

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE  
RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO),  
UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA  
CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU  
APLICABILIDAD VIAL.”**

PRESENTADO POR:

**DELGADO PALMA, ÓSCAR BELARMINO**

**LÓPEZ LUCERO, ISRAEL MOISÉS**

**TOLEDO CANDELL, FRANCISCO BENJAMÍN**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2018

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título:

**“DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE  
RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO),  
UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA  
CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD  
VIAL.”**

Presentado por:

**DELGADO PALMA, ÓSCAR BELARMINO  
LÓPEZ LUCERO, ISRAEL MOISÉS  
TOLEDO CANDELL, FRANCISCO BENJAMÍN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES  
ING. GERMAN ERNESTO VELÁSQUEZ ARAUJO**

SAN SALVADOR, ABRIL DE 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**ING. GERMAN ERNESTO VELÁSQUEZ ARAUJO**

## AGREDECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos por la ayuda brindada en el desarrollo del presente trabajo de graduación; a la UES y muy en especial a la Facultad De Ingeniería Y Arquitectura; y además queremos dejar plasmado nuestro más sincero agradecimiento a todas aquellas personas o entidades que de alguna u otra forma contribuyeron a la realización de nuestro trabajo de graduación. En especial a:

- A nuestro coordinador y asesor el **Ing. Dilber Antonio Sánchez Vides** y también a nuestro asesor externo al **Ing. German Ernesto Velásquez Araujo** quienes nos orientaron y brindaron toda la ayuda necesaria durante el proceso de ejecución del presente trabajo de graduación.
- A **CONSTRUCTORA DISA S.A de C.V** por habernos proporcionado todo el equipo necesario, así como el préstamo de su laboratorio para el ensaye de los especímenes de prueba, sin los cuales el presente trabajo de graduación no se hubiera podido llevar a cabo.
- Al técnico **Carlos Edgardo Morataya**, por habernos brindados su ayuda en los ensayos elaborados en el laboratorio de la escuela de Ing. Civil, queremos que sepa lo valiosa que fue su ayuda para llevar a cabo nuestra investigación.

A todas aquellas personas que siempre estuvieron pendientes de la realización de este trabajo de graduación se les agradece infinitamente ¡gracias!

## DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Graduación a Dios todopoderoso en primer lugar, por iluminar cada paso de este camino, por darme la sabiduría para conducirme en la vida, quien me dado muchísimas bendiciones y la confianza y la esperanza necesaria para el logro de mis metas.

También dedico este trabajo de graduación a mis queridísimos padres, **José María Delgado Alas y María Delma Palma de Delgado**. Por darme el regalo más precioso que es la vida y haberme guiado por el buen camino, porque me han apoyado incondicionalmente y educado en todo momento, por haber confiado plenamente en que lograría mis metas, me han brindado su amor incondicional. Por lo que estoy profundamente agradecido y el logro en cada una de mis metas siempre se los dedicare y agradezco especialmente a mi hermano **José Lucas Delgado Palma**, por brindarme su apoyo como hermano y amigo, también agradezco a todos mis hermanos, que de una manera u otra me han ayudado a salir adelante. Gracias por siempre creer en mí y demostrarme su apoyo incondicional.

A mi novia y futura esposa, **Nidia Guadalupe Chinchilla**, quien siempre ha estado ahí, apoyándome y comprendiéndome, durante estos años en que cursaba mi carrera profesional. Por lo que esta meta alcanzada por mi persona se la dedico con mucho amor y respeto.

Finalmente quisiera dedicar este trabajo a todas aquellas personas que se han encontrado a mi lado, amigos y compañeros, quienes me han apoyado y con quienes he compartiendo todos los momentos importantes de mi vida y carrera universitaria quienes en ningún momento dejaron de creer en mí brindándome todo su apoyo y respeto. Le agradezco especialmente a mis compañeros de tesis Moisés Lucero y Francisco Toledo, al ingeniero Dilber Sánchez y al ingeniero German Araujo a ellos por su comprensión y tolerancia en transcurso de la carrera y desarrollo del Trabajo de Graduación.

***Oscar Belarmino Delgado Palma***

## DEDICATORIA

Dedico este Trabajo de Graduación a Dios todopoderoso por iluminar siempre mi camino, darme la sabiduría para conducirme en la vida, quien me dio muchísimas bendiciones y la confianza necesaria para el logro de mis metas y estar seguro que; cada paso que doy no sería posible si él no estuviera en mi vida.

También dedico este trabajo de graduación a mis padres, **José Israel López y Luisa del Carmen Lucero de López**, Por darme el regalo más precioso que es la vida y haberme guiado por el buen camino de la fe, porque me han apoyado y educado en todo momento, haber creído siempre en que llegaría a alcanzar mis metas, me han brindado su amor incondicional y han depositado en mí su confianza. Por lo que estoy profundamente agradecido y el logro en cada una de mis metas siempre se los dedicare y a mis hermanos, **David Ricardo López Lucero y Joksan Eduardo López Lucero**, Gracias por siempre creer en mí y demostrarme su apoyo incondicional.

A mi abuela, **Maria Dora López Santeliz**, quien desde el cielo nos cuida, gracias por sus cuidados y consejos, por sus risas y consuelo en los momentos que más lo necesite y creer en mí, que lograría esta meta, abuela sé muy bien que estarías orgullosa de mí y de la profesión que elegí. Por lo que esta meta alcanzada por mi persona se la dedico con mucho amor y respeto.

Finalmente quisiera dedicar este trabajo a todas aquellas personas que se han encontrado a mi lado, amigos y compañeros, quienes me han apoyado y con quienes he compartido todos los momentos importantes de mi vida y carrera universitaria quienes en ningún momento dejaron de creer en mí brindándome todo su apoyo y respeto. Le agradezco a **Tatiana Carolina Chavarría**, a **David Cruz Benitez** y a mis amigas **Angélica Lisbeth Araya y Yoselin Karina Gutiérrez**, por su comprensión y tolerancia en transcurso de la carrera y desarrollo del Trabajo de Graduación.

*Israel Moisés López Lucero*

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a:

### **DIOS TODO PODEROSO:**

Por encontrar en tì señor, todo el apoyo necesario desde el principio a hasta el fin de mi carrera, por darme la sabiduría, los conocimientos y la fuerza necesaria para seguir siempre adelante hasta culminarla. Mil gracias.

### **A MI PADRE:**

Benjamín Toledo Morales, por brindarme siempre su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por estar siempre pendiente, por esos momentos de sacrificio.

### **A MI MADRE:**

Marisol Candell de Toledo, por darme esos consejos tan valiosos desde los primeros años de mi vida, por impulsarme a iniciar una educación superior, por la confianza depositada en mí, por el apoyo que me brindaste madre a lo largo de mi carrera.

### **A MIS AMIGOS:**

Por brindarme su amistad y a todas las personas que me apoyaron a seguir adelante.

*Francisco Benjamín Toledo Candell*

## INDICE

<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	11
1.4.1. Objetivo General:.....	11
1.4.2. Objetivos Específicos: .....	11
1.5. ALCANCES.....	13
1.6. LIMITACIONES.....	14
1.7. JUSTIFICACION .....	15
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>16</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1. GENERALIDADES DE LOS MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC)....	17
2.2. DEFINICIONES DE LAS MEZCLAS (MRBC). .....	18
2.3. NOMBRES CON QUE SE CONOCEN LAS MEZCLAS MRBC.....	20
2.4. PROPIEDADES DE LAS MEZCLA DE MRBC .....	22
2.4.1. Propiedades de estado fresco.....	23
2.4.1.1. Consistencia o fluidez.....	24
2.4.1.2. Contenido de aire.....	26
2.4.1.3. Peso Unitario.....	27
2.4.1.4. Flotabilidad .....	28
2.4.2. Propiedades en estado endurecido. ....	30
2.4.2.1. Características de contracción por secado. ....	30
2.4.2.2. Excavabilidad.....	30
2.4.2.3. Permeabilidad .....	31
2.4.2.4. Resistencia .....	32
2.4.2.5. Módulo de rotura (Mr).....	34
2.4.2.6. Módulo de elasticidad (Me).....	34

2.4.2.7.	Módulo dinámico (E).....	35
2.4.2.8.	Resistencia al congelamiento.....	35
2.4.2.9.	Pruebas de capacidad soporte (CBR) o valor relativo de soporte (VRS).....	36
2.5.	CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS MRBC .....	38
2.6.	CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LAS MEZCLAS MRBC. ....	40
2.6.1.	Cemento.....	40
2.6.2.	Agregados .....	41
2.6.3.	Cenizas volantes.....	43
2.6.4.	Agua .....	44
2.6.5.	Aditivos .....	45
2.6.5.1.	Espuma preformada.....	45
2.6.5.2.	Adiciones a la mezcla .....	46
2.6.6.	Materiales no estandarizados.....	47
2.7.	SISTEMAS DE CLASIFICACION DE SUELOS .....	49
2.7.1.	Sistema AASTHO .....	49
2.7.1.1.	Suelos granulares:.....	51
2.7.1.2.	Suelos finos .....	53
2.8.	VENTAJAS DE LAS MEZCLAS MRBC. ....	54
2.9.	APLICACIONES DE LAS MEZCLAS MRBC. ....	58
2.9.1.	Rellenos estructurales.....	58
2.9.2.	Rellenos de aislamiento .....	59
2.9.3.	Bases para pavimento.....	60
2.9.4.	Encamamiento de conductos.....	63
2.9.5.	Relleno de agujeros.....	66
2.10.	FACTORES QUE INTERFIEREN DESEMPEÑO DE LAS MEZCLAS MRBC. ....	67
2.10.1.	Tipos de suelo .....	67
2.10.2.	Cantidad de cemento.....	68
2.10.3.	Cantidad de agua .....	69
2.10.4.	Tiempo de colocación de la mezcla .....	70
2.10.5.	Curado de MRBC.....	70

2.11.	FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN.....	70
2.11.1.	Generalidades .....	70
2.11.2.	Mezcla.....	71
2.11.3.	Transporte.....	72
2.11.4.	Colocación.....	74
2.11.5.	Colocación de MRBC en diferentes elementos.....	75
2.11.5.1.	Colocación de Materiales de Resistencia Baja Controlada en zanja para tubería.....	75
2.11.5.2.	Colocación de Materiales de Resistencia Baja Controlada para Rellenos Estructurales.....	77
2.12.	ENSAYOS REALIZADOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA DE MRBC.....	79
<b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>81</b>
<b>DEFINICION DE LOS BANCOS Y ENSAYOS QUE SE EFECTUARAN A LOS SUELOS QUE SE UTILIZARAN PARA LA MEZCLA DE MRBC.....</b>		<b>81</b>
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	82
3.2.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DIFERENTES BANCOS DE SUELOS A UTILIZAR .....	83
3.2.1.	Ubicación de Banco de Préstamo N°1.....	83
3.2.2.	Ubicación de Banco de Préstamo N°2.....	84
3.2.3.	Ubicación de Banco de Préstamo N°3.....	85
3.3.	RECONOCIMIENTO Y EXPLORACIÓN.....	86
3.3.1.	Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°1.....	86
3.3.2.	Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°2 (Material Granular). ...	87
3.3.3.	Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°3.....	88
3.4.	MUESTREO SEGÚN NORMA ASTM D-420 “GUÍA ESTÁNDAR PARA CARACTERIZACIÓN EN SITIO CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN”.....	89
3.5.	ANÁLISIS DE LAS MUESTRA PARA DETERMINAR CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS DIFERENTES BANCOS. ....	91
3.5.1.	Determinación de la Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por el Método Del Picnómetro con Agua (Basada En Astm D 854-02) Gravedad específica de los sólidos de un Suelo (Gs): .....	92
3.5.2.	Análisis granulométrico efectuado a las muestras extraídas. Bajo norma (ASTM D-422 “Ensayo para análisis granulométrico de partículas de suelos”). .....	97

3.5.2.1.	Análisis Granulométrico del Banco N° 1. ....	97
3.5.2.2.	Análisis Granulométrico del Banco N° 2. ....	101
3.5.2.3.	Análisis Granulométrico del Banco N° 3. ....	105
3.5.3.	Límites de Consistencia (Plasticidad) hechos a las muestras extraídas. Regidos por la norma ASTM D-4318 "Método de ensayo para determinación de Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad". Método A.....	109
3.5.4.	Determinación del Contenido de Ceniza y Materia Orgánica de Turbas y Otros Suelos Orgánicos (Basada en ASTM D 2974-00) .....	113
3.6.	CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL MÉTODO AASTHO.....	122
3.6.1.	Clasificación de Suelos del Banco de préstamo N°1. ....	122
3.6.2.	Clasificación de suelos del banco de préstamo N°2.....	123
3.6.3.	Clasificación de suelos del banco de préstamo N°3.....	124
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>125</b>
<b>ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA Y PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA. ....</b>		<b>125</b>
4.1.	DISEÑO DE LA MEZCLA MRBC .....	126
4.2.	PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA. ....	134
4.2.1.	Generalidades .....	134
4.2.2.	Ensayos para el Control de Calidad en Mezclas (MRBC).....	135
4.2.2.1.	Prueba de Revenimiento de Mezcla de Materiales de Resistencia Baja Controlada (ASTM C-143).....	136
4.2.2.2.	Contenido de aire del concreto por el método de presión aplicado a Mezcla de Materiales de Resistencia Baja Controlada. (ASTM C231). ....	138
4.2.2.3.	Método de ensayo para la determinación de la Permeabilidad de Suelos (Método de Carga Variable), ASTM D 5084 (para todos los suelos). ....	141
4.2.2.4.	Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC (ASTM D4832)..	145
4.2.2.5.	Prueba a compresión de los cilindros del Relleno Fluido de Resistencia Controlada (ASTM C 39 / C 39M).....	148
4.2.2.6.	Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión (ASTM C469/C469M-10). ..	152

<b>CAPITULO V</b> .....	<b>157</b>
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A LOS SUELOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESPECÍMENES REALIZADOS.</b> .....	<b>157</b>
5.1. ELEMENTOS DE PRUEBA .....	158
5.1.1. Sometimiento de los especímenes a prueba.....	159
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....	160
5.2.1. Representatividad de los Resultados.....	312
5.3 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	321
<b>CAPITULO VI</b> .....	<b>322</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>322</b>
6.1. CONCLUSIONES.....	323
6.2. RECOMENDACIONES.....	326
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>327</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>333</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>339</b>

## INDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Figura 2.1	Equipo utilizado para determinar el revenimiento de la mezcla.....	26
Figura 2.2	Equipo utilizado para determinar contenido de aire de la mezcla.....	27
Figura 2.3	Método para determinar la extensibilidad de la mezcla.....	29
Figura 2.4	Maquina empleada para la ruptura de cilindros a compresión.....	33
Figura 2.5	Carta de Plasticidad AASTHO.....	51
Figura 2.6	Distribución de presión en pavimento asfaltico con base granular.....	62
Figura 2.7	Distribución de presión en Pavimento de Concreto con base granular.....	62
Figura 2.8	Distribución de presión en Pavimentos de concreto sobre Relleno Fluido.....	63
Figura 2.9	Encamamiento de Tubería sin aplicar MRBC.....	64
Figura 2.10	Aplicación de MRBC en Zanjas.....	65
Figura 2.11	Relleno entre muro de contención y derrumbe.....	66
Figura 2.12	Relleno entre muro de contención y derrumbe dos días después.....	66
Figura 2.13	Tipos de camión mezclador para transporte de concreto y MRBC.....	72
Figura 2.14	Modelo de bombas utilizadas para distribuir lodocreto.....	73
Figura 2.15	Vertido directo de la canaleta del camión.....	73
Figura 2.16	Vertido directo de la canaleta del camión.....	74
Figura 2.17	Colocación de MRBC por bombeo a través de tubería.....	75
Figura 2.18	Colocación de MRBC en tuberías.....	77
Figura 2.19	Aplicación de MRBC en rellenos estructurales.....	78

### CAPÍTULO III: DEFINICION DE LOS BANCOS Y ENSAYOS QUE SE EFECTUARAN A LOS SUELOS QUE SE UTILIZARAN PARA LA MEZCLA DE MRBC

Figura 3.1	Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°1.....	83
Figura 3.2	Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°2.....	84
Figura 3.3	Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°3.....	85
Figura 3.4	Suelo de Banco de Préstamo N°1.....	90
Figura 3.5	Suelo de Banco de Préstamo N°2.....	90
Figura 3.6	Suelo de Banco de Préstamo N°3.....	91
Figura 3.7	Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #1.....	100
Figura 3.8	Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #2.....	104
Figura 3.9	Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #3.....	108
Figura 3.10	Ensayo de Límite Líquido.....	109
Figura 3.11	Determinando masa de los recipientes utilizados en el ensayo.....	118
Figura 3.12	Muestra de suelo colocada en el horno mufla.....	119

**CAPITULO IV: ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA Y PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA**

Figura 4.1	Llenado del cono Abrams.....	136
Figura 4.2	Enrasado y Levantamiento del cono de Abrams .....	137
Figura 4.3	Medición de Revenimiento .....	137
Figura 4.4	Enrasado del molde para contenido de aire. ....	139
Figura 4.5	Colocación del Manómetro y cierre de las válvulas de purga. ....	140
Figura 4.6	Bombeo de aire en la cámara. ....	140
Figura 4.7	Esquema del Permeámetro .....	142
Figura 4.8	Llenado del Permeámetro. ....	142
Figura 4.9	Permeámetro sellado.....	143
Figura 4.10	Bureta para ensayo de permeabilidad (Carga variable). ....	143
Figura 4.11	Ensayo de Permeabilidad (Carga variable). ....	144
Figura 4.12	Proceso de llenado de los cilindros.....	146
Figura 4.13	Enrasado de los cilindros. ....	147
Figura 4.14	Cilindros de MRBC.....	147
Figura 4.15	Curado de los cilindros de MRBC .....	148
Figura 4.16	Registro del peso y dimensiones del cilindro.....	149
Figura 4.17	Colocación del cilindro en la máquina. ....	150
Figura 4.18	Maquina empleada para ruptura de cilindros probados a compresión. ....	150
Figura 4.19	Fallas de los especímenes de Materiales de Resistencia Baja Controlada. ....	151
Figura 4.20	Colocación de los anillos y de los deformímetros.....	155
Figura 4.21	Espécimen colocado en máquina para realizar el ensayo. ....	156

