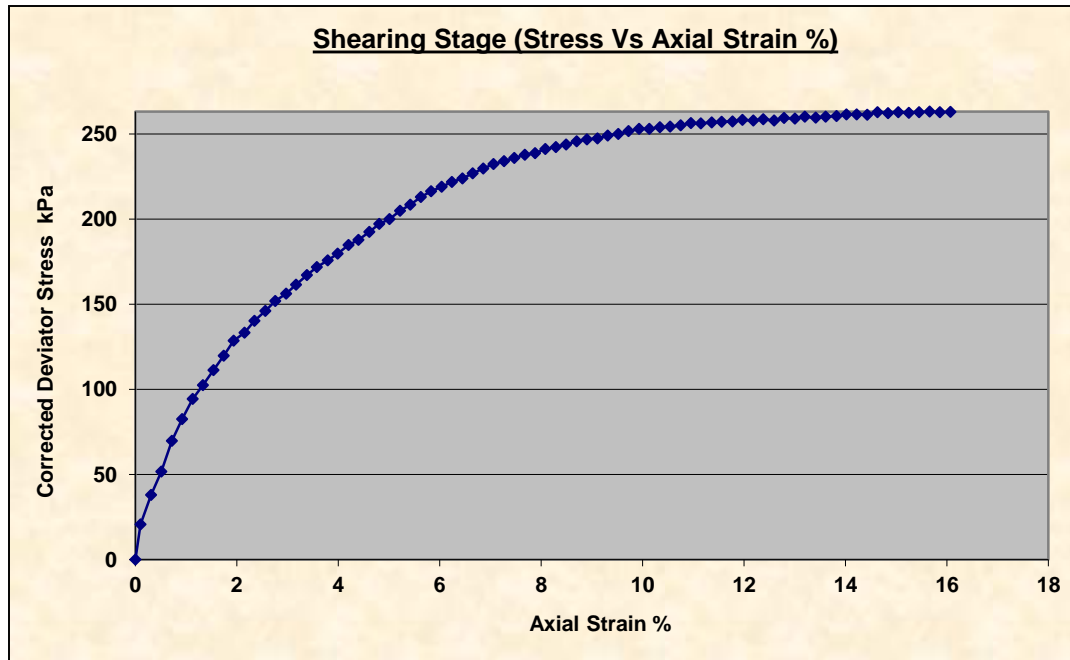
4.4.3.2. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.3.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Stage Reference	1
Initial Height	101.10 mm	Description	
Initial Diameter	47.35 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.17 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	16.88 %	Preparation	
Void Ratio	0.82	Degree of Saturation	54.12%
Comments			

Tabla N° 83: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 17: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	100.5kPa
			a

Tabla N° 84: Condición de corte a 100Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	262.9 kPa	Major Principal Stress	363.4 kPa
Axial Strain	15.04%	Minor Principal Stress	100.5 kPa
Deviator Stress Correction Applied	5.34kPa	Final Moisture Content	16.88 %
Final Unit Weight	16.57 kN/m ³		

Tabla N° 85: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

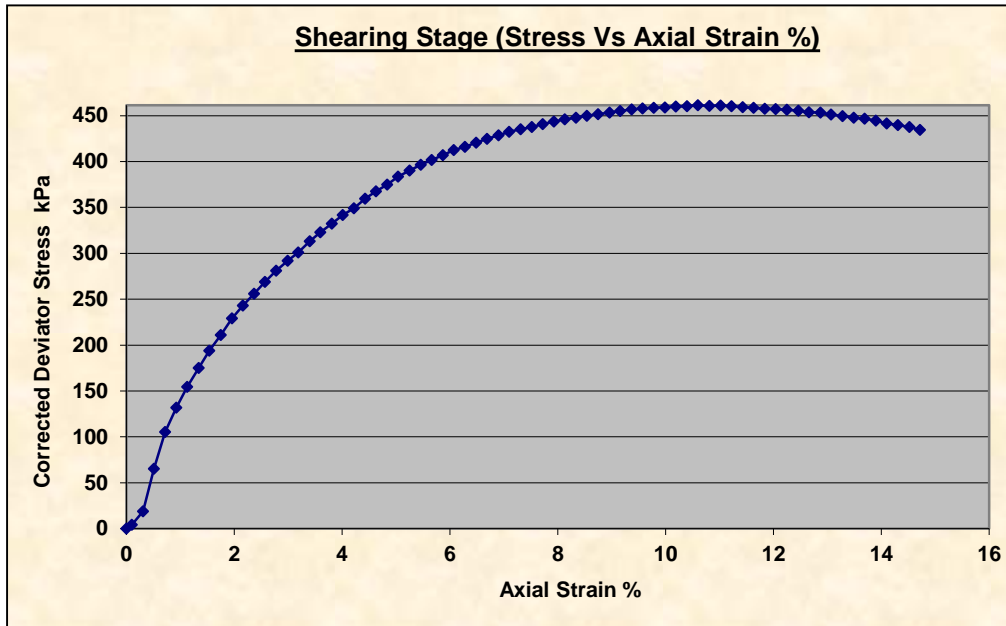
4.4.3.3. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar).

4.4.3.3.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorar).

Specimen Details			
Specimen Reference	D	Stage Reference	1
Initial Height	100.50 mm	Description	
Initial Diameter	47.24 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.30 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	16.88 %	Preparation	
Void Ratio	0.80	Degree of Saturation	55.16%
Comments			

Tabla N° 86: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.3.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorar).



Gráfica N° 18: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.3.3.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorar).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	1.00%/min	Cell Pressure	200.7kPa

Tabla N° 87: Condición de corte a 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

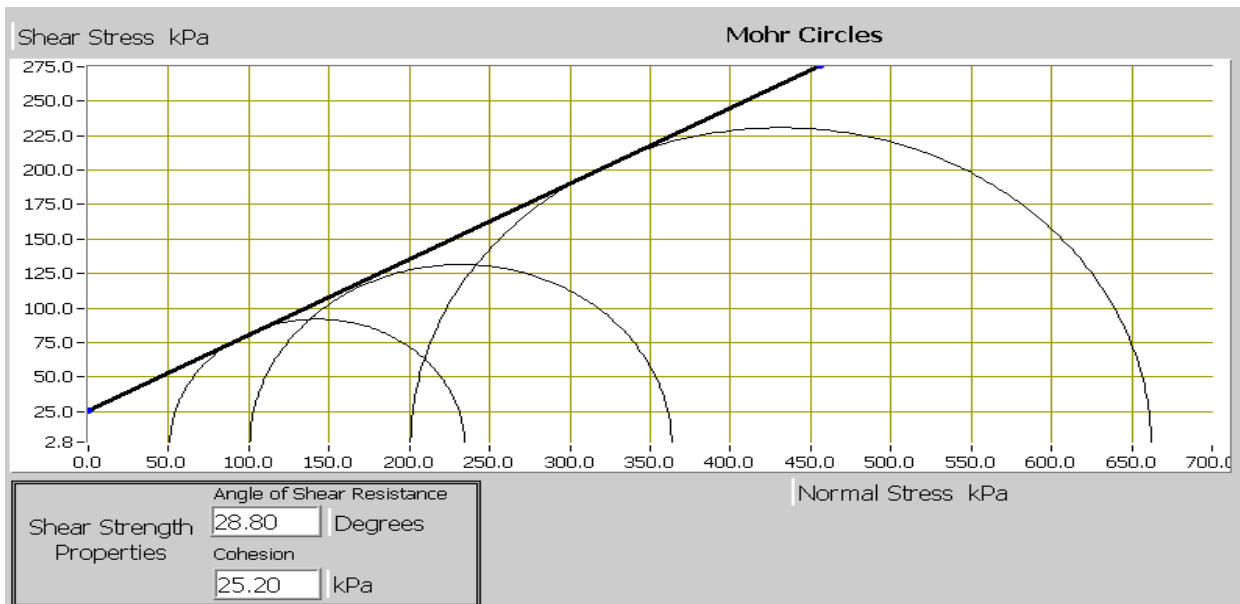
Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	461.4 kPa	Major Principal Stress	662.1 kPa
Axial Strain	10.60%	Minor Principal Stress	200.7 kPa
Deviator Stress Correction Applied	3.77kPa	Final Moisture Content	16.88 %
Final Unit Weight	16.71 kN/m ³		

Tabla N° 88: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito)

4.4.3.4. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo sin mejorar).