**CAPITULO V: PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADO A LOS SUELOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Figura 5.1	Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 7 días.....	169
Figura 5.1	Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 14 días.....	170
Figura 5.2	Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 28 días.....	171
Figura 5.3	Ganancia de resistencia en el tiempo para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 .....	172
Figura 5.4	Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	173
Figura 5.5	Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	174
Figura 5.6	Revenimiento de bachadas de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	176

Figura 5.7	Extensibilidad de bachadas de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	177
Figura 5.8	Revenimiento versus Extensibilidad de bachadas de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1.....	178
Figura 5.9	Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	179
Figura 5.10	Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	180
Figura 5.11	Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	181
Figura 5.12	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	188
Figura 5.13	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	189
Figura 5.14	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	190
Figura 5.15	Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°1 (Diseño 14 kg/cm <sup>2</sup> -de MRBC- Lodocreto) .....	191
Figura 5.16	Rangos de Pesos Volumétricos de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> ....	192
Figura 5.17	Rangos de Porcentajes de Contenido de Aire de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	193
Figura 5.18	Revenimiento obtenido para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - suelo N°1 .....	195
Figura 5.19	Extensibilidad obtenida para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - suelo N°1 .....	196
Figura 5.20	Revenimiento vs Extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - Suelo N°1.....	197
Figura 5.21	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	198
Figura 5.22	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	199
Figura 5.23	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°1.....	200
Figura 5.24	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	208
Figura 5.25	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	209
Figura 5.26	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	210
Figura 5.27	Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°2 (Diseño 7 kg/cm <sup>2</sup> -de MRBC- Lodocreto) .....	211

Figura 5.28	Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	212
Figura 5.29	Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	213
Figura 5.30	Revenimientos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2.....	215
Figura 5.31	Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2.....	216
Figura 5.32	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	217
Figura 5.33	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	218
Figura 5.34	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	219
Figura 5.35	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	220
Figura 5.36	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	227
Figura 5.37	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	228
Figura 5.38	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	229
Figura 5.39	Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°2 (Diseño 7 kg/cm <sup>2</sup> -de MRBC- Lodocreto) .....	230
Figura 5.40	Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	231
Figura 5.41	Contenido de aire para un diseño de 14kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	232
Figura 5.42	Revenimiento para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2.....	234
Figura 5.43	Extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2.....	235
Figura 5.44	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	236
Figura 5.45	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	237
Figura 5.46	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	238
Figura 5.47	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°2.....	239
Figura 5.48	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3 .....	247

Figura 5.49	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3 .....	248
Figura 5.50	Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3 .....	249
Figura 5.51	Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°3 (Diseño 7 kg/cm <sup>2</sup> -de MRBC- Lodocreto) .....	250
Figura 5.52	Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	251
Figura 5.53	Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	252
Figura 5.54	Revenimiento para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	254
Figura 5.55	Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	255
Figura 5.56	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	256
Figura 5.57	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3 .....	257
Figura 5.58	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3 .....	258
Figura 5.59	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3 .....	259
Figura 5.60	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3 .....	266
Figura 5.61	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3 .....	267
Figura 5.62	Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3. ....	268
Figura 5.63	Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°3 (Diseño 14 kg/cm <sup>2</sup> -de MRBC- Lodocreto) .....	269
Figura 5.64	Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	270
Figura 5.65	Contenido de aire para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	271
Figura 5.66	Revenimiento para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	273
Figura 5.67	Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	274
Figura 5.68	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	275
Figura 5.69	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3 .....	276

Figura 5.70	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3.....	277
Figura 5.71	Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> -Suelo N°3.....	278
Figura 5.72	Comparación de promedios de resistencia a la compresión de los diferentes tipos de suelo para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	297
Figura 5.73	Comparación de promedios de resistencia a la compresión de los diferentes tipos de suelo para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	298
Figura 5.74	Comparación de Resistencias a 7 días para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	299
Figura 5.75	Comparación de Resistencias a 14 días para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	299
Figura 5.76	Comparación de Resistencias a 28 días para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	300
Figura 5.77	Comparación de Resistencias a 7 días para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	300
Figura 5.78	Comparación de Resistencias a 14 días para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	301
Figura 5.79	Comparación de Resistencias a 28 días para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	301
Figura 5.80	Colocación de los anillos y de los deformímetros.....	307
Figura 5.81	Espécimen colocado en máquina para realizar el ensayo .....	308
Figura 5.82	Deformaciones de espécimen.....	311

## INDICE DE TABLAS

### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Tabla 2.1	Datos de resistencia a compresión en relación a la excavabilidad .....	31
Tabla 2.2	Clasificación de Rellenos Fluidos por densidad y resistencia .....	38
Tabla 2.3	Clasificación por Consistencia de la mezcla .....	39
Tabla 2.4	Clasificación por excavabilidad .....	39
Tabla 2.5	Clasificación por tiempo de fraguado .....	39
Tabla 2.6	Graduación para agregado fino para rellenos fluidos .....	43
Tabla 2.7	Para clasificar suelos en el sistema AASTHO.....	54
Tabla 2.8	Ventaja de mezclas MRBC .....	55

### CAPÍTULO III: DEFINICION DE LOS BANCOS Y ENSAYOS QUE SE EFECTUARAN A LOS SUELOS QUE SE UTILIZARAN PARA LA MEZCLA DE MRBC

Tabla 3.1	Gravedad Específica de Suelo #1 .....	94
Tabla 3.2	Gravedad Específica de Suelo #2 .....	95
Tabla 3.3	Gravedad Específica de Suelo #3 .....	96
Tabla 3.4	Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10.....	98
Tabla 3.5	Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz n° 10.....	98
Tabla 3.6	Corrección por temperatura .....	99
Tabla 3.7	Calculo del diámetro de las partículas (D) .....	99
Tabla 3.8	Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n°10.....	102
Tabla 3.9	Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n°10.....	102
Tabla 3.10	Corrección por temperatura (ct).....	103
Tabla 3.11	Calculo del diámetro de las partículas (D) .....	103
Tabla 3.12	Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10.....	106
Tabla 3.13	Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10.....	106
Tabla 3.14	Corrección por temperatura (ct).....	107
Tabla 3.15	Calculo del diámetro de las partículas (D) .....	107
Tabla 3.16	Cálculo de límite líquido de suelo N°1 .....	110
Tabla 3.17	Cálculo de límite líquido de suelo N°2 .....	111
Tabla 3.18	Calculo de límite líquido de suelo N°3 .....	112
Tabla 3.19	Determinación del contenido de orgánico de suelo N°2.....	120
Tabla 3.20	Resumen de datos obtenidos para suelos del banco N°2 y N°3 .....	121
Tabla 3.21	Coficiente de graduación suelo N°1 .....	122
Tabla 3.22	Coficiente de graduación suelo N°2 .....	123
Tabla 3.23	Coficiente de graduación suelo N°3 .....	124

**CAPITULO IV: ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA Y PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA**

Tabla 4.1	Proporcionamiento de materiales para diseño de 7kg/cm <sup>2</sup> para 1 m <sup>3</sup> .....	126
Tabla 4.2	Determinación del volumen para los materiales para 1m <sup>3</sup> (MRBC). .....	129
Tabla 4.3	Proporción de materiales por corrección de humedad del suelo. ....	131
Tabla 4.4	Resumen de Diseños en pesos de las proporciones a 7 y 14 Kg/cm <sup>2</sup> . ....	133
Tabla 4.5	Resumen de Diseños en porcentajes de las proporciones a 7 y 14 Kg/cm <sup>2</sup> . ....	133
Tabla 4.6	Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión.....	151

**CAPITULO V: PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADO A LOS SUELOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Tabla 5.1	Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	164
Tabla 5.2	Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	164
Tabla 5.3	Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	165
Tabla 5.4	Datos de diseño de la bachada N°4 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	165
Tabla 5.5	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	166
Tabla 5.6	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	167
Tabla 5.7	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	168
Tabla 5.8	Resistencia a la compresión promedio para diferentes edades para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC del suelo N°1 .....	172
Tabla 5.9	Peso Volumétrico para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1.....	173
Tabla 5.10	Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1.....	174
Tabla 5.11	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	175
Tabla 5.12	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1.....	175
Tabla 5.13	Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). ....	183
Tabla 5.14	Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). ....	183
Tabla 5.15	Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) .....	184

Tabla 5.16	Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	184
Tabla 5.17	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	185
Tabla 5.18	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1 .....	186
Tabla 5.19	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1.....	187
Tabla 5.20	Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , Suelo N°1.....	191
Tabla 5.21	Peso Volumétrico para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> para el suelo N°1 .....	192
Tabla 5.22	Rangos de Porcentajes de Contenido de Aire de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	193
Tabla 5.23	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	194
Tabla 5.24	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1 .....	194
Tabla 5.25	Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	203
Tabla 5.26	Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	203
Tabla 5.27	Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	204
Tabla 5.28	Datos de diseño de la bachada N°4 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto). .....	204
Tabla 5.29	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	205
Tabla 5.30	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	206
Tabla 5.31	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	207
Tabla 5.32	Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> del suelo N°2 .....	211
Tabla 5.33	Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	212
Tabla 5.34	Contenidos de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	213
Tabla 5.35	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	214
Tabla 5.36	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2.....	214

Tabla 5.37	Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	222
Tabla 5.38	Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	222
Tabla 5.39	Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	223
Tabla 5.40	Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	223
Tabla 5.41	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	224
Tabla 5.42	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	225
Tabla 5.43	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2 .....	226
Tabla 5.44	Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	230
Tabla 5.45	Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	231
Tabla 5.46	Contenidos de aire para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2 .....	232
Tabla 5.47	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2 .....	233
Tabla 5.48	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2.....	233
Tabla 5.49	Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	242
Tabla 5.50	Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	242
Tabla 5.51	Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	243
Tabla 5.52	Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).....	243
Tabla 5.53	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	244
Tabla 5.54	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	245
Tabla 5.55	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	246
Tabla 5.56	Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> Suelo N°3.....	250
Tabla 5.57	Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	251

Tabla 5.58	Contenidos de aire para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	252
Tabla 5.59	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	253
Tabla 5.60	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	253
Tabla 5.61	Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) .....	261
Tabla 5.62	Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) .....	261
Tabla 5.63	Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) .....	262
Tabla 5.64	Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) .....	262
Tabla 5.65	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	263
Tabla 5.66	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	264
Tabla 5.67	Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3 .....	265
Tabla 5.68	Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> Suelo N°3 .....	269
Tabla 5.69	Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	270
Tabla 5.70	Contenidos de aire para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	271
Tabla 5.71	Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3 .....	272
Tabla 5.72	Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3 .....	272
Tabla 5.73	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	279
Tabla 5.74	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	280
Tabla 5.75	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	281
Tabla 5.76	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	282
Tabla 5.77	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	283
Tabla 5.78	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #1 .....	284

Tabla 5.79	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	285
Tabla 5.80	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	286
Tabla 5.81	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	287
Tabla 5.82	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	288
Tabla 5.83	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	289
Tabla 5.84	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #2 .....	290
Tabla 5.85	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	291
Tabla 5.86	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	292
Tabla 5.87	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	293
Tabla 5.88	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	294
Tabla 5.89	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	295
Tabla 5.90	Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> , suelo #3 .....	296
Tabla 5.91	Tabla comparativa entre los diferentes promedio de resistencia a la compresión. ....	297
Tabla 5.92	Tabla comparativa entre los diferentes promedio de resistencia a la compresión .....	298
Tabla 5.93	Clasificación de la Fluidéz de las Mezclas de MRBC.....	302
Tabla 5.94	Clasificación de la Fluidéz de las Mezclas de MRBC de los diferentes suelos analizados .....	302
Tabla 5.95	Permeabilidad de Suelo N°1 .....	303
Tabla 5.96	Permeabilidad de Suelo N°2 .....	303
Tabla 5.97	Permeabilidad de Suelo N°3 .....	303
Tabla 5.98	Ejemplo de cálculo de Relación de Poisson y el Modulo de Elasticidad Estático.....	310
Tabla 5.99	Resultados de Módulo de Poisson para los diferentes suelos.....	311
Tabla 5.100	Valores típicos de la Relación de Poisson ( $\mu$ ).....	312
Tabla 5.101	Grado de representatividad de los resultados.....	314
Tabla 5.102	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #1 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	315

Tabla 5.103	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #1 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	315
Tabla 5.104	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #2 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	316
Tabla 5.105	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #2 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	316
Tabla 5.106	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #3 para un diseño de 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	316
Tabla 5.107	Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #3 para un diseño de 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	316
Tabla 5.108	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	318
Tabla 5.109	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	318
Tabla 5.110	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	319
Tabla 5.111	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	319
Tabla 5.112	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm <sup>2</sup> .....	320
Tabla 5.113	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm <sup>2</sup> .....	320

## **CAPITULO I**

# **GENERALIDADES**

## 1.1.INTRODUCCIÓN

La necesidad de satisfacer los requerimientos de la construcción ha obligado el desarrollo de nuevas tecnologías, que a su vez han brindado la posibilidad de producir continuamente toda una gama de nuevos materiales.

Uno de esos materiales que se está utilizando con frecuencia a partir de la década de los setenta son los materiales de resistencia baja controlada (MRBC), un producto compuesto de suelo, cemento y agua, de consistencia fluida autonivelante y autocompactante que en estado endurecido es una estructura estable que soporta cargas, este producto es más conocido con el nombre de Lodocreto, son materiales que han sido desarrollados para el reemplazo de suelos compactados en el relleno de zanjas, bases de pavimentos, bases para cimentaciones de edificios y cavidades de difícil acceso que requieran ser rellenadas.

Mediante una dosificación adecuada de la mezcla, puede obtenerse una MRBC con características deseadas dependiendo de la aplicación, como lo es la resistencia a compresión que pueden alcanzar los  $85 \text{ kg/cm}^2$ , la mayoría de las aplicaciones de los MRBC requieren compresión no confinada de  $21 \text{ kg/cm}^2$  o menos, esto para permitir la futura excavación, un criterio para medir la capacidad del suelo para apoyar una carga, oscila entre valores de  $3.0 \text{ kg/cm}^2$  a  $7.0 \text{ kg/cm}^2$ , que es equivalente al esfuerzo de un relleno bien compactado.

Uno de los usos más generalizados de los MRBC se ha dado en la construcción de vías terrestres, ya que es utilizado en la conformación de bases y sub-bases de las estructuras de pavimentos por las múltiples ventajas que presenta sobre las prácticas tradicionales, en las que se utilizan materiales granulares.

Para lograr un buen servicio en capas de MRBC es preciso conocer las propiedades del material y su comportamiento al variar sus elementos y sus respectivos proporcionamientos. Es por ello que el estudio de las propiedades se hace cada vez más importante, por lo que el principal objetivo del presente trabajo de investigación se enfoca en la determinación de algunas de las propiedades de los MRBC como lo son la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad dinámico y el coeficiente de capa.

Para la elaboración de los diseños de mezcla de MRBC se han seleccionado tres bancos de préstamos de la zona central de El Salvador, a los cuales se les realizará algunas pruebas tales como: análisis granulométricos y límites de consistencia (límites de Atterberg), para ser clasificados bajo los dos sistemas más utilizados para la clasificación de suelos (SUCS Y AASHTO). Estos bancos de préstamos seleccionados que se utilizaran servirán para cumplir con la finalidad de la investigación.

## **1.2. ANTECEDENTES**

El suelo ha sido el primer material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente. Desde el período neolítico, la tierra se ha utilizado para la construcción de monumentos, tumbas, viviendas, vías de comunicación y estructuras para retención de agua.

La necesidad de alcanzar mayor durabilidad y resistencia al intemperismo utilizando el suelo como material de construcción hizo que los primeros usuarios de esta técnica se preocuparan por obtener mejores resultados al mezclarlo con otros materiales para fortalecer sus propiedades.

La experimentación en el área de ingeniería ha comprobado que el suelo mejora sus propiedades (resistencia al corte, permeabilidad, capacidad de deformación, etc.) si éste se mezcla con cemento en ciertas proporciones.

No hay datos exactos del inicio del empleo de mezclas de suelo con el cemento como tales, pero sin embargo, sí se pueden dar algunos datos de referencia:

En 1932 es la fecha que demarca oficialmente el inicio del empleo de este material, cuando el departamento de cementeras del estado de California, en la búsqueda de un material que habilitara los caminos para cualquier época del año, pero que al mismo tiempo fuera de bajo costo, empezó a hacer investigaciones con las mezclas de suelo y cemento bajo la dirección de su

jefe el Dr. C. H. Moorefiel, iniciaron pruebas en caminos entre los años de 1933 y 1934 con varios espesores, obteniendo siempre un material endurecido, en el que no se formaban zanjas o se desplazaba en invierno, no se desintegraba ni formaba fangales ni polvaredas, quedando claro que estos dos materiales se podían mezclar.

La necesidad de satisfacer los requerimientos de la construcción ha obligado el desarrollo de nuevas tecnologías, que a su vez han brindado la posibilidad de producir continuamente toda una gama de nuevos materiales.

Uno de esos materiales que se está utilizando con frecuencia a partir de la década de los setenta es un producto compuesto de suelo, cemento y agua, de consistencia fluida autonivelante y autocompactante que en estado endurecido es una estructura estable que soporta cargas, este producto es conocido con el nombre de Relleno Fluido de Resistencia Controlada (RFRC), cuyas bondades aplicadas en ingeniería han demostrado que es un producto de gran ayuda en pequeñas y grandes obras. Es producto de una mezcla muy sencilla de realizarse, con un amplio campo de aplicación y sobre todo los materiales que lo componen son económicos y muy abundantes<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido.

El Relleno Fluido de Resistencia Controlada (RFRC), se utilizó en los Estados Unidos de América desde 1964. A partir de 1970 es utilizado en forma masiva en proyectos viales y rellenos en cimentaciones de diversos edificios en USA.

En 1984 se crea el Comité ACI 229R específico para este material, y se difunde su conocimiento en América y el Mundo. En El Salvador, se desarrollaron algunas aplicaciones puntuales en las décadas del 70's y 80's.

En El Salvador se realizó un estudio 1995 llamado "Investigación para la Utilización de Material de Relleno de Resistencia Baja Controlada" realizado por Ingenieros Civiles Asociados. Otro estudio realizado es editado por el Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC) "Relleno Fluidos de Resistencia Controlada RFRC (lodocreto) experiencia e investigación en El Salvador" escrito por el Ing. Carlos Quintanilla<sup>2</sup>.

A partir del año 2000, su utilización ocurre en prácticamente todo tipo de obras civiles. Su uso principal en el país es en relleno de tuberías, rellenos en cimentaciones y diversas obras en el campo vial.

Existen varios Trabajos de Investigación realizados en la Universidad de El Salvador con respecto a la utilización de los materiales de resistencia baja controlada (MRBC), ya sea orientados a la protección de taludes, a la elaboración

---

<sup>2</sup> Trabajo de graduación "Determinación de los parámetros de resistencia en mezclas de lodocreto utilizando suelos plásticos estabilizados y materiales granulares". Por Ing. Manuel Alexander Arriola Sánchez, Universidad de El Salvador.

de viviendas mínimas y bases de pavimentos con este tipo de material; así como algunos trabajos tales como:

- Aplicación de los parámetros de control ACI (American Concrete Institute), en mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada (Lodocreto), variando porcentajes y tipos de cementos.
- Determinación de los parámetros de resistencia en mezclas de lodocreto utilizando suelos plásticos estabilizados y materiales granulares.
- Correlación del módulo de elasticidad dinámico, resistencia a la compresión y coeficiente de capa en bases de suelo cemento.

Para la realización de estos trabajos de investigación el reconocimiento de los suelos ha sido necesario para obtener información rápida y adecuada, respecto a los diferentes tipos de suelo que se encuentran en la zona central de El Salvador.

Los MRBC, localmente conocidos como lodocreto, son mezclas compuestas en su forma más básica por cemento, agua y agregados finos, cuyas características de fluidez y autocompactabilidad, con resistencias a compresión menores o iguales a  $83 \text{ kg/cm}^2$  los vuelven materiales muy prácticos, que se usan primordialmente como material de relleno y útiles en diversas aplicaciones de la ingeniería civil.

Los MRBC presentan una serie de ventajas en su empleo como material de relleno. Algunas ventajas de su aplicación se presentan a continuación:

- Disponibilidad
- Reducción de requerimientos de equipo
- El uso de materiales no estandarizados para su elaboración.
- Fácil de colocar
- Versatilidad
- Fuerte y durable
- Puede ser excavado
- Permite rápida puesta en servicio
- Reduce costos de excavación

La principal aplicación de los MRBC es como relleno estructural o relleno en lugar de suelo compactado. Puesto que el MRBC no requiere de compactación y que puede ser diseñado para que sea muy fluido.

#### APLICACIONES DE LOS MRBC

- Rellenos
- Rellenos Estructurales
- Bases de Pavimentos
- Relleno de Tuberías
- Control de La Erosión

Diversos Proyectos CEPA, Diversos Proyectos Red Vial Interurbana, Edificios Universidad Matías Delgado, Edificios Habitacionales San Benito, Diversas Urbanizaciones y Proyectos Habitacionales Gran Vía Etc.

### 1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC) localmente conocidos como lodocreto, son mezclas compuestas en su forma más básica por cemento, agua y agregados finos, cuyas características de fluidez y autocompactabilidad los vuelven materiales muy prácticos y útiles en diversas aplicaciones de la ingeniería civil. Estos son una tecnología relativamente nueva en el país, sin embargo, su uso se ha ido extendiendo en los últimos años hasta el punto de ser utilizados en prácticamente todo tipo de obras civiles, entre las que resalta su utilización como materiales de relleno, y en nuestra investigación lo enfocaremos al uso vial en nuestro país.

Además de las ya mencionadas características de fluidez y autocompactabilidad, los MRBC presentan muchas ventajas con respecto a otros materiales, entre éstas se destacan la reducción de requerimientos de equipo, el uso de materiales no estandarizados para su elaboración y su excavabilidad. Dado que el ACI 116R define a los MRBC únicamente como materiales cementíceos con resistencias a compresión menores o iguales a  $83 \text{ kg/cm}^2$ , durante su desarrollo se han experimentado con diferentes tipos de agregado como cenizas volantes, arena de fundición, vidrio de desecho, entre otros.

En el país, el material más empleado en su elaboración es la tierra blanca. A pesar de dichas ventajas, los MRBC poseen un serio inconveniente: son estrictamente hablando materiales híbridos. Así, tal y como establece el ACI

229R, estos son materiales cementíceos cuyo comportamiento se asemeja más al de los suelos compactados, ubicándose en la frontera entre concretos y suelo. Dicha peculiaridad genera que los MRBC requieran de un tratamiento especial para su estudio, mezclando parámetros muy diversos.

En El Salvador los MBRC se encuentran muy pocos investigados, no se tienen por ejemplo certificado los mejores bancos de préstamo donde podemos tomar el material necesario, para elaborar las mezclas MBRC que nos aseguren la calidad de la actividad, que se va a realizar en nuestro proyecto.

Así mismo la idea de determinar la calidad de los bancos de préstamo es para realizar diferentes ensayos en los cuales podemos investigar, por ejemplo, si con material orgánico se puede alcanzar una resistencia adecuada, con qué tipo de suelo de los bancos de préstamo se alcanza una mayor resistencia y un mejor comportamiento elástico. También ocuparemos el material de los diferentes bancos de préstamos para realizar ensayos a la flexión y compresión para el uso de lodocreto (uno de sus tantos nombres) en carretera para determinar su comportamiento como base.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General:**

Realizar diseños de mezclas de materiales de resistencia baja controlada con materiales de bancos de préstamo de la zona central de El Salvador para su aplicabilidad vial.

### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Realizar pruebas de laboratorio basadas en las normas ACI y normas ASTM relativas únicamente sobre los MRBC.
- Realizar diseño de MRBC de 7 kg/cm<sup>2</sup> y 14 kg/cm<sup>2</sup> para ser ensayados a edades de 7, 14 y 28 días.
- Crear un marco teórico sobre los materiales de resistencia baja controlada (MRBC) y su aplicabilidad en diferentes áreas de la construcción.
- Estudiar las propiedades en estado fluido y endurecido en los materiales de resistencia baja controlada.
- Identificar cuáles de los bancos de préstamos tiene un mejor comportamiento en estado fresco y endurecido

- Identificar la calidad de los bancos de préstamo analizados con la finalidad de ayudar a tener un mejor panorama en la calidad de la mezcla que se esté realizando.
- Realización de ensayos a los materiales de resistencia baja controlada para determinar una correlación de la resistencia a la compresión con el Módulo de Ruptura.

## 1.5. ALCANCES

- Realizar diseños sobre las mezclas de Materiales de Resistencia Baja controlada (M.R.B.C) basándonos en las normas del ACI y normas ASTM para la verificación de la calidad de los componentes que conforman la mezcla.
- Estudiar diferentes bancos de préstamos que existen en nuestro país con el que se pretende determinar si las mezclas que resultan de ellos son satisfactorios o cumplen con determinadas características para ser utilizados en diversas aplicaciones de la construcción y lograr un mayor entendimiento sobre este tipo material que hoy en día es muy utilizado, ya que posee características peculiares.

## 1.6. LIMITACIONES

- El área de estudio de esta investigación se delimitara para suelos que se encuentre en la zona Paracentral de El salvador esto por el motivo que no se cuenta con la disponibilidad del tiempo y por ello se analizaran únicamente tres bancos de préstamo que tengan características comunes de nuestro entorno y que cumpla con especificaciones técnicas para el uso MRBC, basados en las normas A.C.I.
- A un con la amplia y versátil aplicación que tiene los materiales de resistencia baja controla (MRBC) en nuestro país en el área de construcción, aun no se encuentra suficiente información disponible sobre dichas mezclas.
- Las resistencias con que se analizaran cada uno de los bancos de materiales que se investigaran serán entre los  $7\text{kg/cm}^2$ ,  $14\text{kg/cm}^2$  que es el esfuerzo equivalente de un relleno bien compactado únicamente se realizaran ensayos a compresión para determinar la resistencia que podrán soportar ya que es el método común con que se evalúan en nuestro entorno.
- Para las mezclas y diseños de MRBC que se realizaran en esta investigación no se utilizaran aditivos que mejoren las condiciones de la mezcla ya que se tienen que analizar otras consideraciones que no se lograran abarcar en este trabajo de investigación.

## 1.7. JUSTIFICACION

Uno de los motivos esenciales que nos impulsa a la investigación de este tema es su poca investigación en nuestro país, a pesar que es masivamente utilizado. Hay pocos estudios que nos digan, a exactitud, la mayoría de propiedades que hemos de utilizar de esta herramienta en la construcción. Así, otro impulso que nos ha llevado a orientarnos, a realizar la investigación, es que no existe una clasificación adecuada de cuáles son algunos de los mejores bancos de préstamos en el país, donde en base a resultados de laboratorio, podamos concluir, cuál de los tres bancos de préstamo que pretendemos analizar, presenta las mejores características para ser utilizado, en especial, en carreteras.

Otra de las inquietudes que nos planteábamos, es que no tenemos una comparación de cómo se comporta los MRBC con diferentes tipos de suelo de los bancos de préstamo a utilizar, así con esta investigación ya tendremos parámetros de referencia para poder saber, que banco utilizar o si en cualquier proyecto se tiene el tipo de suelo analizado, se podrá saber, cómo se comporta y sí se utiliza o no, en el mismo.

## **CAPÍTULO II**

# **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. GENERALIDADES DE LOS MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (MRBC).**

En la actualidad existe una diversidad de nuevas investigaciones esto por el desarrollo tecnológico en distintas áreas, entre las que se destacan la electrónica y las comunicaciones, estas mencionadas anteriormente son las que han logrado una gran popularidad debido al uso frecuente de éstas a través de las computadoras y los teléfonos celulares.

Pero también existen otras investigaciones quizá menos conocidos, pero no por ello menos importantes, son los avances en varias áreas de la ingeniería civil, como por ejemplo el desarrollo del software, cada vez más sofisticado, que permite hacer en menor tiempo las tareas de diseño, planeación y ejecución de las obras, y respecto a los procesos y sistemas constructivos, los concretos de alto comportamiento, los durables o incluso los sustitutos de suelo, como MRBC, que forman parte del innovador conjunto de herramientas y materiales disponibles para la construcción contemporánea. Los Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC) son una variedad de materiales de relleno y son principalmente usados para reemplazar el uso de materiales granulares que tradicionalmente se compactan para estabilizar suelos. Sin lugar a dudas es el tiempo de aplicación de estos materiales lo que hace que se considere la

aplicación de esta tecnología en proyectos para permitir la realización de estos trabajos en tiempos y condiciones impensables hasta hoy.

## **2.2. DEFINICIONES DE LAS MEZCLAS (MRBC).**

Para tener una idea clara del tema en discusión se iniciará describiendo el material. El comité ACI 229 Controlled low-strength materials<sup>3</sup> lo define como “Material cementante autocompactable de una baja densidad controlada, usado principalmente como relleno en sustitución de un relleno compactado”. Se describe como un sustituto de suelo que se coloca de forma casi líquida, autonivelante, en menos tiempo que una base granular compactada y una vez endurecido presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno compactado tradicional hecho con materiales granulares.

Por ser un material que incluye agua, cemento, agregados y aditivos no se debe olvidar que en realidad este material es un mortero (si no contiene agregados mayores a 6 mm.) y por lo tanto se comportará como tal, es decir tendrá una proporción de estos materiales, un tiempo de mezcla, un tiempo vida útil de la mezcla (que se ajustan a las necesidades), una fluidez manejable según el requerimiento, un tiempo de fraguado y resistencias con rangos que se clasifican según los usos y aplicaciones que se requieran.

---

<sup>3</sup> Comité ACI229R —Materiales de baja resistencia controlada

Fue desarrollado como alternativa para obras donde se requiere rellenar un volumen con un material estable, tarea hasta hoy ocupada normalmente por materiales granulares compactados (suelos). Por poseer dos estados es necesario dividir las características de este material cementicio en dos fases: estado fresco y estado endurecido.

Estando en estado fresco es posible ajustar su fluidez a las necesidades con un revenimiento entre 10 a 26 cm. (4 a 10 pulg.) usando como referencia la prueba con el cono de revenimiento ASTM C 143<sup>4</sup> aunque esta característica debe medirse con un ensayo que describe la Norma ASTM D 6103<sup>5</sup>. Esta propiedad está relacionada a las necesidades de colocación y con el peso unitario que se necesite, con un comportamiento autonivelante entre 18 a 26 cm. (7 a 10 pulg.), según la prueba ASTM D 6103; esto lo hace ideal para trabajar en áreas ajustadas de espacio o con acceso restringido como cunetas, cavernas, zanjas, pozos, etc. en donde el colocado y la compactación de un relleno granular sería muy difícil, peligroso o imposible. Se podría necesitar que el revenimiento fuera menor entre 10 y 18 cm. (4 y 7 pulg.) esto es ideal para rellenar una zanja en una calle inclinada o dar pendientes a una azotea lográndolo sin la necesidad de utilizar un equipo de vibrado o de compactación. Su peso unitario varía entre 1600 a 2100 Kg/m<sup>3</sup> aunque se pueden requerir pesos más ligeros

---

<sup>4</sup> ASTM C143 "Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico"

<sup>5</sup> Norma ASTM D 6103 " Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (MBRC)"

ocasionalmente, esta propiedad es de interés para el diseño y control de calidad de la mezcla y es relevante por las características de conductividad térmica y excavabilidad que presentara el relleno fluido en su estado endurecido. En estado endurecido o sólido se pueden obtener resistencias a la compresión a los 28 días desde 7 hasta 84 Kg /cm<sup>2</sup> (100 a 1200 psi) después de este rango el material sería considerado un concreto y un valor relativo soporte (VRS) superior al 50 y 80%, es excavable con diferentes métodos según su resistencia a la compresión y presenta una buena resistencia al lavado o erosión del material fino que lo conforma.

### **2.3. NOMBRES CON QUE SE CONOCEN LAS MEZCLAS MRBC**

En nuestro país el nombre con el que comúnmente se reconoce este tipo de mezclas es el de Lodocreto en cierta manera debido a la consistencia y fluidez que esta mezcla presenta al momento de colocarse.

En la república de México se le da otros nombres como Suelo Líquido, Suelo Cemento Líquido y Relleno Fluido. Tal vez su nombre más técnico en español es Material de baja resistencia controlada, nombre que corresponde a la traducción de “Controlled low-strength materials” o CLSM por sus siglas en inglés, nombre que el Comité ACI 229R-99 le da a este material.

También se le conoce con el nombre de “K-Krete”, este nombre proviene de la empresa K-Krete Inc. Empresa que surgió de la fusión en 1,970 de las empresas

Kuhlman Corporation y Detroit Edison Company. La K-Krete Inc. Fue la primera empresa que se dedicó a estudiar de qué forma se podían utilizar las cenizas volantes que es un material de desecho resultante de la fabricación de acero y que es ecológicamente difícil de manejar, esta empresa encontró una buena utilización de este material, usándolo como agregado en la producción del concreto, naciendo de esta manera los “Controlled low-strength materials” Materiales con baja densidad controlada. Otro nombre con el que aparece en literatura de habla inglesa es “Controlled density fill (CDF)<sup>6</sup>”; este nombre responde a la necesidad de la industria de la construcción para desarrollar otras especialidades de rellenos de baja resistencia para aplicaciones tales como base para pavimentos, rellenos estructurales y rellenos térmicos.

A un inicio los CDF contenían Cenizas volantes cemento Pórtland, agregados finos y agua, desarrollando a los 28 días una resistencia alrededor de 0.7 Mpa (100.00 psi). En el año de 1,984 la “American Concrete Institute” (ACI) decidió formar el comité ACI 229 y aquí se decide tomar el nombre de “Controlled low-strength material” (CLMS) sobre el de CDF por ser más general y cubrir más tipos de material de relleno; las características y pruebas de este material aparecen en la norma ASTM STP 1331<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Controlled density fill (CDF) “Rellenos de Densidad Controlada”

<sup>7</sup> ASTM STP1331 “The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill)” traducido al español “El Diseño y Aplicación de Materiales de Baja Resistencia Controlados”

Para este trabajo de estudio se denominará a este material MRBC ya que esta denominación abarca tanto su función más frecuente, que es la de trabajar como un relleno, como su consistencia que es tal vez la característica que hace más versátil a este material y que por lo general se le utiliza con un buen grado de fluidez.

#### **2.4. PROPIEDADES DE LAS MEZCLA DE MRBC**

Las propiedades de las mezclas MRBC dependen de los materiales y cantidades de estos con que se haga la mezcla, del diseño de la mezcla que se emplee y esta a su vez estará sujeta a las necesidades que el trabajo demande.

En países como Estados Unidos hay una gran variedad de rellenos fluidos o CLSM (como se les conoce en el lugar), esta variedad es debido a que se utiliza cenizas volantes (Fly ash,), este material es un residuo resultado de la producción del acero o de la combustión del carbón para producir electricidad, prácticas que en la región son muy escasas lo que no permite contar con este material en cantidades accesibles y suficientes.

Como sustitución de este material en regiones como las de Centro América y México se utilizan aditivos que incluyen aire a la mezcla en un rango entre el 6 al 25 % del volumen, esto permite hacer variaciones en el Peso Unitario de la mezcla, lo que da lugar a materiales con propiedades diferentes a los CLSM que se denominan rellenos fluidos con densidad controlada.

Para estudiar las propiedades de este material se dividirán en dos partes: Propiedades en estado fresco y en estado endurecido y los procedimientos y normas para determinarlos se tocarán a detalle más adelante.

Las propiedades del relleno fluido dependen del diseño de la mezcla que se emplee. Es una mezcla de cemento, agregado fino, algunas veces agregado grueso, agua y células de aire, generalmente incluidas entre 15 y 25% del volumen, en tanto en Estados Unidos, donde hay una mayor variedad de rellenos fluidos o CLSM como los conocen.

Los rellenos fluidos que no contienen aire presentan altas demandas de agua, mayor contracción, menor homogeneidad debido a una mayor tendencia a la segregación, y para ciertos niveles de resistencia muestran mayor dificultad para la excavación, aunque por otro lado en general tienen menor permeabilidad. La tecnología empleada en nuestro país para el diseño y la fabricación de rellenos fluidos generalmente brinda las mejores propiedades para la mayoría de las aplicaciones. Las propiedades que a continuación se mencionan son las que generalmente se toman en cuenta en nuestro país.

#### 2.4.1. Propiedades de estado fresco

Las propiedades relevantes al estado fresco están relacionadas con la facilidad de colocación, transportación, tiempo de fraguado y el peso unitario.