All Stages Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	100.5kPa	363.4 kPa	262.9 kPa	15.04%	Maximum Deviator Stress
Stage2	200.7kPa	662.1 kPa	461.4 kPa	10.60%	Maximum Deviator Stress
Stage3	50.7kPa	234.5 kPa	183.7 kPa	8.97%	Maximum Deviator Stress

Tabla N° 89: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).



Gráfica N° 19: Envolvente de los estados de carga (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

Angulo de fricción: 28.80°
 Cohesión: 25.20 Kpa – 0.26Kg/cm²

4.4.3.5. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).

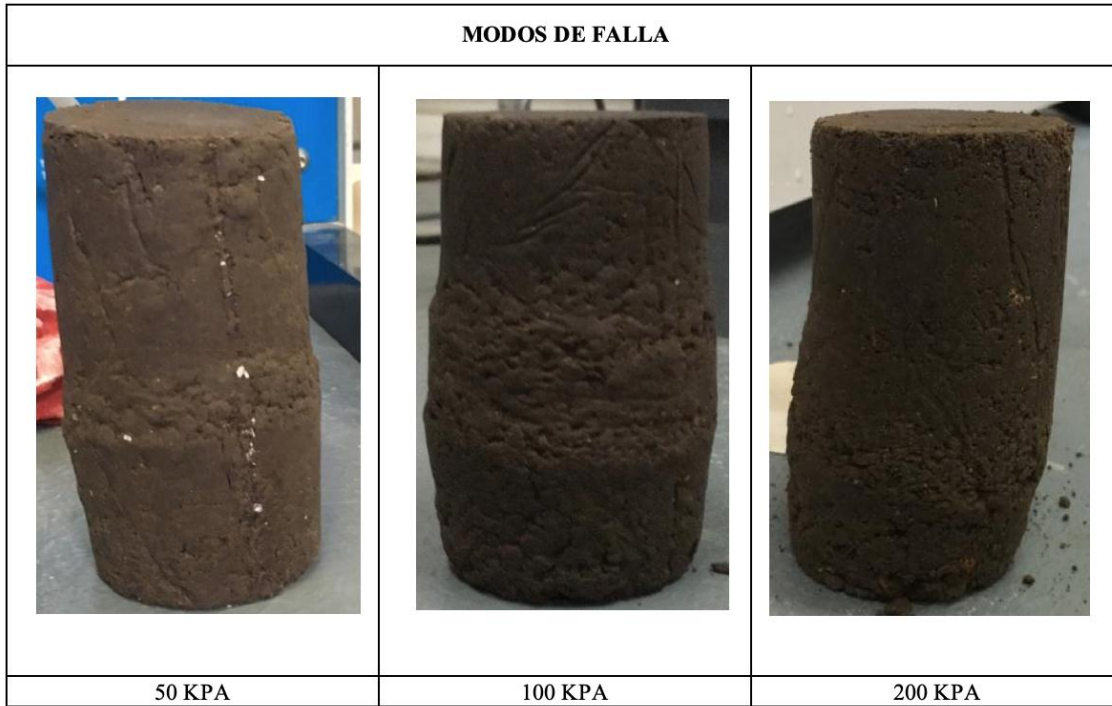


Figura N° 64: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo sin mejorar sector plaza de toros Quito).

4.4.4. Resumen suelo de muestra del sector plaza de toros Quito (suelo mejorado).

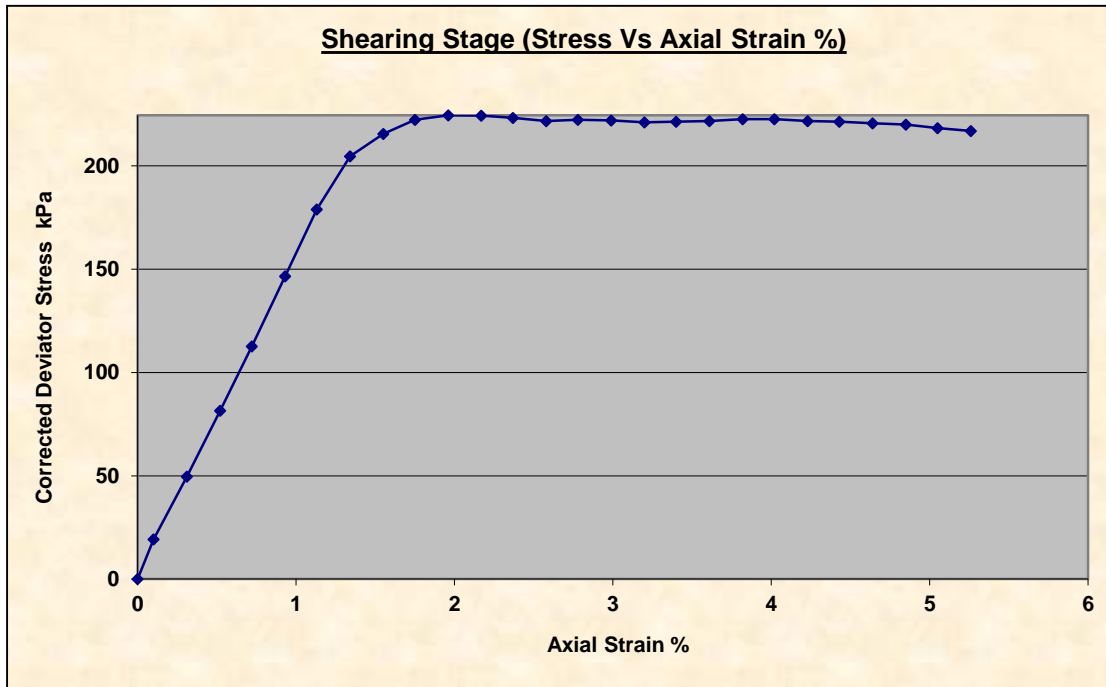
4.4.4.1. Muestra a 50 Kpa de presión (suelo mejorado).

4.4.4.1.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo mejorado).

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Stage Reference	1
Initial Height	100.32 mm	Description	
Initial Diameter	46.74 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	13.68 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	20.40 %	Preparation	
Void Ratio	0.89	Degree of Saturation	60.60%
Comments			

Tabla N° 90: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 50 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.1.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo mejorado).



Gráfica N° 20: Esfuerzo vs presión axial a 50 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.1.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo mejorado).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	0.30%/min	Cell Pressure	50.1k Pa

Tabla N° 91: Condición de corte a 50Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	224.5 kPa	Major Principal Stress	274.6 kPa
Axial Strain	1.96%	Minor Principal Stress	50.1 kPa
Deviator Stress Correction Applied	0.70kPa	Final Moisture Content	20.40 %
Final Unit Weight	16.48 kN/m ³		

Tabla N° 92: Condición de falla de muestra con 50Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

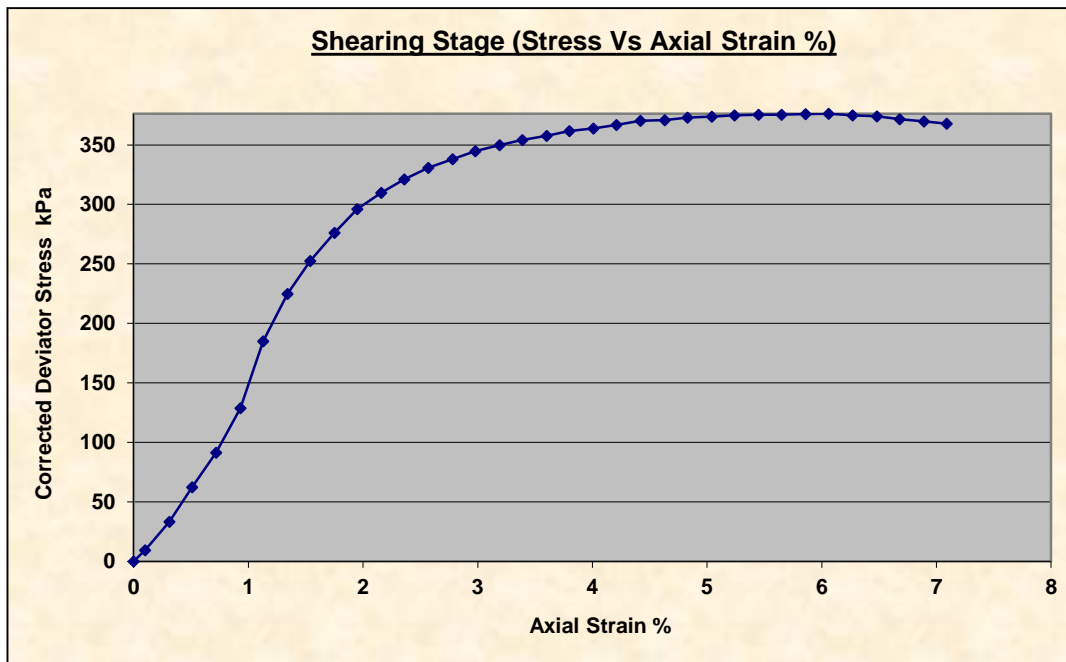
4.4.4.2. Muestra a 100 Kpa de presión (suelo sin mejorado).