#### 2.4.1.1. Consistencia o fluidez

Permite que el relleno fluya, se autocompacte y autonivele, sin requerir la utilización de equipos como sucede con los materiales granulares que se colocan por capas y se compactan mecánicamente. Por lo tanto, la consistencia del relleno fluido puede variar desde plástica hasta fluida, el relleno de consistencia plástica cuyo rango de asentamiento recomendado está entre 15 y 20 cm. en el cono de Abrams, se coloca en las sub-bases y bases del pavimento que requieren pendientes cercanas a 2% para el manejo del agua en la superficie del pavimento, y el relleno de consistencia fluida que es auto-nivelante, el rango de asentamiento es superior a 20 cm. en el cono de Abrams y se aplica en zanjas<sup>8</sup> Sin embargo, se debe considerar que un relleno muy fluido ejerce una presión hidrostática; para evitarla, es mejor colocarlo en capas que se dejan endurecer antes de colocar la siguiente.

Existen diferentes métodos para determinar la consistencia o fluidez de los MRBC, que son: el cono de Abrams, el cono de flujo y el ensayo del flujo modificado<sup>9</sup>.

- Baja fluidez = 15 cm. o menos
- fluidez normal = entre 15 y 20 cm.
- Alta fluidez = superior a 20 cm.

---

<sup>8</sup> Jaramillo Porto, Diego; "Relleno Fluido. El nuevo material que reemplaza las bases granulares"; ASOCRETO, pp .64-68, Bogotá.

<sup>9</sup> Jofré, Carlos; "Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada"; Revista RUTASW 67,pp. 5-21,julio-Agosto, 1998; Madrid (España).

El ensayo con el cono de flujo según la norma ASTM C939 "Flujo de grout para concreto con agregados precolados", se utiliza en mezclas de consistencia fluida superior a 200mm. Y con un tamaño máximo de agregado grueso de 6.35mm. El tiempo recomendado en este método es de  $30 \pm 5$  segundos

El ensayo con el cono de Abrams se utiliza de acuerdo con lo especificado en la norma NTC 396 "Asentamiento de concreto de cemento portland", cuando la consistencia esperada es menor de 200 mm. y se enmarca dentro de los siguientes intervalos<sup>10</sup>

Comúnmente en nuestro país cuando se han utilizado mezcla MRBC se ha tomado la prueba de revenimiento con el cono de Abrams para medir el asentamiento de la mezcla, esto se ha tomado como una práctica aceptable para este material.

Pero es la norma ASTM D 6103<sup>11</sup> la que indica la forma de medir la consistencia del relleno fluido aunque por facilidad y accesibilidad se ha usado la prueba del cono de asentamiento que describe la norma ASTM- C 143<sup>12</sup>.

La consistencia o fluidez es una forma de medir la habilidad de los rellenos fluidos para ser colocado en los diferentes elementos según se necesite.

---

<sup>10</sup> NTC. Proyecto de norma técnica Colombiana "Especificaciones del relleno fluido", pp. 1-8, Bogotá.

<sup>11</sup> Norma ASTM D 6103 " Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (MBRC)"

<sup>12</sup> ASTM C143 "Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico"

La habilidad de fluir se incrementa con el contenido de agua y aire de una mezcla y disminuye con el incremento del contenido y tipo de agregados en la mezcla.

*Figura 2.1 Equipo utilizado para determinar el revenimiento de la mezcla*



#### 2.4.1.2. Contenido de aire

Los contenidos de aire superiores a 20% disminuyen significativamente la resistencia a la compresión y facilitan la re excavación de los rellenos.

*Figura 2.2 Equipo utilizado para determinar contenido de aire de la mezcla*



#### 2.4.1.3. Peso Unitario

La media se encuentra entre los 1,600 y 2,100 Kg/m<sup>3</sup>, aunque se pueden diseñar mezclas más ligeras según se requiera, debe tenerse en cuenta que esta característica va muy ligada a la resistencia que el material desarrolle ya que tiene una relación proporcional, es decir que a menos peso unitario, menos resistencia y de ser necesario una mayor resistencia el peso unitario aumentará.

Estos ajustes en la mezcla se logran por medio de adiciones químicas que funcionan como inclusores de aire al ser agregados a la mezcla, esto hace que el material se vuelva más o menos denso incluyendo cierto grado de porosidad microscópica en el material, usando un poco el sentido común se concluye que un material poroso no podrá desarrollar más resistencia a la compresión que un material más denso.

Esta propiedad es muy importante para el diseño y control de calidad de la mezcla, es válido recordar que estas mezclas son por lo general producidas en plantas de producción de concreto y despachadas en camiones mezcladores o mixers; estas plantas proporcionan los materiales por peso y son requeridas por el usuario final por volumen debido a que es más práctico obtener el volumen del elemento a llenar, la característica que relaciona un volumen (que es el dato que se conoce) con el peso (que el proveedor usará para producir la mezcla) es la densidad o “peso unitario”  $\rho$ .

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$\rho$ = densidad en Kg/cm<sup>2</sup>

M= masa en Kg

V= volumen en m<sup>3</sup>

Hay que tener presente que cuando se solicite un material de este tipo al proveedor junto con el volumen, se le debe especificar el peso por metro cúbico que se desee, o comentarle el servicio que se requiere que la mezcla preste para obtener el material adecuado para cubrir la necesidad.

#### 2.4.1.4. Flotabilidad

Típicamente la flotabilidad de un relleno fluido es tal que este debe ser depositado y se espera que migre bajo la gravedad o corrientes sin confinamiento. Sin embargo, si el material va a ser transportado bajo presión dentro de orificios más pequeños, su fluidez es elevada. La fluidez es una medida de la habilidad de los rellenos fluidos para fluir a través de aparatos cónicos de fluido estándar de

conformidad con el método de pruebas estándar ASTM Método de fluido Cónico C-939<sup>13</sup>. Un “Asentamiento” es medido conforme con el ASTM C 143<sup>14</sup>, que da resultados en el rango de 4 a 6 pulgadas (10 a 15 cms) o menos, proveerá un material que permanecerá en su sitio; mientras que un asentamiento de 7 a 10 pulgadas (18 a 26 cm) o más, proveerá un material que fluirá a través de largas distancias desde su punto de descarga, penetrando en grietas finas y encapsulando. Cualquier cosa en su recorrido. La habilidad para fluir aumenta con el contenido de agua y disminuye con el contenido de agregados. El relleno fluido ha demostrado tener buenas condiciones para ser colocado en lugares con presencia de agua, esta será desplazada gradualmente hacia arriba mientras el material llena el elemento sin sufrir cambios significativos en las propiedades de la mezcla.

*Figura 2.3 Método para determinar la extensibilidad de la mezcla*



---

<sup>13</sup> ASTM C939 / C939M “Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)” traducido al español como “flujo de Grout para Concreto de Agregado Precolocado (Método del Cono de Flujo)”

<sup>14</sup> ASTM C143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”

## 2.4.2. Propiedades en estado endurecido.

En este estudio se dividió en dos partes las propiedades de los rellenos fluidos, se considera importante hacer esta diferenciación ya que el diseño de una mezcla de este tipo debe satisfacer requerimientos específicos en cada una de estas dos etapas. Se deja a criterio del lector ubicar la propiedad de desarrollo de la resistencia, ya que es esta característica la que define el cambio entre ambos estados.

### 2.4.2.1. Características de contracción por secado.

Un relleno fluido desarrolla una resistencia sobre el tiempo, y sus características de contracción por secado y compresibilidad mejoran con este. El departamento de pruebas de transporte de Iowa ha indicado que una subsidencia potencial de 1/8 de pulgada (3.175 mm.) por pie lineal vertical es aceptable. La contracción por secado que ocurrirá una vez el relleno fluido se haya asentado es despreciable.

### 2.4.2.2. Excavabilidad

Las mezclas MRBC pueden ser excavable o no, de acuerdo con las especificaciones y requerimientos del proyecto. Para rellenos fluidos con masa unitaria entre 1600 y 1900, que contengan células de aire incluidas, se puede usar la tabla como una forma práctica de conocer el grado de excavabilidad.

*Tabla 2.1 Datos de resistencia a compresión en relación a la excavabilidad<sup>15</sup>*

<b>Resistencia a compresión Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Excavabilidad</b>
Menor a 10	Excavable a mano (pico y pala)
Entre 10 y 30	Excavable con retroexcavadora
Mayor a 30	No excavable (fácil de demoler)

#### 2.4.2.3. Permeabilidad

La permeabilidad de la mayoría de los rellenos con MBRC son similares la de los rellenos granulares compactados. Los valores típicos están en el rango de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s MBRC con mayor fuerza pueden lograr permeabilidades tan bajas como  $10^{-7}$  cm/s. Se aumenta la permeabilidad a medida que se reducen los contenidos de cemento y el contenido de agregados se incrementa. Sin embargo, los materiales utilizados normalmente para la reducción de permeabilidad, tales como arcilla bentonita, pueden afectar a otras propiedades y deben someterse a prueba antes de su uso.

Nótese que en un laboratorio son medidas las mejores muestras de continuidad posible. Frecuentemente la discontinuidad ocurrirá en aplicaciones de campo con la formación de grietas por encogimiento, lo cual puede afectar la permeabilidad efectiva por varios órdenes de magnitud.

---

<sup>15</sup> Tabla 2.1 tomada del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Tomado de Revista ISCYC N° 208 septiembre 2005.

#### 2.4.2.4. Resistencia

Para determinar la capacidad que tiene el relleno fluido de distribuir cargas, se realiza el ensayo de resistencia a compresión, la cual debe estar entre 20 y 85 kg/cm<sup>2</sup> para sub-base y bases de pavimentos<sup>16</sup>. Según González<sup>17</sup> y Alonso, la resistencia a la compresión de una Sub-base debe estar entre 7 y 14 kg/cm<sup>2</sup> con un valor relativo de soporte (VRS) igual o superior a 50% y la resistencia de las bases está entre 15 y 25 kg/cm<sup>2</sup> con un valor relativo de soporte (VRS) igual o superior a 80%<sup>18</sup>. Se permite el uso de un relleno fluido de 85 kg/cm<sup>2</sup> en aquellos sitios donde se presume que no se hará una excavación futura, como puede ser el caso de un relleno estructural bajo excavaciones. En los MRBC se debe controlar que la resistencia a largo plazo no alcance un valor alto, para que pueda ser re-excavado posteriormente en caso necesario.

En los suelos granulares, una resistencia de 50 kg/cm<sup>2</sup> es elevada, ya que la capacidad portante de un suelo granular bien compactado tiene una resistencia a la compresión de 6 a 8 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que un relleno fluido su resistencia a la compresión máxima especificada es de 85 kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia del relleno también afecta a los coeficientes estructurales (capacidad relativa de bases y

---

<sup>16</sup> Jaramillo Porto, Diego; "Relleno Fluido. Características, propiedades, experiencias"; Asociación Colombiana de productores de concreto: ASOCRETO, En: Seminario hablemos en concreto sobre pavimentos; pp. 1-21, 1999, Bogotá.

<sup>17</sup> González, Carlos Hernán; "Caracterización del relleno fluido usado como alternativa de remplazo de bases y sub-bases granulares"; Concretos Diamante - Samper; En: XII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de pavimentos; pp. 17-1a al 17-14; julio 4 al 16, 1999, Medellín.

<sup>18</sup> Rodríguez, José; "Aplicación en vías urbanas. Hormigón ligero para relleno de zanjas": GRASE, S.A.; pp. 179-181, Madrid.

sub-bases) que oscilan entre 0.16 y 0.28 para una resistencia a la compresión desde 28 - 84 kg/cm<sup>2</sup>.

En consecuencia, la resistencia del relleno fluido puede ser igual o superior a la del material granular compactado de la sub-base y base de un pavimento. El relleno fluido con una resistencia menor o igual a la del material granular que se desea cambiar, se puede colocar en aquellos casos en que se deban mantener los espesores de diseño, y un relleno fluido de mayor resistencia a la del material granular que se va cambiar, se coloca en el caso que se requiera disminuir los espesores de excavación. Para el cálculo del espesor de una placa de relleno fluido se deben considerar: las cargas de tránsito, CBR, nivel freático, la resistencia.

*Figura 2.4 Maquina empleada para la ruptura de cilindros a compresión*



Una capacidad de soporte de 0.5 Mpa es similar a la de un relleno de tierra con una capacidad de resistencia de aproximadamente 70 kg/cm<sup>2</sup>.

En clima caliente, el tiempo para soportar el peso de una persona es de 5 a 8 horas y para soportar las cargas del tráfico es de 24 a 36 horas<sup>19</sup>.

#### 2.4.2.5. Módulo de rotura ( $M_r$ )

En el caso de la resistencia a la flexión del relleno fluido, se ha encontrado que los valores pueden variar entre 10 Y 20% de la resistencia a la compresión. El valor del módulo de rotura para el relleno fluido, se puede estimar con la siguiente ecuación.

$$M_r = 0.14 * (f'c)^{20}$$

Donde:

$f'c$  = Resistencia a la compresión del relleno fluido (kg/cm<sup>2</sup>).

#### 2.4.2.6. Módulo de elasticidad ( $M_e$ )

Según González los valores del módulo de elasticidad para Sub-bases y bases en relleno fluido se encuentran entre 16000 y 67000 kg/cm<sup>2</sup>, se miden en cilindros de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura y se puede aproximar mediante la siguiente expresión, que es válida para determinar 'el módulo de elasticidad de rellenos fluidos con densidades entre 1750 y 1950 kg/m<sup>3</sup>.

$$M_e = 10235\sqrt{f'c}$$

Donde:

$f'c$  = Resistencia la compresión del relleno fluido (kg/cm<sup>2</sup>).

---

<sup>19</sup> CODEP-SOCORSALTDA.; "Fabricación de elementos para la industria de la construcción"; Representantes del aditivo Darafill, pp. 1-9, Bogotá.

<sup>20</sup>CEMEX; "Relleno fluido"; En: Revista Construcción y Tecnología W 147, Volumen 13, pp. 1-4, México.

#### 2.4.2.7. Módulo dinámico (E)

Según González los valores del módulo dinámico para sub-bases y bases en relleno fluido se determina conforme con la norma ASTM C 469, pero debido a la complejidad del equipo pocas veces se realiza, por lo cual son más utilizadas las correlaciones basadas en la resistencia a la compresión y tracción que se calcula con las siguientes ecuaciones<sup>21</sup>:

$$E = 57000\sqrt{f'c} \quad , \text{para esfuerzos de compresión}$$

$$E = 6,670(M_r) \quad , \text{para esfuerzos a tracción.}$$

Donde:

$f'c$  = Resistencia a la compresión del relleno fluido (psi).

$M_r$  = Módulo de rotura (psi).

#### 2.4.2.8. Resistencia al congelamiento

La prueba de resistencia al congelamiento puede, o no ser apropiada para algunas aplicaciones o localidades de la mayor parte del país. Si una mezcla de relleno fluido es utilizada bajo la línea de penetración del congelamiento, esta prueba no es aplicable. Es una medida de la habilidad del material a resistir los cambios climáticos sobre el tiempo sin pérdida en la resistencia.

---

<sup>21</sup> González, Carlos Hernán; "Caracterización del relleno fluido usado como alternativa de remplazo de bases y sub-bases granulares"; Concretos Diamante - Samper; En: XII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de pavimentos; pp. 17-1al 17-14; julio 4 al 16, 1999, Medellín

La durabilidad del gradiente de congelamiento es frecuentemente evaluada por medio de la prueba de saturación de aspirado descrita de acuerdo a la especificación estándar ASTM (C593)<sup>22</sup> para cenizas volantes y otros materiales puzolanicos para su uso con cal. Para una composición base de camino, se prefiere un criterio de resistencia mínima de 400 psi (2.7 MPa) después del saturado de aspiración según recomendaciones de la American Stone Mix Inc.<sup>23</sup>.

#### 2.4.2.9. Pruebas de capacidad soporte (CBR) o valor relativo de soporte (VRS)

El diseño de pavimentos tiene como objetivo proteger la sub-rasante de los esfuerzos causados por la carga del tráfico, principalmente de los vehículos pesados. Esa protección se suministra por medio de una estructura compuesta por varias capas de materiales con las propiedades físico-mecánicas que garanticen el desempeño del pavimento en el período de diseño, ante las cargas y los agentes ambientales. Para la selección adecuada de la estructura del pavimento se requiere conocer la capacidad de soporte de la sub-rasante, es decir mientras su capacidad de soporte sea menor, mayor protección (espesor de pavimento) será requerida. La correcta evaluación de la sub-rasante, y de las capas de la estructura del pavimento existente en el caso de las rehabilitaciones o reconstrucciones, es uno de los aspectos claves del proceso de diseño. De la

---

<sup>22</sup> Norma ASTM (C593) "Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime for Soil Stabilization" traducción al español "Especificación Estándar para Cenizas volantes y Pozolanas para Uso con Cal para la Estabilización del Suelo".

<sup>23</sup> American Stone-Mix, Inc. Physical Properties of FLO-ASH. Product Brochure, Towson, Maryland.

evaluación depende que las obras no sean sub diseñadas y fallen prematuramente, o lo contrario, que sean sobre diseñadas incrementando los costos de construcción de forma innecesaria.

Para medir la capacidad de soporte de un material como el relleno fluido hay varias pruebas, la más adecuada puede ser la Prueba de Plato Estático; lastimosamente en el medio no es una prueba muy conocida y no hay acceso al equipo necesario para hacerla. La prueba de CBR (California Bearing Ratio) es generalmente la prueba que determina la resistencia de la capacidad de un suelo para soportar cargas, esta se efectúa en el sitio donde el material es colocado. Este valor es superior a 100% a los siete días (según el contenido de cemento) de haber colocado el relleno fluido. Pero según González el valor Relativo de soporte (VRS) de una sub-base debe ser igual o superior a 50% y la de la base igualo superior a 80%, dependiendo de las condiciones del tránsito. La correlación entre el valor relativo de soporte y la resistencia a la compresión del relleno fluido, se puede calcular mediante la expresión:

$$VRS = 2.377(f'c) + 30.25 \quad ^{24}$$

Donde:

$f'c$  = Resistencia a la compresión del relleno fluido(kg/cm<sup>2</sup>).

---

<sup>24</sup> CEMEX; "Relleno fluido"; En: Revista Construcción y Tecnología W 147, Volumen 13, pp. 1-4, México.

## 2.5. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS MRBC

Existen varios puntos de vista para clasificar este material, se le puede clasificar por el tipo de uso que tendrá, por si va a ser removido o no en el futuro, por la cantidad de esfuerzo que se requiera para removerlo, por el tiempo de secado, por cantidad de aire incluido, por su consistencia, por su resistencia a la compresión, por su capacidad de soporte de carga. Sin temor a equivocaciones la principal clasificación para este material la determina la resistencia que logre desarrollar, usualmente medida con pruebas de resistencia a los 28 días de edad (por contener materiales cementíceos), el American Concrete Institute (ACI) presenta una clasificación que ordena siete clases de mezclas relacionando rangos de densidad del material ya seco con una compresión mínima a los 28 días de edad, esta clasificación se presenta a continuación:

*Tabla 2.2 Clasificación de Rellenos Fluidos por densidad y resistencia*<sup>25</sup>

<b>Clase</b>	<b>Densidad en servicio Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Compresión mínima Kg/cm<sup>2</sup></b>
I	288-384	0.70
II	384-480	2.81
III	480-536	5.62
IV	536-673	8.44
V	673-800	11.25
VI	800-1281	22.50
VII	1281-1922	35.16

<sup>25</sup> Tabla 2.2. Clasificación de Rellenos Fluidos por densidad y resistencia fueron tomada del comité ACI229R Materiales de baja resistencia controlada.

A continuación, se presentan clasificaciones de diferentes aspectos evaluados:

*Tabla 2.3 Clasificación por Consistencia de la mezcla*<sup>26</sup>

<b>Grado de fluidez</b>	<b>Rango de asentamiento cm (pulg.)</b>	<b>Tipo de aplicación</b>
Bajo	Menos de 15 (6.0)	Colocación en pendientes
Mediano	15 a 20 (6 a 8)	Nivelación manual
Alto	20 a 53 de diámetro *	Auto nivelante

\*después de los 20 cm de asentamiento se mide el diámetro dibujado por la mezcla (prueba de cono invertido)

*Tabla 2.4 Clasificación por excavabilidad*<sup>27</sup>

<b>Resistencia Kg/cm<sup>2</sup> (Psi)</b>	<b>Equipo de excavación</b>	<b>Clasificación ACI</b>
Menor a 7 (20)	Excavación manual	I,II,III
7 a 21 (20 a300)	Retroexcavadora	IV,V
21 o mayor	Aserrado y demolición	VI,VII

*Tabla 2.5 Clasificación por tiempo de fraguado*<sup>28</sup>

<b>Fraguado inicial</b>	<b>Tiempo en hrs</b>	<b>Usos</b>
Acelerado	Menos de 3	Pendientes, climas fríos ahorro de tiempo
Normal	3 a 4	Relleno de zanjas, oquedades
Retardado	4 o mas	Climas cálidos grandes volúmenes

<sup>26</sup> Tabla 2.3 Clasificación por Consistencia de la mezcla Tomada del American Concrete Institute ACI.

<sup>27</sup> Tabla 2.4 clasificación por excavabilidad Tomada del American Concrete Institute ACI.

<sup>28</sup> Tabla 2.5 clasificación por excavabilidad Tomada del American Concrete Institute ACI

## **2.6. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LAS MEZCLAS MRBC.**

Las mezclas de rellenos fluidos convencionales usualmente consisten de agua, ligante (Cemento Portland, cal o la combinación de ambos), agregados finos, en ocasiones agregados gruesos, espuma preformada y aditivos. Aunque los materiales usados en los rellenos fluidos cumplan con los requerimientos de los estándares ASTM o con los otros estándares, el uso de materiales estandarizados no siempre es necesario. La selección de materiales debe basarse en la disponibilidad en el lugar, costo, especificaciones de la aplicación y las características necesarias de la mezcla, incluyendo fluidez, resistencia, excavabilidad, densidad.

### **2.6.1. Cemento**

El cemento provee la cohesión y la resistencia para los rellenos fluidos. Para la mayoría de las aplicaciones normalmente se utiliza Cemento Portland Tipo I o Tipo II conforme a las especificaciones ASTM C 150<sup>29</sup>. Otros tipos de cemento, incluyendo los cementos mezclados o con adiciones, conforme a la especificación ASTM C 595<sup>30</sup>, pueden ser utilizados si pruebas previas indican resultados aceptables.

---

<sup>29</sup> Norma ASTM C-150 "Especificaciones estándar para Cemento Portland"

<sup>30</sup> Norma ASTM C-595 "Especificaciones estándar para mezclas de cementos Hidráulicos"

### 2.6.2. Agregados

Los agregados constituyen el componente mayor en la mezcla de rellenos fluidos. El tipo, granulometría y forma de los agregados pueden afectar las propiedades físicas como fluidez, auto-colocación y resistencia a la compresión. Los agregados que cumplen con la ASTM C 33<sup>31</sup> pueden ser utilizados debido a que los productores de concreto mantienen existencia con control de calidad de estos materiales, esta norma no debe tomarse como una regla pero puede servir de guía.

Los materiales de excavación granular con propiedades de calidad menores que las de los agregados para concreto son una fuente potencial de materiales para rellenos fluidos y deberían ser considerados. Sin embargo, las variaciones de las propiedades físicas de estos componentes tendrán un efecto significativo en el rendimiento de la mezcla. Los agregados finos con un máximo del 20 por ciento de lodos que pase el tamiz 200 han dado resultados satisfactorios.

También suelos con amplias variaciones en sus granulometrías han demostrado ser efectivas. Sin embargo, los suelos con arcillas finas han mostrado problemas de mezclado incompleto, formación de grumos en la mezcla, excesiva demanda de agua, contracción volumétrica y variaciones en la resistencia por lo que su uso no es recomendado. Los agregados que han sido utilizados con éxito incluyen:

---

<sup>31</sup> Norma ASTM C-33 "Especificación Normalizada de Agregados para Concreto"

- Agregados especificados en la ASTM C 33 dentro de la granulometría especificada.
- Gravilla fina con arena.
- Agregado menor a  $\frac{3}{4}$  pulg. con arena.
- Suelos de arena del lugar, con más del 10 por ciento que pase el tamiz 200.
- Productos de desperdicio de cantera, generalmente agregados menores a  $\frac{3}{8}$  pulg.
- Selecto, nombre que en el medio se le da a la grava arcillosa.

Para la elaboración de mezclas MRBC se recomienda usar los agregados que estén accesibles al lugar de colocación o fabricación.

Por lo general se utilizan arenas, gravas trituradas, selecto, etcétera; en ocasiones se puede incluso usar el mismo material que se obtiene en el corte de un terreno si cumple con requisitos especificados.

La siguiente tabla presenta rangos recomendados de granulometría para el agregado fino para rellenos fluidos.

*Tabla 2.6 Graduación para agregado fino para rellenos fluidos<sup>32</sup>*

<b>Tamiz No</b>	<b>% que pasa recomendado</b>	<b>% que pasa (ASTM C-33)</b>
3/8"	100	100
4		95---100
8	90---100	80---100
16	60---100	50---85
30	45---80	25---90
50	12---50	10---30
100	5---25	2---15
200	0---10	0---5

### 2.6.3. Cenizas volantes

Algunas veces son utilizados materiales tales como las cenizas volantes, las cuales son obtenidas del producto residual de la quema del carbón natural o escoria del proceso de la fundición del hierro, para mejorar la fluidez en los rellenos fluidos. Su uso podría incrementar la resistencia y reducir la exudación, contracciones y permeabilidad.

Las mezclas con alto contenido de cenizas volantes tienen como resultado relleno fluidos con menor densidad cuando se compara con otras mezclas con alto contenido de agregados. La mayoría de cenizas volantes utilizadas en rellenos fluidos son las que se describen en la ASTM C 618<sup>33</sup> y cumplen con las

<sup>32</sup> Tabla 2.6 tomada de Norma ASTM C-33 "Especificación estándar de agregados para concreto"

<sup>33</sup> ASTM C-618 "Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete".

clasificaciones C o F. Sin embargo, también pueden ser utilizadas las cenizas volantes que no cumplan con estas especificaciones. Las cenizas volantes clase C son utilizadas en cantidades de hasta 207 kg/m<sup>3</sup>.

Las cenizas volantes clase F van desde cero hasta 1,187 kg/m<sup>3</sup>, sirviendo como un agregado de relleno. La cantidad de cenizas volantes a utilizar será determinada por las necesidades de disponibilidad y fluidez del proyecto. En todos los casos, indistintamente de si las cenizas volantes cumplen o no con las especificaciones del ASTM C 618, deben prepararse mezclas de prueba para determinar si la mezcla cumple con los requerimientos especificados.

#### 2.6.4. Agua

El agua que es aceptable para mezclas de concreto también es aceptable para mezclas de rellenos fluidos. La norma ASTM C 94<sup>34</sup> provee información adicional sobre los requerimientos de calidad del agua. Se utiliza mayores cantidades de agua en rellenos fluidos que en concreto.

El agua sirve como un lubricante para proveer características de alta fluidez y promover la consolidación de materiales. Los contenidos de agua típicamente van desde 193 hasta 344 kg/m<sup>3</sup> para la mayoría de rellenos fluidos con contenidos de agregados. El contenido de agua para mezclas de cenizas volantes clase F y cemento puede ser de hasta 594 kg. /m<sup>3</sup> para alcanzar una

---

<sup>34</sup> ASTM C-94 "Specifications for Ready-Mixed Concrete"

buena fluidez. Este rango tan amplio se debe principalmente a las características de los materiales utilizados en rellenos fluidos y del grado de fluidez deseada. Los contenidos de agua serán mayores en mezclas con agregados finos.

### 2.6.5. Aditivos

#### 2.6.5.1. Espuma preformada

Se define a la espuma preformada como un aditivo el cual se aplica combinado con el agua de la mezcla, esta mezcla debe hacerse con aire comprimido y es aplicada por una unidad de mezclado o generador de espuma, con esto se logra expandir 20 veces la mezcla formando una micro burbuja de espuma estable.

El concentrado de espuma debe tener una composición química capaz de producir células de aire estables, que resistan las fuerzas físicas y químicas durante el mezclado, colocación y asentamiento del relleno fluido.

Sí la estructura molecular no es estable se tendrá por resultado un incremento no uniforme en la densidad. Los procedimientos para evaluar los concentrados de espuma están especificados en la ASTM C 796<sup>35</sup> y en la ASTM C 869<sup>36</sup>. Se encuentran productos que hacen estas funciones, es el caso de Rheocell 30, este producto ofrece un índice de expansión de 20 a 25 veces el volumen de la Mezcla resultante de diluir dicho producto en agua en proporciones de 1 a 20 o hasta 40

---

<sup>35</sup> ASTM C-796 "Test Method of Testing Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam".

<sup>36</sup> ASTM C-869 "Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete".

partes de agua dependiendo de la aplicación. Para la aplicación de este producto es necesario contar con equipo especial que inyecte presión a la mezcla de agua y aditivo en el orden de los 30 psi.

#### 2.6.5.2. Adiciones a la mezcla

También es posible encontrar en el mercado otro tipo de productos con los que se logran los contenidos de aire sin necesitar equipo especial para su aplicación tal es el caso de SikaLightcrete aditivo líquido que actúa como agente espumante para la elaboración de concretos celulares y rellenos fluidos y no necesita de ningún equipo especial para su aplicación únicamente un tiempo de mezcla adecuado.

Rheosell Rheofill, este es un producto en polvo con presentaciones en sacos pequeños para su aplicación por yarda cúbica, en nuestro medio se acostumbra trabajar por metro cúbico así que se debe hacer la conversión para dosificar adecuadamente el producto ( $1 \text{ yd}^3 = 0.7645 \text{ m}^3$ ).

En la aplicación de cada uno de estos productos son necesarias las pruebas de laboratorio y de campo ya que los materiales (agregados finos y gruesos) con los que podemos fabricar los rellenos fluidos variarían según nuestra ubicación, necesidad, disponibilidad y costo; estas variantes definitivamente afectarán el comportamiento de los aditivos y es por el método de ensayo y error que se puede determinar la forma óptima de su aplicación. Características como la fluidez y la ganancia de resistencias tempranas se pueden lograr con ayuda de

otro tipo de aditivos con la previa revisión de la compatibilidad entre los aditivos a usar (sinergia).

#### 2.6.6. Materiales no estandarizados.

Los materiales no-estándar, los cuales suelen estar disponibles y son más económicos, también pueden ser utilizados en mezclas de rellenos fluidos dependiendo de los requerimientos del proyecto. Sin embargo, estos materiales deben ser probados antes de su uso para determinar su aceptabilidad en mezclas de rellenos fluidos.

Algunos ejemplos de materiales no-estándar que podrían ser adecuados como agregados par rellenos fluidos incluyen cenizas de fondo producto del proceso de combustión del carbón, residuos de arena cernida, ripio de concreto rechazado.

Debe evitarse el uso de agregados o mezclas que se hinchen en servicio como la arcilla debido a reacciones expansivas, aunque estas pueden ser estabilizadas incluyendo cal en la mezcla. Las cenizas volantes con contenidos de carbón de hasta un 22 por ciento han sido utilizadas con éxito en rellenos fluidos, en este trabajo no se profundizará en el tema de las cenizas volantes debido a lo escaso de este material en el medio.

El material resultante como desecho después de cernir la arena que se utiliza para los trabajos de albañilería, es un buen material para ser usado en los

rellenos fluidos, esto es un dato importante ya que siempre hay presencia de este “cascajo” en las obras o en las trituradoras que deben cernir o tamizar la arena para proporcionar un material uniforme y de calidad, esta situación deja la oportunidad de aprovechar un material de desecho y de obtenerlo a un precio razonable. En todos los casos, deben determinarse las características de los materiales no-estándar y debe probarse que los mismos son adecuados y cumplen con los requerimientos especificados del relleno fluido. Uno de los objetivos de este trabajo es proporcionar un listado de materiales accesibles que puedan ser utilizados para elaborar rellenos fluidos, por su accesibilidad y por ser comúnmente conocidos este listado se podría limitar a los materiales siguientes:

- Arenas de río o trituradas
- Grava de 0.6 a 2.54 centímetros
- Cascajo (sobrante del cernido de arena)
- Base tritura
- Selecto

Sin embargo, esta lista limitaría mucho el uso de otros materiales que se pueden utilizar y que están presentes en el medio, y debido a los diferentes nombres que puede recibir un mismo material en diferentes regiones del país, se mencionarán los métodos de clasificación de suelos para poder identificar los materiales.

## 2.7. SISTEMAS DE CLASIFICACION DE SUELOS

Los sistemas de clasificación generan un lenguaje común para expresar, en forma concisa, características generales de los suelos, las cuales pueden ser infinitamente variadas sin descripciones complejamente detalladas. Los suelos que contienen propiedades similares se clasifican en grupos y subgrupos basados en su comportamiento.

Existen dos sistemas de clasificación de suelos utilizados por los ingenieros de suelos, los cuales usan la distribución por tamaño de grano y plasticidad de los suelos: Sistema AASHTO y Sistema Unificado ASTM. En nuestra investigación los análisis de suelos se ejecutarán mediante el Método de clasificación de suelos del Sistema AASHTO.

### 2.7.1. Sistema AASTHO

Sistema utilizado principalmente por los departamentos de caminos. Desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos. Desde sus orígenes ha sufrido varias revisiones, con la versión actualizada (1945) por el Comité para la Clasificación de Materiales para Sub-rasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras (Prueba D-3282 de la ASTM<sup>37</sup>; método AASHTO M145<sup>38</sup>).

---

<sup>37</sup> Norma ASTM D-3282.

<sup>38</sup> AASHTO M-145 "Clasificación de suelos".

De acuerdo con el Sistema de Clasificación AASHTO actualmente en uso, el suelo se clasifica en siete grupos mayores del A-1 al A-7 dentro de la clasificación de los primeros tres grupos (A-1 al A-3) son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. El resto de suelos (A-4 al A-7) son los que más del 35% pasan por el tamiz No.200. En su mayoría estos últimos están formados por materiales tipo limo y arcilla. Si se considera usar un material ubicado según esta clasificación se recomienda que el contenido de limo y arcilla no exceda del 20% ya que pruebas han demostrado que estos materiales en porcentajes mayores dan problemas de contracción y homogeneidad en la mezcla basándose en la composición granulométrica, en el límite líquido y el Índice de plasticidad de un suelo (ver graf.2.1). La evaluación de cada grupo, se hace por medio de su "Índice de grupo", el cual es calculado mediante la fórmula empírica siguiente:

$$I_G = [F - 35][0.20 + 0.005(LL - 40)] + [0.01(F - 15)(IP - 10)]$$

F:=Porcentaje que pasa el tamiz N° 200, (75 > F > 35)

F': " " " (55 > F > 15)

LL: Límite líquido, (60 > LL > 40)

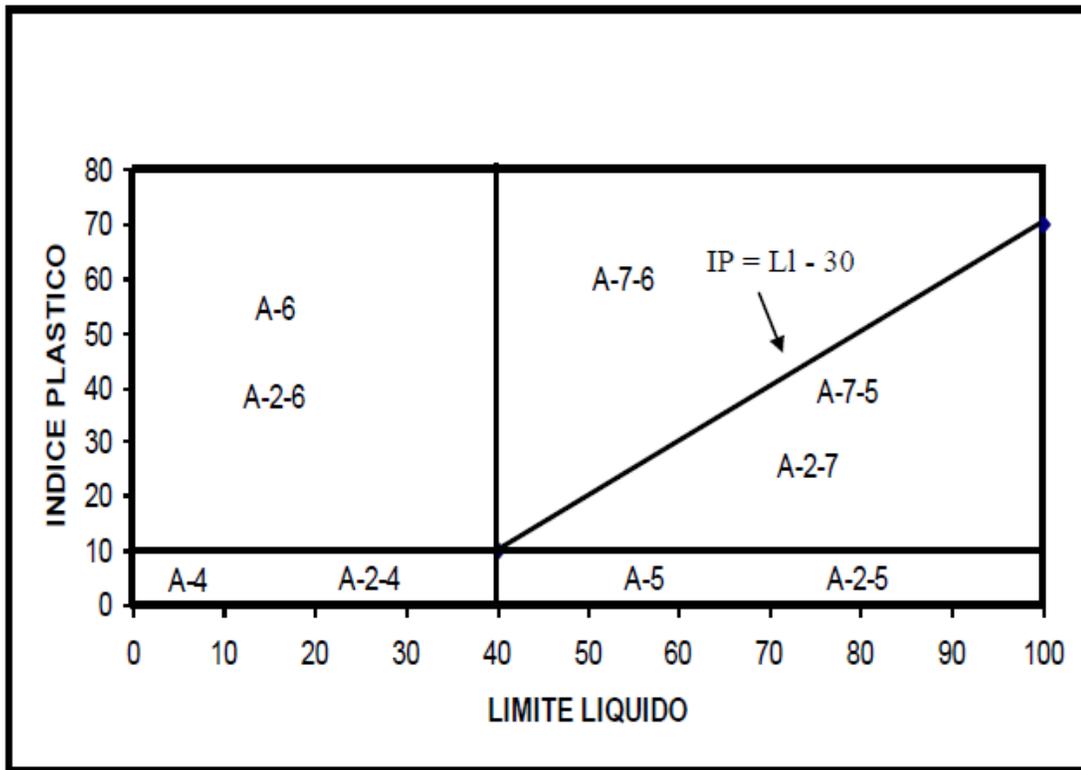
IP: Índice de plasticidad (30 > IP > 10)

I<sub>G</sub>: Índice de grupo

Esta clasificación divide los suelos en dos grupos:

- Suelos granulares y
- Suelos de granulometría fina.