4.4.4.2.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorado).

Specimen Details			
Specimen Reference	B	Stage Reference	1
Initial Height	100.66 mm	Description	
Initial Diameter	47.82 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	13.78 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	20.40 %	Preparation	
Void Ratio	0.87	Degree of Saturation	61.53%
Comments			

Tabla N° 93: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 100 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.2.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorado)



Gráfica N° 21: Esfuerzo vs presión axial a 100 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.2.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorado).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	0.30%/min	Cell Pressure	100.2kPa

Tabla N° 94: Condición de corte a 100Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	376.2 kPa	Major Principal Stress	476.4 kPa
Axial Strain	6.06%	Minor Principal Stress	100.2 kPa
Deviator Stress Correction Applied	2.13kPa	Final Moisture Content	20.40 %
Final Unit Weight	16.59 kN/m ³		

Tabla N° 95: Condición de falla de muestra con 100Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

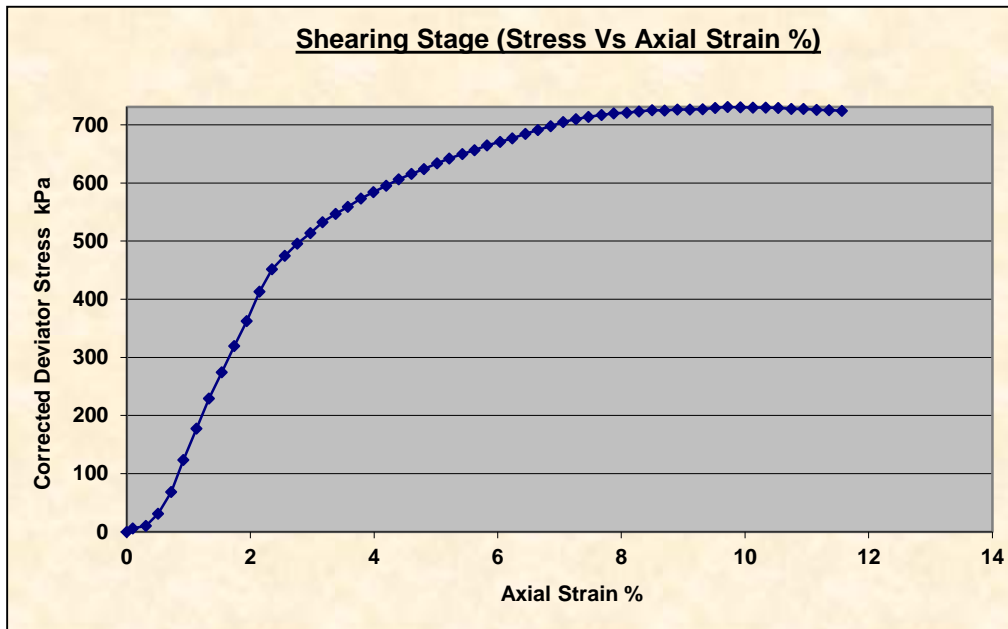
4.4.4.3. Muestra a 200 Kpa de presión (suelo sin mejorado).

4.4.4.3.1. Características iniciales de la probeta y la máquina (suelo sin mejorado).

Specimen Details			
Specimen Reference	C	Stage Reference	1
Initial Height	101.07 mm	Description	
Initial Diameter	46.89 mm	Depth within Sample	0.00 mm
Initial Dry Unit Weight	14.15 kN/m ³	Orientation within Sample	
Initial Moisture Content*	20.40 %	Preparation	
Void Ratio	0.82	Degree of Saturation	65.18%
Comments			

Tabla N° 96: Detalles de la muestra a sector plaza de toros Quito y 200 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.3.2. Grafica esfuerzo vs presión axial (suelo sin mejorado).



Gráfica N° 22: Esfuerzo vs presión axial a 200 Kpa de presión (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.3.3. Condiciones de corte y condiciones de fallo de la muestra (suelo sin mejorado).

Shear Conditions			
Rate of Axial Strain	0.30%/min	Cell Pressure	200.5kPa
			a

Tabla N° 97: Condición de corte a 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

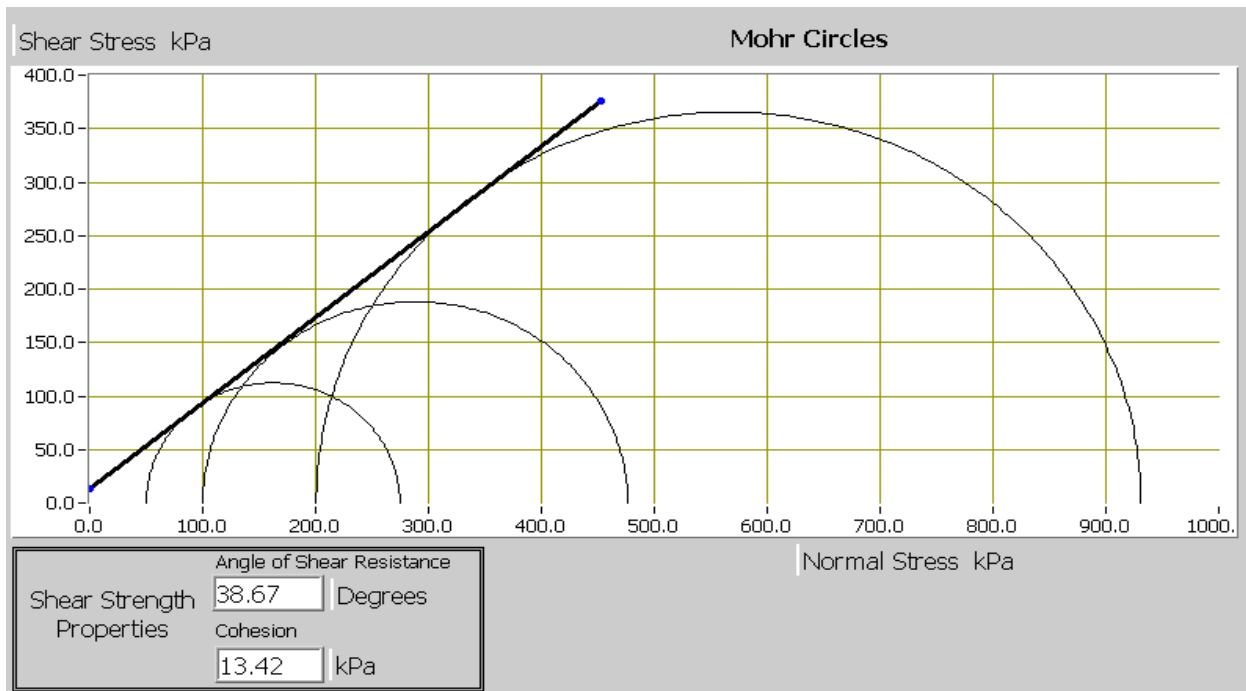
Conditions at Failure			
Failure Criterion	Maximum Deviator Stress		
Compressive Strength	730.6 kPa	Major Principal Stress	931.1 kPa
Axial Strain	9.72%	Minor Principal Stress	200.5 kPa
Deviator Stress Correction Applied	3.48kPa	Final Moisture Content	20.40 %
Final Unit Weight	17.04 kN/m ³		

Tabla N° 98: Condición de falla de muestra con 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

4.4.4.4. Resumen y determinación del ángulo de fricción y la cohesión (suelo mejorado).

All Stages Conditions at Failure					
Ref	Minor Principal Stress	Major Principal Stress	Compressive Strength (Corrected)	Cumulative Strain	Mode of Failure
Stage1	100.2kPa	476.4 kPa	376.2 kPa	6.06%	Maximum Deviator Stress
Stage2	200.5kPa	931.1 kPa	730.6 kPa	9.72%	Maximum Deviator Stress
Stage3	50.1kPa	274.6 kPa	224.5 kPa	1.96%	Maximum Deviator Stress

Tabla N° 99: Resumen de los ensayos a los estados de carga de 50Kpa, 100Kpa y 200Kpa (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).