Figura 2.5 Carta de Plasticidad AASTHO



#### 2.7.1.1. Suelos granulares:

Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el matiz N°200 (0.075 mm). Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 Y A-3.

GRUPO A-1: Comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedra, grava, arena y material poco plástico; y aquellas mezclas bien graduadas sin material ligante.

Sub-grupo A-1a: Son aquellos suelos formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante.

Sub- grupo A-1b: Son aquellos suelos formados predominantemente por arenas gruesas y con, o sin, material ligante bien graduado.

GRUPO A-2: Incluye una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% de material fino.

Sub-grupos A-2-4 Y A-2-5, Son aquellos materiales cuyo contenido fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz N° 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A-5, respectivamente. Estos suelos incluyen los suelos gravosos y arenosos (arena gruesa), que tenga hasta un 35% de limo, Incluye las arenas finas con un contenido no plástico en exceso al indicado en el grupo A-3.

Sub-grupos A-2-6 Y A-2-7, los suelos de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz N° 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7, respectivamente.

GRUPO A-3. Estos suelos son las arenas finas, de playa y aquellas con pocos finos no plásticos. Este grupo incluye, además las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

### 2.7.1.2. Suelos finos

Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz N°200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

GRUPO A-4: Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plástico, que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz N° 200, además, se incluyen en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta un 64%.

GRUPO A-5: Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo, son plásticos y tienen un límite líquido elevado.

GRUPO A-6: Este suelo es la arcilla plástica, por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz N° 200, pero se incluyen también las mezclas arcilla-arenosa cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior en un 64%. Estos materiales presentan, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

GRUPO A-7: Son semejantes a los del grupo A-6; pero son plásticos. Sus límites líquidos son elevados.

Sub-grupo A-7-5: Incluye aquellos suelos cuyos IP no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Sub-grupo A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos Índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además experimentan cambios de volumen muy grandes entre sus estados “seco” y “húmedo”.

Tabla 2.7 Para clasificar suelos en el sistema AASTHO<sup>39</sup>

CLASIFICACIÓN GENERAL	MATERIALES GRANULARES MENOS DE 35% PASA LA N° 200						LIMOS Y ARCILLAS MAS 35% PASA N° 200				
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
CLASIFICACIÓN DE GRUPO	A-1-a b	A-1-		A.2.4	A.2.5	A.2.6	A.2.7				A.7.5
% DE MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N° 10	50 max										
N° 40	30 max	max									
N° 200	50max										A-7-6
N° 40	15 max	25	51 min								
N° 200	max		10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
PLASTICIDAD DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 40											
LIMITE LIQUIDO	6 max	6		40 max	41 min	40 max	41 min	41 min	40 max	41 min	41 min
PLÁSTICO	max	NP		10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 min	10 max	11 min
INDICE DE GRUPO	0										
	0		0	0	0	4 max	4 max	8 max	12 max	16 max	20 max

## 2.8. VENTAJAS DE LAS MEZCLAS MRBC.

Las propiedades mencionadas hablan de las ventajas del relleno fluido, que se enlistan en la siguiente tabla, la cual corresponde a la traducción de la tabla de ventajas citada en el reporte del Comité ACI 229R-99. Controlled Low-Strength Materials.

<sup>39</sup> Tomado De Carreteras Calles Y Aeropistas, Raúl Valle De Rodas

*Tabla 2.8 Ventaja de mezclas MRBC<sup>40</sup>*

Disponibilidad	Usándose localmente hay disponibilidad de materiales, los productores de concreto premezclado pueden producir CLSM cumpliendo las especificaciones de la mayoría de los proyectos.
Factibilidad de entrega	Los camiones mezcladores pueden entregar las cantidades especificadas de CLSM en la obra, cuando sea necesario.
Facilidad de colocación	Dependiendo del tipo y localización del vacío a rellenar, el CLSM puede ser colocado directamente desde el canalón, bombearse. El CLSM es autonivelante y requiere poca o nula compactación. Esto incrementa la velocidad de construcción y reduce los requerimientos de mano de obra.
Versatilidad	Las mezclas de CLSM pueden ser ajustadas para cumplir con requerimientos específicos de llenado. Las mezclas pueden ajustarse para mejorar la fluidez. Más cemento o fly ash puede adicionarse para incrementar la resistencia. Pueden adicionarse aditivos, para modificar los tiempos de fraguado y otras características. Adicionando agentes espumantes al CLSM se producen rellenos ligeros y aislantes.

<sup>40</sup> Los datos de la tabla 2.8.1. fueron tomados del comité ACI229R "Materiales de baja resistencia controlada"

Resistencia y durabilidad.	La capacidad de carga de los CLSM es generalmente mayor que la de los suelos compactados o rellenos granulares. El CLSM también es menos permeable, así que es más resistente a la abrasión. Para su uso como relleno permanente el CLSM puede ser diseñado para alcanzar hasta 8.3 MPa (1200 psi).
Permite una rápida apertura al tráfico.	Debido a que muchos CLSM son colocados rápidamente y soportan las cargas del tráfico dentro de pocas horas, el tiempo de reparación de pavimentos es mínimo.
No presenta asentamientos	El CLMS no forma oquedades durante su colocación y no sufre asentamientos o roderas bajo la aplicación de las cargas. Esta ventaja es especialmente significativa si el relleno va ser cubierto por una reparación del pavimento. Los suelos o rellenos granulares, si no son compactados adecuadamente pueden asentarse posteriormente a la colocación del pavimento, formando grietas o hundimientos en el camino.
Reduce costos de excavación	El CLSM permite zanjas más angostas, debido a que no se requieren mayores anchos para el equipo de compactación.
Mejora la seguridad de los trabajadores	Los trabajadores pueden colocar el CLSM en la zanja, sin entrar a ella, reduciendo su exposición a posibles derrumbes.

Permite la construcción en cualquier clima	El CLSM generalmente desplazará cualquier estancamiento de agua en la zanja debidos a lluvia o derretimiento de nieve, reduciendo la necesidad de bombas. Para colocar el CLSM los materiales pueden ser calentados usando los métodos para concreto premezclado.
Puede ser excavado	Los CLSM con resistencias a compresión de 0.3 a 0.7 MPa puede ser excavado con equipo convencional y sigue siendo lo suficientemente resistente para la mayoría de los requerimientos de un relleno.
Requiere menos Supervisión	Durante la colocación, los rellenos deben ser evaluados después de cada capa. En lo referente a la compactación, el CLSM es autocompactable y no requiere de estas pruebas en campo.
Reduce las necesidades de equipo	A diferencia de los suelos o rellenos granulares, el CLSM puede ser colocado sin cargadores, rodillos o pisones.
No requiere Almacenamiento	Debido a que los camiones revolvedores entregan las convenientes, no es necesario almacenar el material.
Hace uso de un material producto de la combustión del carbón	La ceniza volante es un subproducto de las plantas que queman el carbón para generar electricidad. El CLSM que contiene ceniza volante brinda un beneficio ambiental haciendo uso de este producto.

## **2.9. APLICACIONES DE LAS MEZCLAS MRBC.**

Las diferentes utilidades en la que estas mezclas MRBC han sido utilizadas más frecuentemente no solo en nuestro medio sino también en países que tienen mejores conocimientos sobre este tipo de mezcla se presentarán a continuación valga aclarar que en ningún momento se pretende restringir estas aplicaciones únicamente a las que describimos.

El Relleno Fluido al no requerir la colocación en capas la mayoría de las veces, ni vibrado, compactación ni curado simplifica en gran manera el proceso constructivo, pues una vez descargado directamente del camión punto de descarga, el material cubrirá hasta los lugares más inaccesibles exactamente como lo haría un líquido que llena a su totalidad el elemento que lo contiene. Esto representa facilidad, velocidad, limpieza y reducción de personal; comparado con el método tradicional de compactar por capas suelos granulares.

### **2.9.1. Rellenos estructurales**

Con un diseño adecuado se pueden utilizar el Relleno Fluido para soportar edificaciones de tres a cuatro niveles con excelentes resultados, esta experiencia se vivió en la ciudad de México, en donde el cambiar el proceso tradicional de compactar capas de suelo cemento se logró reducir la ejecución del proyecto de 2.5 meses a 1.5 semanas.

Otra aplicación de esta clase, es el relleno que se debe efectuar después que se ha terminado el levantado o montaje de muros que quedan debajo del nivel de las propiedades vecinas, esto es típico de observar en la edificación de edificios con sótanos.

Estos muros es necesario impermeabilizarlos por el lado exterior para obtener una protección correcta y efectiva, después de estas tareas generalmente es necesario amplia la zanja donde se trabajó (siempre que las colindancias lo permitan). Hoy en día existen aditivos que pueden ayudar a impermeabilizar integralmente el relleno Fluido, de esta manera se combate de una forma más efectiva y económica la humedad que pueda atacar a la estructura.

### 2.9.2. Rellenos de aislamiento

En el medio esta aplicación se utiliza comúnmente cuando se quiere reducir la temperatura que los rayos del sol producen sobre las losas de concreto, se puede también aprovechar este procedimiento y dar los declives a los niveles de la losa para que el agua de lluvia no se estanque y corra hacia las bajadas de agua. Rellenos fluidos con buen contenido de aire harán que la mezcla sea liviana, sin aplicar peso en exceso y por ser un material poroso es un buen aislante de la temperatura.

### 2.9.3. Bases para pavimento

Las mezclas de rellenos fluidos pueden ser utilizadas como base de pavimento o sub-bases. La mezcla puede ser colocadas directamente desde el camión mezclador o camión de volteo, para que el relleno respete los niveles y cotas deseadas se deben de colocar formaletas que sirvan como molde y guía estas deben de ser colocadas con la guía de equipo topográfico.

Para el diseño del curso de las bases bajo pavimentos flexibles, existen coeficientes estructurales para bases creadas con productos que contengan cemento, estos datos fueron obtenidos en varios estados de la Unión Americana, el coeficiente estructural de una capa de relleno fluido podría estimarse que va desde los 0.16 hasta los 0.28 para fuerzas de compresión desde los 28 kg. / cm<sup>2</sup> (400 psi) hasta los 84 kg/cm<sup>2</sup>(1200psi). Se requiere de un buen sistema de drenaje que incluya bordillos, alcantarillas, cunetas, desagües, etc. y un pavimento adecuado de buena calidad. Daños por congelamiento se podrían presentar afectando la durabilidad, si el material estuviera saturado de agua y se presentarán condiciones de congelación.

Siempre se requiere aplicar una capa de rodadura (asfalto o concreto) a los rellenos fluidos y estos no se pueden usar como capa de rodadura, debido a su pobre resistencia al desgaste.

Mayor información respecto a los materiales para bases de pavimentos puede consultarse en la ACI 325<sup>41</sup> “Guía para el Diseño de Bases y Hombros para Pavimentos de Concreto”.

Hay que recordar que, con el método tradicional, es necesaria la presencia de equipo de compactación, este equipo produce vibraciones y estas producen grietas en los pavimentos de concreto recién colocados. Otra bondad que diferencia a los rellenos fluidos de las bases granulares compactadas, es que no sufren de asentamientos posteriores.

Por estas dos últimas características mencionadas y la velocidad a la que puede aplicarle este método de construcción en los proyectos de pavimentación son características que puede pesar a la hora de decidir qué tipo de base se usara en el proyecto, si el tiempo es determinante por las fechas de entrega del proyecto el Relleno Fluido es la mejor alternativa.

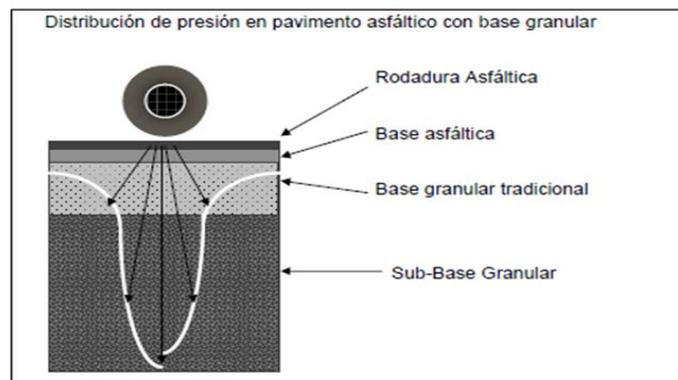
Para este uso se pueden diseñar mezclas con resistencias entre 25 a 30 Kg/cm<sup>2</sup> (360 a 430 PSI aprox.), aunque se han diseñado mezclas de 50 Kg/cm<sup>2</sup> (714 PSI) estas tienden a comportarse más como un concreto, requieren de ayudas mecánicas para su colocación y no son económicas y aunque pueden ganar mejores resistencias a más temprana edad; si este requisito no es indispensable se recomienda no exceder los 30 Kg/cm<sup>2</sup> (43 psi).

---

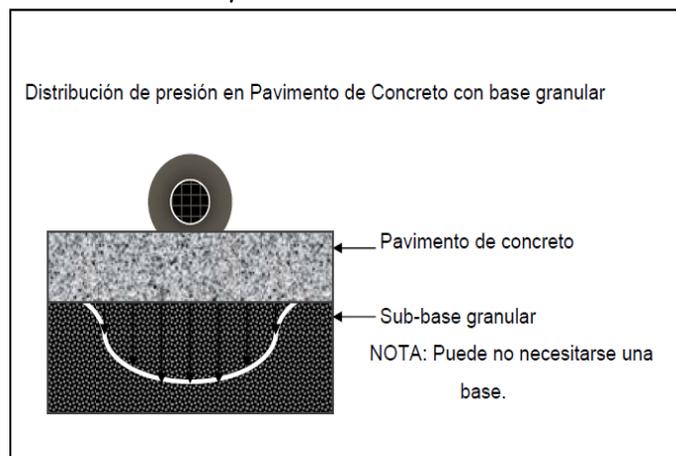
<sup>41</sup> ACI 325 “Guía para el Diseño de Bases y Hombros para Pavimentos de Concreto”.

Las bases hechas con rellenos fluidos distribuyen las cargas en áreas más amplias y si trabajan en conjunto con un Pavimento Rígido como el de concreto, la fuerza se distribuye en un área aún menor, disminuyendo la profundidad del bulbo de presiones, las siguientes imágenes buscan explicar estas diferencias de una forma gráfica, aunque no tengan una representación a escala<sup>42/</sup>

*Figura 2.6 Distribución de presión en pavimento asfáltico con base granular*

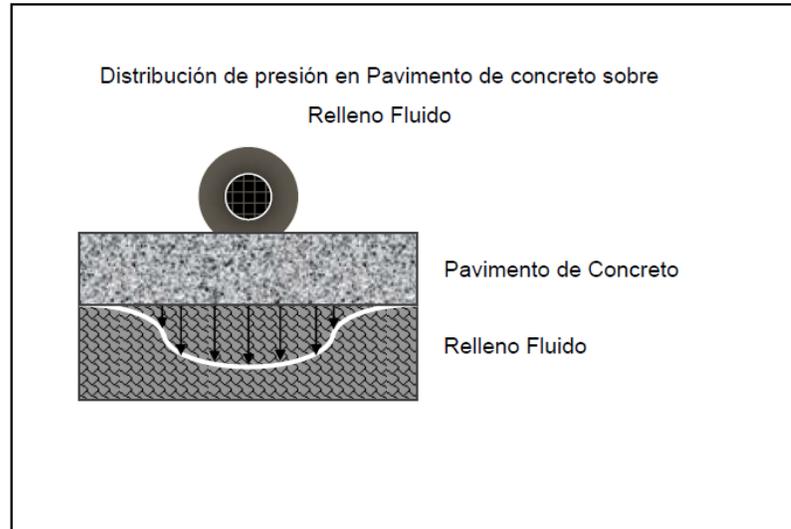


*Figura 2.7 Distribución de presión en Pavimento de Concreto con base granular*



<sup>42</sup> Figuras toma de tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.

*Figura 2.8 Distribución de presión en Pavimentos de concreto sobre Relleno Fluido*



#### 2.9.4. Encamamiento de conductos

Esta es una de las principales aplicaciones de los rellenos fluidos en esta aplicación es notable lo eficiente que este método de relleno de zanjas puede ser, observe el trabajo que ilustra la figura 2.9, compare el ancho de la zanja con el diámetro de la tubería, la porción de la calle que fue tomada para hacer la canalización del drenaje y se dejó de utilizar la calle completa inhabilitada para realizar el trabajo; también fue necesario excavar con cuidado ya que la excavación descubrió tubería del servicio de agua potable.

Ahora considere el costo de demoler en concreto existente, el tiempo (mano de obra) que esta actividad necesita y el costo que se emplearía en reponer el concreto

Con la utilización del relleno fluido se reducen considerablemente el ancho de la zanja o trinchera, solo es necesario dar un margen de 5 a 10 cm. por lado al diámetro de la tubería, esto se debe a que el espacio extra para colocar la tubería o para introducir el equipo de compactación no es necesario.

El relleno fluido como material trabaja mejor que una base compactada por medios mecánicos, aunque solo cubra los 5 ó 10 cm. a los lados la tubería.

*Figura 2.9 Encamamiento de Tubería sin aplicar MRBC<sup>43</sup>*



Tal vez esta ventaja se puede apreciar mejor cuando el diámetro de la tubería no es tan grande como el de la Figura 2.10. Observe el encajamiento de la tubería en la Figura el ancho de la zanja es de 30 cm. y la profundidad debajo del

---

<sup>43</sup> Figura toma de tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Rivera Pérez, Eduardo Marín, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.

concreto es de 20 cm esto genera un volumen de  $0.06 \text{ m}^3$  por metro lineal de zanja, esto representa rapidez para realizar el trabajo en un área de mucho tráfico industrial y minimiza los costos del trabajo. se menciona esta aplicación como ejemplo:

*Figura 2.10 Aplicación de MRBC en Zanjas*<sup>44</sup>



Es importante destacar la distancia que ha recorrido el material contemplando el punto de descarga, por ser un área plana es necesario ayudar al material a correr, después de esto el mismo material tiende a auto nivelarse, permitiendo que la

---

<sup>44</sup> Figura toma de tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Rivera Pérez, Eduardo Marín, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.

fundición para reponer el concreto demolido en el ancho de la zanja, sea colocado al siguiente día.

#### 2.9.5. Relleno de agujeros

La aplicación de los Rellenos fluidos en este tema es muy interesante, ya que por sus características de fluidez y auto nivelación convierten a este material en una alternativa eficaz cuando el acceso a es difícil o peligroso para el personal operativo.

*Figura 2.11 Relleno entre muro de contención y derrumbe.*<sup>45</sup>



*Figura 2.12 Relleno entre muro de contención y derrumbe dos días después.*



En el caso que se observa se utilizó un relleno fluido para rellenar un hundimiento ocurrido en el km. 9.5 de la carretera al El Salvador.

---

<sup>45</sup> Figura toma de tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Rivera Pérez, Eduardo Marín, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.

Para estabilizar el talud primero se construyó un muro de contención que se logró llegar a la altura de la cinta asfáltica, posteriormente seguía efectuar el relleno entre el terreno y el muro, pero se presentaron problemas de presencia de agua por nivel freático, problema que originó el hundimiento. En este punto es riesgoso poner personal a trabajar dentro del derrumbe por lo inestable del terreno. Se decidió usar un relleno fluido por sus propiedades de auto nivelación y fluidez, permitiendo que el relleno se realice sin arriesgar la vida del personal operativo. En ambientes como este donde hay posibilidades de presencia de agua es necesario hacer un drenaje para desviar el agua que brota de la tierra, y aunque el relleno fluido presta un buen servicio en condiciones de humedad la presencia de agua corriente puede erosionar el material.

## **2.10. FACTORES QUE INTERFIEREN DESEMPEÑO DE LAS MEZCLAS MRBC.**

### **2.10.1. Tipos de suelo**

Influye principalmente por su composición química y su granulometría. Aunque la mayoría de los suelos pueden ser tratados con cemento, se obtienen mejores resultados:

- Cuando el suelo no contiene partículas mayores de dos pulgadas (5cm) y menos del 50% de la muestra que pasa la malla # 200.

- Cuando el límite líquido sea inferior a 40 y el índice plástico menor de 15<sup>46/</sup>
- Además como ya se indicó, el suelo debe estar libre de materia orgánica y sulfato menor a un 3%.

#### 2.10.2. Cantidad de cemento

La dosificación del cemento es un aspecto fundamental, por cuanto el cemento es un ingrediente de costo elevado y por consiguiente determina la factibilidad económica de la estabilización; es decir, existirá un límite superior que estará fijado por la economía de cada proyecto, siendo éste del orden del 15% de cemento en peso (respecto al peso de la mezcla seca) para fines prácticos; sin embargo, éste límite es muy elástico porque en algunas circunstancias especiales el análisis de costos del proyecto puede permitir un límite superior hasta del 25% o más<sup>47/</sup>

Por el contrario, entre más gruesos y menos plásticos sean los suelos, comúnmente requerirán menos contenido de cemento para endurecer satisfactoriamente; en este caso, existirá un orden inferior del 5% en peso (1:20 proporción en volumen) y en casos muy extraordinarios hasta del 3% en peso (1:30 proporción en volumen). Lo anterior no es una regla general, porque los suelos con alto contenido de materia orgánica requerirán mayores consumos de cemento que otros suelos con granulometrías y plasticidades idénticas que

---

<sup>46</sup> Tomado de: Aplicación de los parámetros de control ACI, en mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada (lodocreto), variando porcentajes y tipos de cementos, José Salvador Granados Mejía, Trabajo de Graduación UES. 2003.

<sup>47</sup> Ministerio de Obras públicas, unidad de investigación y desarrollo vial.

aquéllos, pero sin materia orgánica. Además los suelos pueden contener otras sustancias nocivas a la acción de la hidratación del cemento y sólo un análisis cuidadoso del laboratorio podrá detectar cuando un suelo aparentemente adecuado para suelo cemento, sea un suelo de reacción pobre.

Estos límites para comprobar el endurecimiento satisfactorio del suelo cemento los fijarán los ensayos de rutina de laboratorio, los cuales pueden ser: ensayos de resistencia a la compresión de cilindros moldeados (ASTM C-39), ensayo de saturación y secado (conocido como ensayo de durabilidad), (ASTM D-559 y ASTM D-560 y sus equivalencias AASHTO6 T-135 y T-136)<sup>48/</sup>, entre otros.

### 2.10.3. Cantidad de agua

En el caso del suelo cemento compactado el efecto de la humedad tiene su mayor importancia durante la compactación, ya que ésta sólo se obtiene cuando se logra la humedad óptima de diseño, por medio del ensayo de densidad-humedad óptimas conocidos como ensayos Proctor (ASTM D-598, AASHTO T-134); y al mismo tiempo se emplea como ensayo de control. En cambio para el diseño de mezclas MRBC la cantidad de agua que se añade a la mezcla debe estar en función de la relación agua-cemento (A/C) con la cual se garantiza la resistencia de diseño y una buena trabajabilidad.

---

<sup>48</sup> Asociación Americana del Estado de Autopistas Y Oficiales del Transporte

#### 2.10.4. Tiempo de colocación de la mezcla

Una mezcla satisfactoria de suelo cemento sólo puede obtenerse si se coloca en un tiempo no mayor de dos horas. Las demoras entre el mezclado y la colocación producen una disminución de la resistencia que debe alcanzarse al colocar la mezcla en su tiempo adecuado, por esta razón nunca debe pasarse más de dos horas (tiempo teórico del fraguado inicial) entre el mezclado y la colocación. En la norma ASTM C-403 se describe un procedimiento para medir el tiempo de fraguado del cemento por medio de la resistencia a la penetración.

#### 2.10.5. Curado de MRBC

Siempre que sea posible, se recomienda proporcionar un curado después del fraguado inicial, ya que como ocurre con el concreto, esto favorece la resistencia. El curado debe hacerse por lo menos durante 7 días.

### **2.11. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN.**

#### 2.11.1. Generalidades

El mezclado, transporte y aplicación de las MRBC sigue generalmente los métodos y procedimientos dados por el comité ACI 304 (Manejo, Transporte y Colocación del Concreto). Sin embargo, otros métodos son aceptables si se cuenta con la experiencia y datos de desempeño previos. Independientemente de los métodos y procedimientos que se utilicen, uno de los principales criterios

es que la MRBC debe de ser, homogénea, consistente y la principal consideración a tomar en cuenta es que debe de cumplir con los requisitos y especificaciones previstas.

### 2.11.2. Mezcla.

La MRBC puede ser mezclada por varios métodos, incluyendo en las plantas elaboradoras de Concreto y se transporta y distribuye en camiones mezcladores, incluso puede elaborarse en mezcladoras pequeñas móviles de una ó dos bolsas.

Se debe seguir la misma secuencia y procedimiento de carga de los materiales en todas las mezclas realizadas para asegurar la uniformidad y calidad de la MRBC, <sup>33/</sup>teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- ✓ Añadir de 70 a 80% del agua requerida.
- ✓ Añadir 50% de los agregados finos.
- ✓ Añadir toda la cantidad de cemento y ceniza volante requerida.
- ✓ Añadir la cantidad restante de agregados finos.
- ✓ Añadir la cantidad restante de Agua.

Se debe verificar con anticipación el tiempo de mezclado para asegurar la calidad y uniformidad de la MRBC. Es fundamental realizar un buen amasado de la mezcla por un tiempo mínimo de 5 min. Para lograr la fluidez y estabilidad del material.

### 2.11.3. Transporte

Las MRBC se transportan en camiones mezcladores, como los que se muestran en la figura 2.13. Se requiere que la MRBC sea agitada constantemente durante el transporte y el tiempo de espera para mantener el material en suspensión.

Bajo algunas circunstancias la MRBC ha sido transportada en distancias cortas sin equipo de agitación en volquetas. Los camiones agitadores aunque proveen alguna acción de mezclado no previenen el asentamiento de material sólido.

*Figura 2.13 Tipos de camión mezclador para transporte de concreto y MRBC<sup>49</sup>*



El contenedor del camión debe permanecer en agitación para evitar la segregación. La MRBC puede ser transportada por equipo de bombeo, canaleta o carretillas hasta su ubicación final. Debido a su consistencia fluida este tipo de materiales puede fluir largas distancias hasta su punto de vaciado. Las MRBC han sido transportadas eficientemente por bombeo mediante un sistema de

---

<sup>49</sup> Tomado de: Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido, Ana Laura Viera Estrada.

tuberías similar que el concreto como las que se muestran en la figura 2.14. y por banda transportadora.

*Figura 2.14 Modelo de bombas utilizadas para distribuir lodocreto*



Las MRBC son entregadas por los camiones mezcladores y se vierte fácilmente por canaletas en una condición fluida como se muestra en la figura 2.15. directamente dentro de la cavidad a ser rellenada.

*Figura 2.15 Vertido directo de la canaleta del camión<sup>50</sup>*



---

<sup>50</sup> Figura toma de tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Rivera Pérez, Eduardo Marín, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.

#### 2.11.4. Colocación

Se puede realizar en forma similar a la de los morteros y concretos corrientes con los equipos disponibles en las obras, es decir vertido directo por la canaleta del camión mezclador como se muestra en las figura 2.16. Utilización de baldes, carretas, incluso por bombeo a baja presión o con bombas rotativas como se muestra en las figura 2.17. A diferencia de los suelos granulares, la MBRC puede ser bombeada a grandes distancias sin perder las características originales para las que fue diseñado.

*Figura 2.16 Vertido directo de la canaleta del camión.<sup>51</sup>*



---

<sup>51</sup> Tomado de revista Morteros fluidos ó de densidad controlada. Ing. Aníbal Martínez Villa.

*Figura 2.17 Colocación de MRBC por bombeo a través de tubería*<sup>52</sup>



### 2.11.5. Colocación de MRBC en diferentes elementos

#### 2.11.5.1. Colocación de Materiales de Resistencia Baja Controlada en zanja para tubería.

Es de mucha utilidad el uso de MRBC en este elemento ya que la colocación de la totalidad de la tubería embebida dentro de MRBC sirve para proteger el conducto de futuros daños. En el caso de que se excave alrededor de la tubería, el cambio de aspecto y de material entre el MRBC y el suelo circundante, será evidente, alertando sobre la existencia de una tubería.

---

<sup>52</sup> Tomado de Revista ISCYC N° 39 septiembre 2005.

Los MRBC pueden ser diseñados para proveer una resistencia a la erosión debajo de la tubería, esto no solo proporciona una cama sólida y uniforme, sino que previene que el agua ingrese entre a la tubería y la cama de material erosionando dicho soporte se muestra en la figura. 2.18.

Antes de la colocación de MRBC sobre la tubería, se toma de antemano la decisión sobre que método de colocación se utiliza, si es un tramo de tubería considerable y se coloca la mezcla de MRBC por medio de bombas transportadora de mezcla, se debe colocar por capas, debido a que por ser un material fluido, la presión hidrostática podría hacer flotar la tubería, más aun si se aplica una cantidad considerable.

El tiempo intermedio entre una capa y otra puede oscilar de 15 a 30 minutos todo depende de las condiciones de campo como: estado del tiempo, características del material y espesor de la capa, entre otras condiciones.

Si el tiempo para la colocación es corto, se pueden colocar pequeñas cargas como sacos llenos de arena para inmovilizar la tubería mientras se endurece la mezcla y después de transcurrido cierto tiempo retirarlos.

Un factor que no debe descartarse en la colocación del MRBC, es la altura y la forma de colocación de la mezcla, esta debe ser inferior a 1.5mt y colocarse de manera de no segregar la mezcla. <sup>53</sup>.

---

<sup>53</sup> Tomado de: Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido, Ana Laura Viera Estrada

*Figura 2.18 Colocación de MRBC en tuberías*



#### 2.11.5.2. Colocación de Materiales de Resistencia Baja Controlada para Rellenos Estructurales.

Cuando el sitio donde se coloca el MRBC soporta la carga de una edificación, se le llama Relleno Estructural Si el sitio a colocar la mezcla es accesible se puede hacer directamente mediante el canal que tiene el camión mezclador que se muestra en la Figura 2.19. Si el lugar donde se deposita la mezcla es de difícil acceso o el espacio para la maquinaria es limitado, se hace uso de bombas transportadora, se debe colocar el camión mezclador lo más cerca que sea posible del lugar de colocación, entre más corta sea la distancia que recorre la mezcla habrá menor dificultad en la colocación, es de importancia que la línea de bombeo debe tener un mínimo de curvas.

Por la característica fluida de los Materiales de Resistencia Baja Controlada facilita la utilización de este medio de colocación, sin embargo, se debe tomar medidas para optimizar el uso del mismo, como lubricar el tubo donde se transporta la mezcla por medio de lechada o mortero y cuando son distancias considerables debe haber una buena comunicación entre el operador de la bomba y del personal que coloca el MRBC.

*Figura 2.19 Aplicación de MRBC en rellenos estructurales*<sup>54</sup>



---

<sup>54</sup> Tomado de: Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido, Ana Laura Viera Estrada.

## **2.12. ENSAYOS REALIZADOS PARA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MEZCLA DE MRBC.**

El alcance de un control de calidad para las MBRC puede variar dependiendo de la experiencia, la aplicación, materias primas utilizadas, y el nivel de calidad deseado.

El programa de control de calidad puede consistir en simples inspecciones visuales, o puede incluir ensayos de resistencia a la compresión, prueba de revenimiento o de fluidez de la mezcla. A continuación mencionaremos los ensayos que realizaremos a las MBRC en esta investigación:

- ✓ Existen diversos sistemas de clasificación de los suelos en el mundo, pero son dos los más ampliamente usados por el ingeniero civil:
  - a) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)
  - b) Sistema AASHTO
- ✓ (Método de Ensayo ASTM D 6103), peso unitario y contenido de aire —Método de Ensayo para Peso Unitario, Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) en material de MBRC (Método de Ensayo ASTM D 6023).
- ✓ Método de Ensayo para preparación y ensayo de cilindros con MBRC (Método de Ensayo ASTM D 4832) dentro de 10 min después de obtener la porción final de la muestra compuesta. Mantenga el tiempo transcurrido entre la obtención y uso de la muestra tan corto como sea posible y proteja la muestra del sol, viento y otras fuentes de evaporación rápida y de contaminación.

- ✓ Método de ensayo para el revenimiento de MBRC, regido por la norma ASTM C143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”. Método de ensayo estándar es utilizado para determinar el revenimiento del concreto hidráulico, pero es el mismo procedimiento que se utiliza para determinar el revenimiento de MBRC. El propósito del ensayo de revenimiento (asentamiento) del MBRC es determinar la consistencia de la mezcla fresca y verificar la uniformidad de la mezcla de bachada a bachada. Este ensayo está basado en el método ASTM C-143 —Método de ensayo estándar para el Concreto de cemento portland. Este método de ensayo cubre la determinación del revenimiento de MBRC, en el laboratorio y en el campo.
- ✓ Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada. Este método de ensayo cubre el procedimiento para la determinación de la consistencia de flujo en material de resistencia baja controlada (MRBC) fresco. Este método de ensayo aplica al MBRC fluido con un tamaño máximo de partículas de 19.0 mm o menos, o para la fracción de MBRC que pasa la malla de 19.0 mm. resistencia controlada (MBRC), regida por la norma ASTM D 6103 – 9738.
- ✓ Método de ensayo estándar para preparación y ensayo de cilindros de material de baja resistencia controlada (MBRC) regido por la norma ASTM D 4832.

## **CAPÍTULO III**

**DEFINICION DE LOS BANCOS Y  
ENSAYOS QUE SE EFECTUARAN  
A LOS SUELOS QUE SE  
UTILIZARAN PARA LA MEZCLA  
DE MRBC.**

### **3.1. INTRODUCCIÓN**

Para una mayor aplicabilidad del trabajo de investigación en el campo de la construcción, se escogerán tres bancos de material de préstamo, de cada uno de ellos se debe tener la ubicación, cantidad y características físicas del material que sea extraído, se debe tener también un buen control para que de dicho material extraído, sus características sean las más adecuadas y convenientes, para considerar el empleo de éstos en sustituciones de suelo. Para ello se realizó una serie de visitas de campo y muestreo de materiales tres bancos seleccionados de la zona central del país. A los materiales recopilados se les realizaron ensayos de límites de consistencia y granulometría para determinar sus características físicas y por medio de los resultados de estos ensayos y otros factores como la ubicación del banco, la disponibilidad de material y usos de los suelos, los resultados de este proceso son el contenido del presente capítulo. Además en este capítulo se describen las formas en que se harán las correcciones a cada uno de los materiales extraídos de los respectivos bancos para ser utilizados en la elaboración de MBRC.