Gráfica N° 23: Envolvente de los estados de carga (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

Angulo de fricción: 38.67°
Cohesión: 13.42 Kpa – 0.14Kg/cm²

4.4.4.5. Fotos muestras ensayadas 15m de profundidad (suelo sin mejorar).

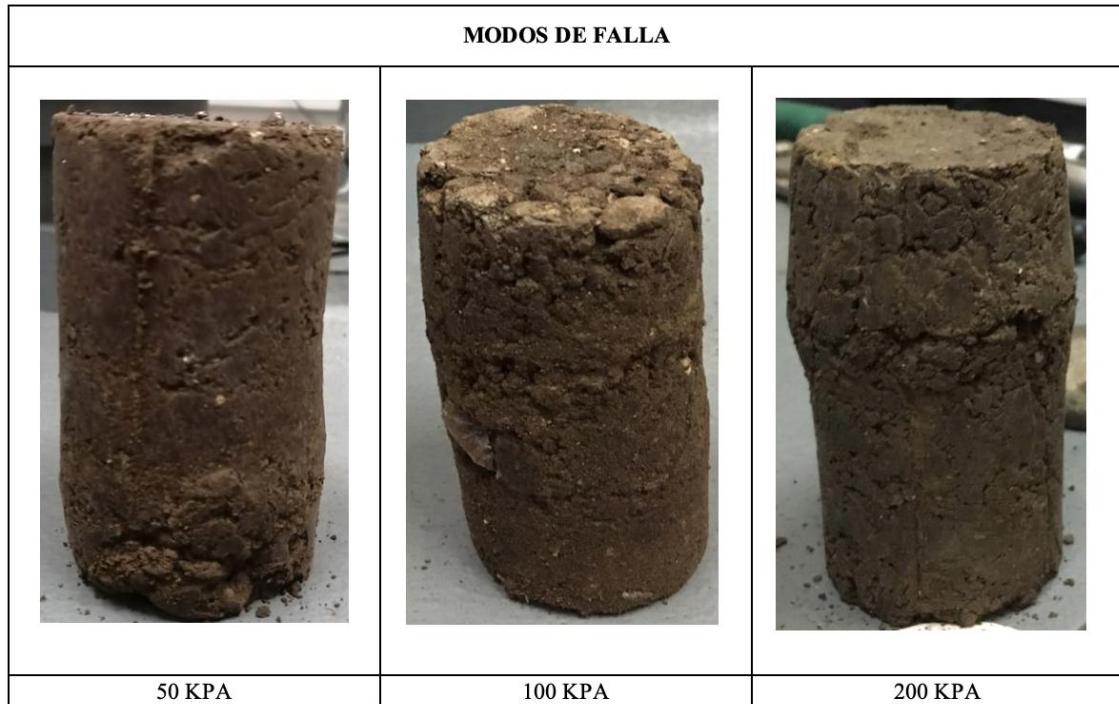


Figura N° 65: Suelos antes de la inyección Rodrigo de Chávez (suelo mejorado sector plaza de toros Quito).

CAPITULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1. CONCLUSIONES.

- Puede existir una variación en la clasificación SUCS en relación con las clasificaciones obtenidas de los estudios preliminares del metro de Quito, esto se debe a que en el área de muestreo existe una variación del suelo ya que es un relleno.
- En el caso del mortero recreado utilizado para el metro de Quito como se indica en la **Tabla N° 3** en la que se aplicó al método de Jet-Grouting con 0% de bentonita; de la cual se obtuvo una resistencia a la compresión a los 3 días de 5,60 MPA y una densidad de 1,647 kg/cm³; mientras que a los 7 días su resistencia a la compresión fue de 8,40 MPA con una densidad de 1,675 kg/cm³; y, finalmente a los 28 días su resistencia a la compresión fue de 12,12 MPA y una densidad de 1,668 kg/cm³. Con estos resultados se puede afirmar que el mortero cumple con los parámetros para un mejoramiento de suelos, ya que la resistencia a la compresión mínima a los 28 días debe ser mayor o igual a 10 MPA como se indica en el punto 2.5.2.
- Para la segunda prueba se optó por adicionar a la mezcla original del metro de Quito bentonita al 1% en relación al cemento, para poder analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos son: a los 3 días una resistencia a la compresión de 5,31 MPA y una densidad de 1,567 kg/cm³; a los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión de 7,80 MPA y una densidad de 1,552 kg/cm³; y, finalmente a los 28 días su resistencia a la compresión fue de 11,02 MPA y una densidad de 1,538 kg/cm³. Con estos resultados podemos afirmar que el mortero con adición al 1% de

bentonita cumple con los parámetros para un mejoramiento de suelos ya que la resistencia a la compresión mínima a los 28 días debe ser mayor o igual a 10 MPA como se indica en el punto 2.5.2.

- Para la tercera prueba se optó por adicionar a la mezcla original del metro de Quito bentonita al 2% en relación al cemento, en base a esto analizar su comportamiento a la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos son: a los 3 días una resistencia a la compresión de 4,10 MPA y una densidad de 1,696 kg/cm³; mientras que a los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión de 7,25 MPA y una densidad de 1,716 kg/cm³; y, finalmente a los 28 días su resistencia a la compresión fue de 10,59 MPA y una densidad de 1,717 kg/cm³. Con estos resultados podemos concluir que el mortero con adición al 2% de bentonita, cumple con los parámetros para un mejoramiento de suelos ya que la resistencia a la compresión mínima a los 28 días debe ser mayor o igual a 10 MPA como se indica en el punto 2.5.2., en esta tercera prueba se puede observar que el resultado se aproxima a la resistencia mínima.
- Para la cuarta prueba se optó por adicionar a la mezcla original del metro de Quito bentonita al 2,5% en relación al cemento, para poder analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos son: a los 3 días una resistencia a la compresión de 4,70 MPA y una densidad de 1,611 kg/cm³; a los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión de 6,95 MPA y una densidad de 1,617 kg/cm³; y, finalmente a los 28 su resistencia a la compresión fue de 10,13 MPA y una densidad de 1,618 kg/cm³. Con estos resultados podemos afirmar que el mortero con adición al 2,5% de

bentonita cumple con los parámetros para un mejoramiento de suelos ya que la resistencia a la compresión mínima a los 28 días debe ser mayor o igual a 10 MPA como se indica en el punto 2.5.2. En esta cuarta prueba se puede observar que está muy próxima al límite mínimo de resistencia, por lo cual se recomendaría adicionar bentonita al 2,5% para la mezcla utilizada.

- Para la quinta prueba se optó por adicionar a la mezcla original del metro de Quito bentonita al 3% en relación al cemento, para poder analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión, los resultados obtenidos son: a los 3 días una resistencia a la compresión de 4,50 MPA y una densidad de 1,841 kg/cm³; mientras que a los 7 días se obtuvo una resistencia a la compresión de 6,41 MPA y una densidad de 1,805 kg/cm³; y, finalmente a los 28 días su resistencia a la compresión fue de 9,91 MPA y una densidad de 1,822 kg/cm³. Con estos resultados podemos afirmar que el mortero con una adición de 3% de bentonita, No cumple con los parámetros para un mejoramiento de suelos ya que la resistencia a la compresión mínima a los 28 días debe ser mayor o igual a 10 MPA como se indica en el punto 2.5.2., por lo tanto, esta nueva mezcla no se podría utilizar para un mejoramiento de suelos.
- No se lleva a cabo una mezcla con bentonita al 4% en relación con el cemento debido a que la mayoría de los autores no recomiendan el uso de bentonita en este porcentaje, esto se debe a que el decaimiento de la resistencia es evidenciable con el aumento de la bentonita como se puede observar en la **Gráfica N° 6**, esto se corrobora con los ensayos

presentados que a partir del 3% de uso de bentonita ya no cumple la resistencia mínima recomendada.

- Se evidencia que la exudación disminuye con respecto a la adición de la bentonita ya que al ser una arcilla tienen la capacidad de absorción de líquido y evitar la pérdida de volumen de la mezcla. Esta disminución se demuestra en las cinco pruebas que se encuentran en la **Tabla N° 53, Tabla N° 55, Tabla N° 57, Tabla N° 59 y Tabla N° 61.**
- Como parámetro adicional se midió la viscosidad con mezclas al 0%, 1%, 2%, 2,5% y 3% de bentonita, se logró evidenciar un crecimiento de la viscosidad con la adición de bentonita al 2% en el que se genera un punto de inflexión, debido a esto se puede concluir que después del 2% de bentonita se procederá a estabilizar la viscosidad como se muestra en la **Gráfica N° 8** y en la **Tabla N° 62.**
- Para la comparación del suelo antes y después del mejoramiento se realizó dos ensayos triaxiales UU sin saturar: el primero se hizo con el suelo en estado natural y para la segunda al suelo en estado natural se le aplicó un mejoramiento por medio de una inyección de mortero especificado en la **Tabla N° 3**, para recrear y obtener mediciones del método del Jet-Grouting del metro de Quito ubicado en las calles Av. Rodrigo de Chávez y Pedro Dorado (sur de Quito). Los resultados obtenidos con el suelo en estado natural son: un Angulo de fricción de $29,47^{\circ}$ y una Cohesión de 65,77 Kpa como se indica en la **Gráfica N° 12**; y, los valores obtenidos después de la recreación de inyección de lechada son: un Angulo de fricción de $34,78^{\circ}$ y una cohesión de 20,64 Kpa

como se indica en la **Gráfica N° 15**. Se evidencia un mejoramiento del suelo se obtiene un aumento a su ángulo de fricción y la cohesión disminuye, es decir una disminución de plasticidad.

	C (KPA)	Fricción (ϕ)	Porcentaje de variación de cohesión	Porcentaje de variación de fricción
Muestra de suelo del Sector (Sur de Quito)				
suelo natural	65,77	29,47	-68,62	18,02
suelo mejorado	20,64	34,78		

Tabla N° 100: Resultados triaxial sin saturar sur de Quito.

- El suelo mejorado del sector del sur de Quito, no presenta un mejora significativa debido que los suelos del sur de Quito en su mayoría presenta contenido organico y mayor cantidad de vacíos esto hace que absorba mayor agua.
- Se decidió realizar un estudio extra con suelo del norte de Quito para medir el comportamiento de la lechada de la **Tabla N° 3** en un suelo distinto, se realizó dos ensayos triaxiales UU sin saturar, el primero se hizo con el suelo en estado natural, mientras para la segunda al suelo en estado natural se le realizo un mejoramiento por medio de una inyección de mortero especificado en la **Tabla N° 3**, para recrear y obtener mediciones del método del Jet-Grouting del metro de Quito ubicado en sector de la Plaza de Toros (norte de Quito). Los resultados obtenidos con el suelo en estado natural son: un ángulo de fricción de $28,80^{\circ}$ y una Cohesión de 25,20 Kpa como se indica en la **Gráfica N° 19**, los valores obtenidos después de la recreación de inyección de lechada son: un ángulo de fricción de $38,67^{\circ}$ y una cohesión de 13,42 Kpa como se indica en la

Gráfica N° 23. Se evidencia un mejoramiento del suelo, aumenta su ángulo de fricción y la cohesión disminuye, se obtuvo una disminución de plasticidad.

	C (KPA)	Fricción (Ø)	Porcentaje de variación de cohesión	Porcentaje de variación de fricción
Muestra de suelo del Sector (Norte de Quito)				
suelo natural	25,20	28,8	-46,75	34,271
suelo mejorado	13,42	38,67		

Tabla N° 101: Resultados triaxial sin saturar norte de Quito.

- Se puede concluir que cuando se realiza un mejoramiento de suelos por método de Jet-Grouting, la cohesión de un suelo tiende a bajar y el ángulo de fricción tiende a subir como se puede observar en la Tabla N° 102, el porcentaje en que baja la cohesión y sube la fricción de un suelo mejorado dependerá del tipo de suelo y la relación a/c que se utilizó.

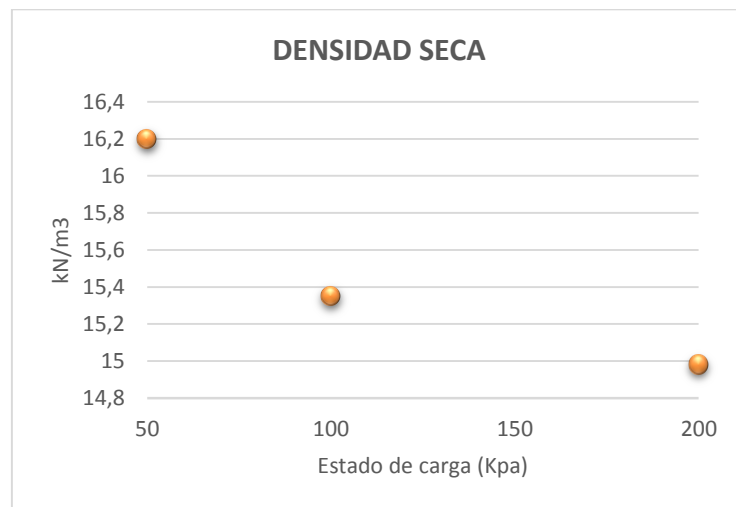
	C (KPA)	Fricción (Ø)	Porcentaje de variación de cohesión	Porcentaje de variación de fricción	Autor
suelo natural	8	15	-12,50	53,333	(KSCE Journal of Civil Engineering, 2019)
suelo mejorado	7	23			
suelo natural	39	-----	-23,08	-----	(ZHI-FENG, SHEN, & MODONI, 2019)
suelo mejorado	30	-----			
suelo natural	10	8	-50,00	87,500	(IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019)
suelo mejorado	5	15			

Tabla N° 102: Variación de cohesión y ángulo de fricción varios autores.

- En el ensayo triaxial realizado anteriormente (4.4.1.), se procedió a eliminar el ensayo con estado de carga de 50 kpa debido que su densidad seca tenía una variación mayor en comparación a las otras dos muestras ensayadas como se puede observar en la Tabla N° 103 y Gráfica N° 24.

DENSIDADES INICIALES SECAS		
50 kpa	16.20	kN/m ³
100 kpa	15.35	kN/m ³
200 kpa	14.98	kN/m ³

Tabla N° 103: comparación de densidades ensayo triaxial 4.4.1.



Gráfica N° 24: Grafico ilustrativo ensayo triaxial 4.1.1.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Cuando se realice el proceso de remoldeo, deberá ser realizado por la misma persona y cuidando las condiciones de remoldeo iniciales y su densidad obtenida previamente.
- Para realizar la clasificación SUCS se deberá realizar de forma casi inmediata o tratar de buscar elementos que conserven su humedad natural para que no se genere variaciones o datos incorrectos al momento de clasificar el suelo en estudio.
- Se recomienda el uso de bentonita menor al 2,5% para la lechada original que se indica en la **Tabla N° 3** para obtener valores a la resistencia a la compresión aceptables para ser utilizada en un mejoramiento de suelos.
- Es recomendable que las lechadas para inyección de mejoramiento de suelos sean mayores a 10 MPA a los 28 días para obtener los resultados deseados según NORMA EP-T109.
- El uso de bentonita es recomendable cuando se tienen suelos muy fisurados o con una humedad natural muy alta y deberá ser estudiado la adición de bentonita como afecta la resistencia de la lechada.
- Se recomienda realizar una investigación variando la relación agua cemento (a/c) y porcentaje de aditivos con respecto al peso.

- Se recomienda analizar como sustituto de la bentonita la cal, ceniza volcánica o filler. Debido que la cal viva es un material que se utiliza comúnmente en casos como: Reducir la plasticidad de los suelos, secado de los suelos muy húmedos, incrementa la resistencia del suelo al esfuerzo cortante y a compresión, reduce la influencia perniciosa de la materia orgánica. (Consejo Superior de Investigaciones Científicas , 1962)

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM. (1995). *MÉTODO ESTANDAR DE PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL EN SUELOS COHESIVOS*. Normas ASTM.
- ASTM. (Abril de 2005). *civilgeeks.com*. Obtenido de <https://ensayosdelaboratoriosuelos.files.wordpress.com/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>
- ASTM D-2487. (1952). *CLASIFICACION DE LOS SUELOS UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM (USCS) SIETEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (SUCS)*.
- Boletín Oficial del Estado. (11 de Junio de 2002). *Carreteros.org*. Obtenido de Carreteros.org: http://www.carreteros.org/normativa/pg3/ordenes/ministeriales/fom1382_2002/676.pdf
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas . (julio de 1962). *Informes de la Construcción*. Obtenido de Informes de la Construcción: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/4849/5649>
- CONSTRUMÁTICA. (s.f.). *CONSTRUMÁTICA*. Obtenido de <http://www.construmatica.com/construpedia/Jet-Grouting>
- Díaz, C. O. (2010). *Estabilización de un suelo de la Formación Toledo con Cemento Portland y Sistema ROCAMIX Líquido*. Ciudad de la Habana: INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO.
- EP - T109. (12 de Diciembre de 2017). *ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE CONSTRUCCIÓN INYECCIONES DE CONSOLIDACIÓN*. Obtenido de SCRIBD: <https://www.scribd.com/document/366994868/EP-T109-docx>
- Hollemart, P. R. (2011). *Ayudantía # 2 Clasificación de Suelos* . Santiago, Chile: UNIVERSIDAD DIEGO PORTALES FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES.
- I.N.V. E – 154 – 07. (2007). *DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE MÉTODO DE CORTE DIRECTO (CD) (CONSOLIDADO DRENADO)*. I.N.V. E.
- Ing. Oscar Valerio Salas, L. (29 de setiembre de 2011). *Repositorio Kérwá*. Obtenido de <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/13369/8391-11758-1-SM.pdf?sequence=1>
- IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. (03 de Junio de 2019). *Scopus*. Obtenido de <https://scihub.tw/https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%29GT.1943-5606.0002028>
- J. A. PINZÓN BELLO, J. R. (Septiembre-Octubre de 1996). *SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CERAMICAS Y VIDRIOS*. Obtenido de <http://boletines.secv.es/upload/199635337.pdf>
- Jet Grouting – Soilcrete®. (mayo de 2019). *Keller*. Obtenido de Keller: <https://www.keller.com.es/sites/keller-es/files/2019-05/e-catalogo-jet-grouting-soilcrete-keller-cimentaciones.pdf>
- KSCE Journal of Civil Engineering. (2019). *Impact of Jet-Grouting Pressure on the Strength and Deformation Characteristics of Sandy and Clayey Soils in the Compression Zone*. Seoul .
- Labad, F. M. (1989). Reflexiones sobre el Jet - Grouting. *Revista de Obras Publicas*, 89-94.

- Llampa, V. L. (2019). *ACADEMIA*. Obtenido de https://www.academia.edu/29522331/DETERMINACION_DE_LA_VISCOSIDAD
- Quito, C. L. (2016). *PROPUESTA DE EJECUCIÓN DE CAMPO DE PRUEBAS DE COLUMNAS DE JET GROUTING*.
- Salas, O. V. (29 de agosto de 2011). *Ensayos triaxiales para suelos*.
- SIKA. (Abril de 2014). *HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO Sikament - N 100*. Obtenido de ecu.sika: https://ecu.sika.com › dms › getdocument.get › Sikament_N_100_PDS
- SIKA. (Febrero de 2017). *ecu.sika*. Obtenido de ecu.sika: <https://ecu.sika.com › dms › getdocument.get › Sigunit L-65>
- Soperco. (2019). *Soperco*. Obtenido de sopercofrance: <http://www.sopercofrance.com/en/techniques/jet-grouting/>
- Vicente, J. M. (2008). Obtenido de http://www.terratest.cl/pdf/publicaciones/Jet_Grouting_Juan_Manuel_Fernandez.pdf
- ZHI-FENG, W., SHEN, S.-L., & MODONI, G. (2019). *Enhancing discharge of spoil to mitigate disturbance induced by horizontal jet grouting in clayey soil Theoretical model and application Elsevier Enhanced Reader*. Computers and Geotechnics.
- Zuloafa-Fábrega, I. (s.f.). Seper Jet Groutin: Nueva tecnología para la mejora in situ del terreno. *KELLER-TERRA*, 1-16.

7. ANEXOS

INYECCIONES DE LECHADA METRO DE QUITO

PLANILLA DE CAMPO DE CONTROL DE OBRA PARA INYECCIÓN COLUMNAS JET GROUTING SALIDA DE EMERGENCIA 7 - PK 18+235												V TOTAL INYECTADO (lt)				
PARÁMETROS DE EJECUCIÓN: Voltaje de inyección por m de columna de Jet Grouting: 1.000 Vm Presión de lechada de cemento: 400 - 450 bar Caudal de lechada de cemento: 200 - 250 l/min Consumo de cemento por m de columna: 750 kg/m Velocidad ascensional de lechada de varillaje: 0,25 m/s Velocidad de rotación de varillaje: 15 - 20 rev/min Diámetro de alfileres: 8 - 12 mm Altura de inyección: 4 a 5 m Corona perforación (mm): 150,5												545980,0				
DOSEIFICACIÓN DE LECHADA: Cemento (kg/m ³): 200 Arena (kg/m ³): 200 Agua (kg/m ³): 100 Aditivo Sikament N 100 (kg/m ³): 100 Aditivo Acelerante (kg/m ³): 100												48,7				
FISCALIZACIÓN: CL-1:												1239,4				
												1089,3				
												Desalajo lodo con agua (m ³)				
												Desalajo lodo con cemento (m ³)				
												Transporte de material (m ³)				
FECHA	DÍA	CANTON	SECTOR	ESTACION	METROS DE LONGITUD ESTERIL	METROS DE LONGITUD COLUMNA	METROS DE LONGITUD TOTAL	CALIDAD LECHADA		INYECCIÓN			DESALDO DE MATERIAL			OBSERVACIONES
								DENSIDAD (g/cm ³)	VISCOSIDAD (Psg)	HORA INICIO	HORA FIN	VOLUMEN (lt)	LODO CON AGUA (m ³)	LODO CON CEMENTO (m ³)	TRANSPORTE MATERIAL SOLIDO (m ³)	
16.ene.2018	Día	SE7-02	0	13,5	10,5	24	1,66	33,21	07:42	08:51	10163	7,26	54,91	51,23	Inicio ejecución de columnas de jet grouting.	
16.ene.2018	Día	SE7-06	0	13,5	10,5	24	1,65	37,31	09:08	10:39	9977				Sin novedad.	
16.ene.2018	Día	SE7-30	0	13,5	10,5	24	1,65	36,57	10:57	12:11	9983	5,20	134,67	115,67	Sin novedad.	
16.ene.2018	Día	SE7-26	0	13,5	10,5	24	1,66	36,58	12:32	15:03	10597				Sin novedad.	
16.ene.2018	Día	SE7-54	0	13,5	10,5	24	1,66	33,55	15:30	18:34	10767	4,08	112,15	107,65	Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-52	0	13,5	10,5	24	1,66	33,59	07:38	09:32	10052				Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-49	0	13,5	10,5	24	1,65	34,5	09:24	10:44	9838	5,69	116,10	103,96	Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-42	3	13,5	10,5	24	1,66	36	11:06	12:07	10046				Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-37	0	13,5	10,5	24	1,66	36,05	12:33	13:33	10019	4,17	108,95	98,73	Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-28	0	13,5	10,5	24	1,66	36,01	13:56	14:57	10067				Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-25	0	13,5	10,5	24	1,66	35,54	15:11	16:19	10012	5,87	170,12	133,51	Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-18	3	13,5	10,5	24	1,65	34,15	16:30	17:41	9919				Sin novedad.	
17.ene.2018	Día	SE7-14	0	13,5	10,5	24	1,65	34,15	17:18	18:51	9947	5,32	73,53	62,66	Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-23	0	13,5	10,5	24	1,66	34,27	07:46	08:52	10245				Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-35	0	13,5	10,5	24	1,66	34,51	08:59	09:59	9801	2,70	168,69	145,24	Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-47	0	13,5	10,5	24	1,68	38,51	10:08	11:12	10006				Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-32	0	13,5	10,5	24	1,68	38,51	11:42	12:42	9907	4,08	112,15	107,65	Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-04	0	13,5	10,5	24	1,68	38,51	13:02	14:02	9992				Sin novedad.	
18.ene.2018	Día	SE7-07	0	13,5	10,5	24	1,68	37,26	14:16	15:19	10000	5,69	116,10	103,96	16:00 a 19:00 Mantenimiento de equipos mientras se libera más área de trabajo.	
19.ene.2018	Día	SE7-43	0	13,5	10,5	24	1,66	34,27	07:11	08:29	10075				Sin novedad.	
19.ene.2018	Día	SE7-39	0	13,5	10,5	24	1,66	34,27	08:46	09:55	9886	4,08	112,15	107,65	Sin novedad.	
19.ene.2018	Día	SE7-22	0	13,5	10,5	24	1,67	40,01	10:09	11:15	9999				Sin novedad.	
19.ene.2018	Día	SE7-05	5	13,5	10,5	24	1,67	40,01	11:22	12:48	9856	5,69	116,10	103,96	Sin novedad.	
19.ene.2018	Día	SE7-13	0	13,5	10,5	24	1,67	41,05	13:07	14:14	10374				Sin novedad.	
19.ene.2018	Día	SE7-48	3	13,5	10,5	24	1,66	40,01	15:08	16:12	9906	5,69	116,10	103,96	Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-53	5	13,5	10,5	24	1,7	43,56	07:02	08:18	9926				Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-45	0	13,5	10,5	24	1,69	43,51	08:27	09:37	10151	5,69	116,10	103,96	Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-31	0	13,5	10,5	24	1,69	43,51	09:43	10:50	10107				Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-11	0	13,5	10,5	24	1,69	43,51	10:57	12:09	10088	5,69	116,10	103,96	Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-08	0	13,5	10,5	24	1,68	42,26	12:12	13:14	10097				Sin novedad.	
20.ene.2018	Día	SE7-20	0	13,5	10,5	24	1,68	42,26	13:21	14:23	10175	5,87	170,12	133,51	Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-16	0	13,5	10,5	24	1,67	35,83	07:10	08:15	10094				Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-29	5"	13,5	10,5	24	1,67	35,83	08:23	09:26	9940	5,87	170,12	133,51	Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-40	0	13,5	10,5	24	1,68	36,71	09:33	10:34	9925				Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-50	0	13,5	10,5	24	1,68	34,21	10:45	11:45	9946	5,87	170,12	133,51	Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-27	0	13,5	10,5	24	1,67	33,25	11:55	12:57	10048				Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-19	0	13,5	10,5	24	1,67	33,26	13:03	14:07	10161	5,87	170,12	133,51	Sin novedad.	
22.ene.2018	Día	SE7-01	0	13,5	10,5	24	1,68	34,31	14:17	15:19	10078				Sin novedad.	
23.ene.2018	Día	SE7-34	0	13,5	10,5	24	1,65	36,42	07:16	08:18	10074	4,17	108,95	98,73	Sin novedad.	
23.ene.2018	Día	SE7-17	5	13,5	10,5	24	1,66	36,49	08:31	09:38	10036				Sin novedad.	
23.ene.2018	Día	SE7-51	0	13,5	10,5	24	1,66	36,49	09:48	11:32	10588	5,32	73,53	62,66	13:00 a 18:00 Avería en embrague de bomba Metax. En revisión y reparación.	
24.ene.2018	Día	SE7-03	0	13,5	10,5	24	1,68	39,06	10:45	14:10	11161				07:00 a 10:45 Reparación de bomba Metax.	
24.ene.2018	Día	SE7-38	0	13,5	10,5	24	1,68	39,06	14:18	15:27	10580	5,32	73,53	62,66	Sin novedad.	
24.ene.2018	Día	SE7-41	5	13,5	10,5	24	1,68	38,43	15:32	17:10	10613				Sin novedad.	
24.ene.2018	Día	SE7-24	3	13,5	10,5	24	1,68	38,43	17:21	18:23	10585	5,87	168,73	156,67	Sin novedad.	
24.ene.2018	Día	SE7-15	0	13,5	10,5	24	1,68	38,43	18:29	19:31	10284				Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-10	0	13,5	10,5	24	1,66	33,51	08:05	09:24	10591	5,87	168,73	156,67	Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-36	3	13,5	10,5	24	1,66	33,5	09:32	10:37	10350				Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-46	0	13,5	10,5	24	1,67	38,02	10:43	12:02	9903	5,87	168,73	156,67	Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-44	0	13,5	10,5	24	1,68	38,02	13:21	14:28	9966				Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-33	0	13,5	10,5	24	1,68	38,11	14:39	15:43	9964	5,87	168,73	156,67	Sin novedad.	
25.ene.2018	Día	SE7-21	0	13,5	10,5	24	1,69	37,25	15:53	16:52	9885				Sin novedad.	
26.ene.2018	Día	SE7-12	3	13,5	10,5	24	1,67	36,2	07:15	08:42	10046	2,51	121,57	114,01	Sin novedad.	
26.ene.2018	Día	SE7-09	0	13,5	10,5	24	1,67	36,2	08:51	09:53	9974				Finaliza ejecución de columnas de Jet Grouting.	



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sikament® - N 100

SUPERPLASTIFICANTE REDUCTOR DE AGUA DE ALTO PODER

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament-N 100 es un aditivo líquido, color café, compuesto por resinas sintéticas. Superplastificante, reductor de agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros. Sikament-N 100 está diseñado para cumplir la norma ASTM C-494, ASTM C-1017 y NTC 1299 como aditivo tipo A y F. Densidad: 1,22 kg/l aprox.

USOS

Sikament-N 100 tiene tres usos básicos

Como superplastificante: Adicionándolo a una mezcla de consistencia normal se consigue fluidificar el concreto o mortero facilitando su colocación y su bombeabilidad en elementos esbeltos densamente armados y en la construcción de estructuras civiles prefabricadas. Permite recuperar el asentamiento del concreto premezclado sin alterar sus tiempos de fraguado ante demoras en la colocación del mismo.

Como reductor de agua de alto poder: Adicionándolo disuelto en la última porción del agua de amasado permite reducir, de acuerdo con la dosis usada, hasta un 30% del agua de la mezcla, consiguiéndose la misma manejabilidad inicial y obteniéndose un incremento considerable de las resistencias a todas las edades. Sikament-N 100 es ideal para la elaboración de prefabricados y concretos de altas resistencias finales. Mediante su uso la impermeabilidad y durabilidad del concreto o mortero se ven incrementadas notablemente.

Como economizador de cemento: Se puede aprovechar la reducción del agua lograda, para disminuir el contenido de cemento y hacer más económico el diseño de las mezclas especialmente aquellas de consistencia fluida como bombeables, tremie y contech. El Sikament-N 100 puede ser usado como superplastificante en concretos elaborados con adiciones de microsilica.

VENTAJAS

Beneficios de Sikament-N 100 en el concreto fresco como en endurecido.

Como superplastificante:

- Mejora considerablemente la trabajabilidad de la mezcla.
- Facilita el bombeo y colocación del concreto a mayores alturas y a distancias más largas.
- Disminuye el riesgo de hormigueros en el concreto de estructuras densamente armadas y esbeltas.
- Mejora considerablemente el acabado del concreto y reproduce la textura de la formaleta.
- Se puede emplear para recuperar el asentamiento premezclado ya que no retarda el fraguado del mismo en climas medios y fríos
- Evita la segregación y disminuye la exudación del concreto fluido.
- Disminuye los tiempos de vibrado del concreto.
- Puede redosificarse hasta completar una dosis del 2% del peso del cemento sin alterar la calidad.

Como reductor de agua de alto poder:

- Aumenta la resistencia inicial del concreto.
 - Incrementa la resistencia final del concreto en un 40% aprox. a los 28 días.
 - Reduce considerablemente la permeabilidad del concreto, aumentando su durabilidad.
 - Densifica el concreto y mejora su adherencia al acero de refuerzo.
 - Reduce en alto grado la exudación y la retracción plástica.
 - Gran economía en los diseños por la reducción de cemento alcanzable.
-

MODO DE EMPLEO**APLICACIÓN****Como superplastificante:**

Adicionar Sikament-N 100 a la mezcla ya preparada, inmediatamente antes de la colocación o bombeo del concreto. Mezclar el concreto con Sikament N-100 durante 4 minutos. La elaboración de concreto bombeable demanda una granulometría continua y un adecuado contenido de finos en la mezcla. La mezcla debe tener entre 5 y 7 cm de asentamiento antes de aplicar Sikament-N 100 para lograr el mejor efecto fluidificante y minimizar la dosis

Como reductor de agua de alto poder:

Adicionar la dosis escogida de Sikament-N 100 en la última porción del agua de amasado de la mezcla. Reducir agua y trabajar justo con la manejabilidad requerida. Al reducir agua la mezcla pierde manejabilidad muy rápido. Colóquela y víbrela inmediatamente. Puede usarse combinándolo con la dosis adecuada de un plastificante retardante del tipo Plastiment con el fin de atenuar este fenómeno.

DOSIFICACIÓN

Como superplastificante: 0,5 al 1,0% del peso del cemento.

Como reductor de agua de alto poder: 1,0 al 2,0% del peso del cemento.

La dosis óptima debe determinarse mediante ensayos preliminares.

PRECAUCIONES

La elaboración de concreto o mortero fluido exige una buena distribución granulométrica. Se debe garantizar un suficiente contenido de finos para evitar la segregación del material fluido. En caso de deficiencia de finos, dosificar Sika-Aer D para incorporar del 3% al 4% de aire en la mezcla.

El uso de concreto fluido demanda un especial cuidado en el sellado de las formaletas para evitar la pérdida de pasta.

La dosis óptima se debe determinar mediante ensayos con los materiales y en las condiciones de la obra. Al adicionar Sikament-N 100 para superfluidificar una mezcla con asentamiento menor de 5 cm. Se incrementan los requerimientos del aditivo.

Cuando se emplea para recuperar la bombeabilidad de una mezcla perdida por demoras en la colocación y se desea plasticidad por más de 1 hora adicional, agregue un plastificante retardante y luego Sikament-N 100 o Sikament-R 100. Los mejores resultados se obtienen cuando los componentes que intervienen en la preparación del concreto cumplen con las normas vigentes. Dosificar por separado cuando se usen otros aditivos en la misma mezcla; si se emplea un plastificante retardante adicionarlo previamente al Sikament- N 100. El curado del concreto con agua y/o Antisol antes y después del fraguado es indispensable

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes de caucho y gafas de protección en su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto.

PRESENTACIÓN

Plástico: 10 kg.
Tambor: 230 kg.
IBC y al granel.

ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

24 meses en sitio fresco y bajo techo, en su envase original, bien cerrado.
Para su transporte deben tomarse las precauciones normales de productos químicos.

CÓDIGOS R/S

R: 22/25
S: 26

NOTA LEGAL

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se debe respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

Sika Ecuatoriana S.A. dispone de un sistema de gestión de la calidad y ambiental certificado de acuerdo a las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 respectivamente, por SGS.

Sika Ecuatoriana S.A. <https://ecu.sika.com>

Durán.- Km. 3 1/2 vía Durán - Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229
Quito.- Av. Naciones Unidas entre Inaquito y Núñez de Vela. Edificio Metropolitán. PBX (593-4) 2812700
Cuenca.- Av. Ordoñez Lasso y Los Claveles. Edf. Palermo Tel: +5937 4 089725 - 4102829





HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sigunit® L-65

ACELERANTE RÁPIDO PARA CONCRETOS Y MORTEROS PROYECTADOS POR VÍA HÚMEDA O SECA

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sigunit L-65 es un aditivo líquido, color gris claro que acelera el fraguado y la ganancia de resistencias iniciales en concretos y morteros proyectados, tanto por vía húmeda como por vía seca. No contiene cloruros.

USOS

Para acelerar el fraguado de concretos y morteros proyectados, usados para revestir y regularizar galerías, túneles, muros de contención, así como estabilización de taludes y suelos.

VENTAJAS

- Aumenta el rendimiento de la operación de lanzado.
- Mejora la adherencia del concreto o mortero a la superficie, permitiendo mayores espesores en una sola pasada.
- Reduce el rebote, los desperdicios y aumenta la cohesividad.
- Variando la dosis de aditivo permite controlar el tiempo de fraguado y justarlo a las necesidades de la obra.
- Se puede usar con otros aditivos plastificantes y/o adiciones tipo Sika-Fume, que disminuyen aún más el rebote y aumentan manejabilidad del concreto a bombear, así como la cohesividad, compacidad y resistencias mecánicas.
- Mejora las condiciones de salubridad y seguridad en la obra, ya que minimiza la liberación de polvo en la operación de lanzado.
- No tiene cloruros, ni ataca el acero de refuerzo.

MODO DE EMPLEO

El Sigunit L-65 se agrega a la mezcla directamente en la boquilla de salida, mediante un dosificador que trabaja con aire a presión e incorpora el aditivo al chorro de concreto justo en el momento de la proyección.

DOSIFICACIÓN

Del 3 al 6% del peso del cemento de la mezcla, dependiendo de las condiciones de la obra, el tipo y cuantía de cemento usado y la proporción de la mezcla.

Para obtener una dosificación óptima se recomienda efectuar ensayos previos en la obra.

DATOS TÉCNICOS

COLOR: Gris
DENSIDAD: 1,3 kg/l ± 0,02 kg/l
TEMPERATURA MÍNIMA DE APLICACIÓN: 1°C

PRECAUCIONES

La velocidad del fraguado disminuye al bajar la temperatura del soporte o la de los materiales usados.
Los concretos bombeables para proyectar vía húmeda requieren una excelente granulometría de los agregados y una relación A/C controlada. Se recomienda su uso con aditivos tipo Sikament con este fin.
La dosis y resultados óptimos se obtienen mediante ensayos con los materiales en las condiciones de la obra.
En túneles y cavernas los concretos con espesores mayores a 20 cm y alta filtración de agua, se recomienda emplear el Sigunit L-22 en su remplazo.

Medidas de seguridad

Manténgase fuera del alcance de los niños. Usar guantes, de caucho y gafas de protección para su manipulación. Consultar Hoja de Seguridad del producto. Evite el contacto con la piel. En caso de contacto con los ojos lávelos con agua en abundancia y acuda al oftalmólogo.

Presentación

Tambores de 250 kg. o granel

Almacenamiento

El tiempo de almacenamiento es de un (1) año en su envase original bien cerrado en lugar fresco y bajo techo. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.

Códigos R/S

R: 34/36/38
S: 3/7/9/20/21/24/25/26/29/35/36/37/39

NOTA LEGAL

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se debe respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.

Sika Ecuatoriana S.A. dispone de un sistema de gestión de la calidad y ambiental certificado de acuerdo a las normas ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015 respectivamente, por SGS.

Sika Ecuatoriana S.A. <https://ecu.sika.com>
Durán.- Km. 3 1/2 vía Durán - Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229
Quito.- Av. Naciones Unidas entre Inaquito y Núñez de Vela. Edificio Metropolitan. PBX (593-4) 2812700
Cuenca.- Av. Ordoñez Lasso y Los Claveles. Edf. Palermo Tel: +5937 4 089725 - 4102829