## 3.2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS DIFERENTES BANCOS DE SUELOS A UTILIZAR

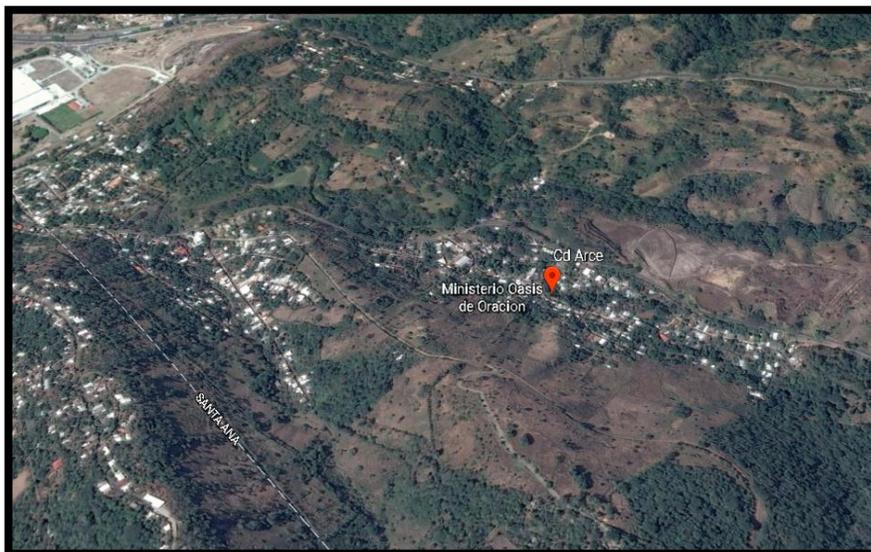
### 3.2.1. Ubicación de Banco de Préstamo N°1

**Lugar:** Ciudad Arce, La Libertad

**Nombre:** Caña de Tarro.

**Ubicación geográfica:**

*Figura 3.1 Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°1<sup>55</sup>*



Accesible para muchos proyectos de construcción de los alrededores, fue uno de los indicadores para su selección.

---

<sup>55</sup> Fotografía tomada de Google Earth

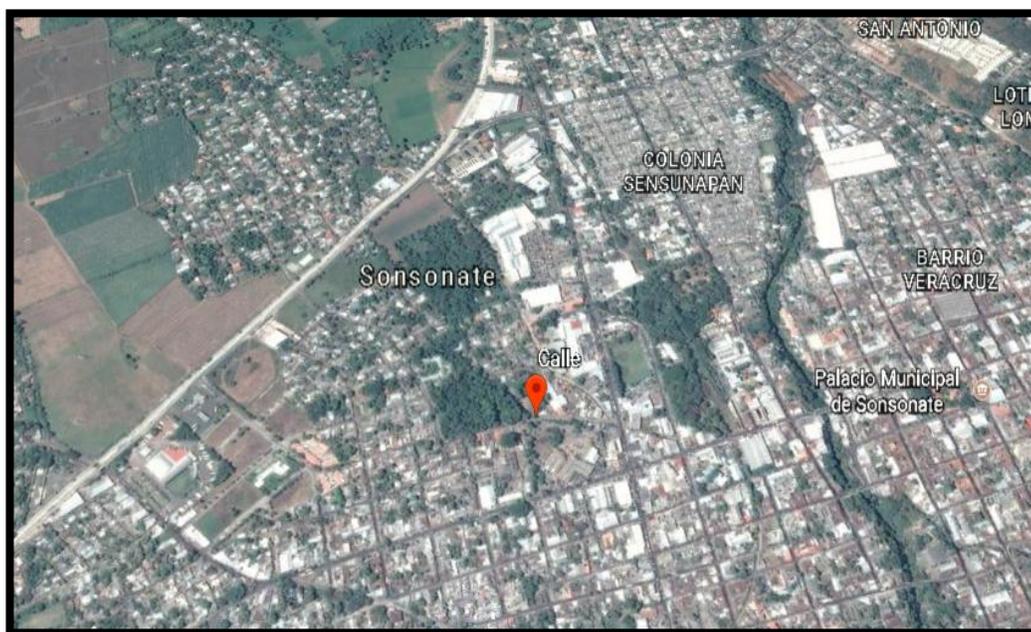
### 3.2.2. Ubicación de Banco de Préstamo N°2

**Lugar:** Colonia Río Zarco km 34 ½” Carretera a Sonsonate

**Nombre:** Banco propiedad “Francisco Tobar”.

**Ubicación geográfica:**

*Figura 3.2 Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°2<sup>56</sup>*



---

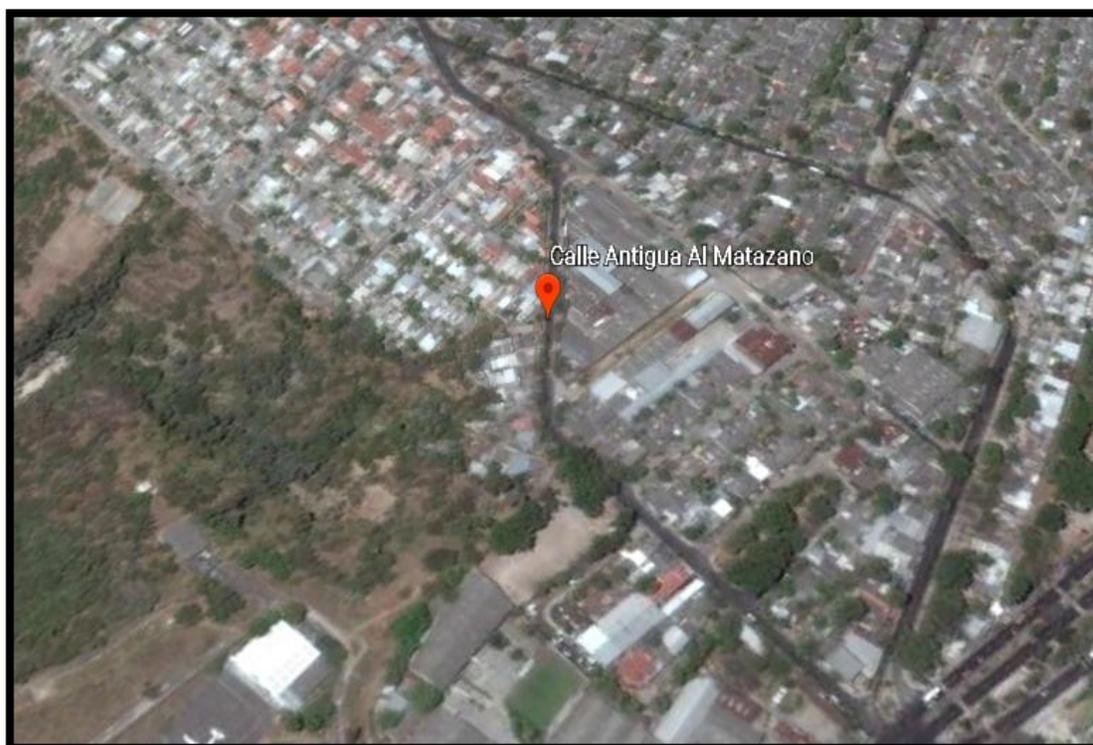
<sup>56</sup> Fotografía tomada de Google Earth

### 3.2.3. Ubicación de Banco de Préstamo N°3

**Lugar:** Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano.

**Ubicación geográfica:**

*Figura 3.3 Ubicación Geográfica de Banco de Préstamo N°3<sup>57</sup>*



---

<sup>57</sup> Fotografía tomada de Google Earth

### 3.3. RECONOCIMIENTO Y EXPLORACIÓN

Se realizó un reconocimiento y exploración tal y como lo especifica la norma ASTM D42071<sup>58</sup> a cada uno de los bancos seleccionados a utilizar en la investigación por medio de calicatas las cuales permiten: una inspección visual del terreno "in situ", la toma de muestras y realización de algún ensayo de campo como la clasificación visual manual.

El reconocimiento permitió conocer los antecedentes geológicos de los tres bancos a estudiar, conocer si los suelos presentarían las características físicas necesarias que la investigación requería, para utilizarlos como elemento para, así también obtener información sobre la cantidad y abundancia de material con la que cuenta cada banco y su uniformidad. Los resultados se muestran a continuación:

#### 3.3.1. Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°1.

**Lugar:** Ciudad Arce, La Libertad

**Nombre:** Caña de Tarro.

La zona de Ciudad Arce en la Libertad se caracteriza por su acelerado progreso, tanto económico como infraestructural, la construcción de urbanizaciones y pequeños edificios permiten hacer con mayor facilidad la exploración, ya que en

---

<sup>58</sup> ASTM D420 —Guía estándar para caracterización en sitio con propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción"

la excavación para cimentaciones de las construcciones aledañas se puede observar la estratigrafía de los materiales existentes en el sub suelo.

Ciudad Arce es una ciudad del departamento de La Libertad ubicada a 575 msnm y 36 Km de San Salvador; se encuentra limitada al norte por el municipio de San Juan Opico, colinda al sur con los municipios de Armenia, Sacacoyo y Colón, al este con San Juan Opico, al oeste con Coatepeque y El Congo.

El Mapa Geológico de El Salvador clasifica al suelo granular encontrado en esta zona como material proveniente del plioceno y está catalogado como material volcánico no clasificado según el mapa geológico de El Salvador.<sup>59</sup>

### 3.3.2. Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°2 (Material Granular).

**Lugar:** Colonia Río Zarco km 34 ½” Carretera a Sonsonate

**Nombre:** Banco propiedad “Francisco Tobar”.

La zona donde se encuentra este banco, es en su mayoría colonias, actualmente se está teniendo un auge en el área de urbanización, esto ha llevado también al uso masivo de este banco en el uso de la construcción.

---

<sup>59</sup> MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE EL SALVADOR UNIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO VIAL(Mapa Geológico)

El Mapa Geológico de El Salvador clasifica al suelo granular encontrado en esta zona como material proveniente del plioceno y está catalogado como material volcánico no clasificado según el mapa geológico de El Salvador<sup>60</sup>.

### 3.3.3. Reconocimiento y Exploración de Banco de Préstamo N°3.

**Lugar:** Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano.

La zona de Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano, en Soyapango, San Salvador se caracteriza por su acelerado progreso, tanto económico como infraestructural, la construcción de urbanizaciones, la construcción de naves industriales y edificios permiten hacer con mayor facilidad la exploración, ya que en la excavación para cimentaciones de las construcciones aledañas se puede observar la estratigrafía de los materiales existentes en el sub suelo.

El Mapa Geológico de El Salvador clasifica al suelo granular encontrado en esta zona como material proveniente del entre el Holoceno y el Pleistoceno y está catalogado como Material Volcánico en Depresiones Tectónicas clasificado según el mapa geológico de El Salvador.

---

<sup>60</sup> MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS DE EL SALVADOR UNIDAD DE INVESTIGACION Y DESARROLLO VIAL(Mapa Geológico)

### **3.4. MUESTREO SEGÚN NORMA ASTM D-420 “GUÍA ESTÁNDAR PARA CARACTERIZACIÓN EN SITIO CON PROPÓSITOS DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN”.**

Se utilizarán las muestras alteradas para esta investigación, las cuales se obtienen en general de las paredes de los pozos o calicatas. Estos métodos permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y por lo tanto, es el método que normalmente entrega la información más confiable y completa

La cantidad de material que se recolectó en esta etapa correspondiente al muestreo, está basada en la norma ASTM D-42078.61

Las cantidades de muestra recolectadas, en base a parámetros establecidos, fueron las consideradas suficientes para realizar los siguientes ensayos: clasificación de suelos, análisis granulométrico y ensayos de plasticidad, los que servirán para escoger los bancos de materiales que se utilizarán en esta investigación. Las muestras recogidas de cada banco se enviaron al laboratorio, colocándoseles la siguiente información para su correspondiente identificación:

- a) Fecha de muestreo
- b) Localización del Banco.
- c) Nombre de la persona que realizó el muestreo
- d) Localización e identificación

---

<sup>61</sup> ASTM D420 —Guía estándar para caracterización en sitio con propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción"

- e) Identificación de la muestra
- f) Tipo de suelo
- g) Color, textura aparente, etc.

*Figura 3.4 Suelo de Banco de Préstamo N°1*



*Figura 3.5 Suelo de Banco de Préstamo N°2*



*Figura 3.6 Suelo de Banco de Préstamo N°3*



### **3.5. ANÁLISIS DE LAS MUESTRA PARA DETERMINAR CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS DIFERENTES BANCOS.**

En el presente apartado se brindarán los resultados de todos los ensayos realizados a los suelos de los diferentes bancos investigados.

En esta etapa se analizará cada muestra de suelo obtenida de cada uno de los bancos de material, para determinar las características físicas de los suelos en estudio, como: su distribución granulométrica, tanto para plástico y granular, límites de consistencia para el material plástico, esto con el fin de obtener una clasificación de los suelos encontrados de acuerdo a las normas AASHTO M 145<sup>62</sup>.

---

<sup>62</sup> Recommended Practice for The Classification of Soils and. Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

### 3.5.1. Determinación de la Gravedad Específica de los Sólidos del Suelo por el Método Del Picnómetro con Agua (Basada En Astm D 854-02<sup>63</sup>) Gravedad específica de los sólidos de un Suelo (Gs):

Es la relación de la masa de una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa del mismo volumen de agua destilada a 20°C.

Este método de ensayo cubre la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo que pasan la malla de 4.75 mm (No. 4), por medio de un picnómetro con agua y cubre dos procedimientos (Método A y B) para determinar la gravedad específica; siendo éstos los siguientes:

#### Método A:

Este método debe ser utilizado para especímenes húmedos de suelos orgánicos, suelos altamente plásticos, suelos de grano fino, suelos tropicales y suelos con contenidos de halloysita.

#### Método B:

Este procedimiento debe ser utilizado para especímenes de suelos secados en horno.

---

<sup>63</sup> ASTM D 854-02 Determinación de la Gravedad Específica de los Sólidos.

#### Resumen del método:

Un picnómetro limpio y seco previamente calibrado, se determina su masa, luego se introduce en él una muestra de suelo húmedo (Método A) o seco (Método B).

Posteriormente se agrega agua hasta formar una lechada, se extrae el aire atrapado, ya sea hirviendo (baño maría), succionando o combinando los dos procesos. Se completa el llenado del picnómetro con agua desaireada y se coloca en el recipiente de baño María durante la noche para alcanzar un equilibrio térmico. Se determina y registra la masa del picnómetro, suelo y agua, se mide la temperatura de la mezcla suelo-agua, dicha mezcla es colocada en un horno hasta obtener una masa constante; es decir, la masa seca de los sólidos del suelo. La gravedad específica de los sólidos del suelo a 20 °C es la relación de la densidad de los sólidos del suelo entre la densidad del agua a la temperatura de ensayo, multiplicada por un coeficiente de temperatura.

A continuación se presentan los reportes del ensayo de Gravedad Especifica de los 3 suelos en estudio.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
 SUELO POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA  
 (BASADA ASTM D 854-02)**

Lugar de procedencia : BANCO#1  
 Método de ensayo : B  
 Descripción y tipo de suelo: SP- SM

*Tabla 3.1 Gravedad Específica de Suelo #1*

Temperatura de ensayo ( $T_e$ ) °C	<b>g</b>	<b>26.4</b>
Densidad del agua a temperat. de ensayo	g/ml	0.99667
Masa de picnómetro + suelo + agua a $T_e$	g	742.715
Masa de picnómetro + agua a $T_e$	g	687.54
No. de recipiente		AB
Masa de recipiente	g	172.52
Masa de sólidos del suelo+ recipiente	g	272.58
Masa de los sólidos del suelo	g	100.15
Gravedad específica a temperatura de ensayo ( $G_t$ )		<b>2.22</b>
Coefficiente de temperatura		0.99846
Gravedad específica a temperatura de 20° C ( $G_s$ )		2.2166

Observaciones:

---



---

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
 SUELO POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA  
 (BASADA ASTM D 854-02)**

Lugar de procedencia : BANCO #2  
 Método de ensayo : B  
 Descripción y tipo de suelo: SP- SM

*Tabla 3.2 Gravedad Específica de Suelo #2*

Temperatura de ensayo ( $T_e$ ) °C	<b>g</b>	24
Densidad del agua a temperat. de ensayo	g/ml	0.99729
Masa de picnómetro + suelo + agua a $T_e$	g	732.93
Masa de picnómetro + agua a $T_e$	g	675.05
No. de recipiente		G3
Masa de recipiente	g	141.52
Masa de sólidos del suelo+ recipiente	g	241.81
Masa de los sólidos del suelo	g	100.29
Gravedad específica a temperatura de ensayo ( $G_t$ )		<b>2.36</b>
Coeficiente de temperatura		0.99908
Gravedad específica a temperatura de 20° C ( $G_s$ )		2.3578

Observaciones:

---



---

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACION DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL  
 SUELO POR EL METODO DEL PICNOMETRO CON AGUA  
 (BASADA ASTM D 854-02)**

Lugar de procedencia : BANCO #3  
 Método de ensayo : B  
 Descripción y tipo de suelo: SP- SM

*Tabla 3.3 Gravedad Específica de Suelo #3*

Temperatura de ensayo ( $T_e$ ) °C	g	26.7
Densidad del agua a temperat. de ensayo	g/ml	0.99660
Masa de picnómetro + suelo + agua a $T_e$	g	752.50
Masa de picnómetro + agua a $T_e$	g	695.9
No. de recipiente		9
Masa de recipiente	g	171.16
Masa de sólidos del suelo+ recipiente	g	271.4
Masa de los sólidos del suelo	g	100
Gravedad específica a temperatura de ensayo ( $G_t$ )		<b>2.30</b>
Coeficiente de temperatura		0.99839
Gravedad específica a temperatura de 20° C ( $G_s$ )		2.2962

Observaciones:

---



---

3.5.2. Análisis granulométrico efectuado a las muestras extraídas. Bajo norma (ASTM D-422 “Ensayo para análisis granulométrico de partículas de suelos”). La finalidad del análisis granulométrico es obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Para un suelo consiste en la determinación de los contenidos de grava, arena y finos que hay en una cierta masa de suelo, a través del método de análisis mecánico, mediante tamices de diferentes aberturas.

Para realizar el análisis granulométrico de las muestras obtenidas de los bancos se utilizó la norma ASTM D422<sup>64</sup> — II, la cual describe un análisis granulométrico de las partículas por medio de lavado. Los resultados de este ensayo se muestran a continuación para cada banco:

#### 3.5.2.1. Análisis Granulométrico del Banco N° 1.

Se realizará a continuación la presentación de los resultados del análisis granulométrico del primer banco.

### **ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL SUELO #1 (Registro de los análisis)**

Gravedad específica del suelo =  $G_s=2.22$

---

<sup>64</sup> Ensayo para el análisis granulométrico de partículas de suelo

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"  
**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
 (Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)



Proyecto :DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia :Ciudad Arce, La Libertad

**Tabla 3.4 Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10**

Masa Inicial: 7258.96 g

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida compensada	% Retenido	% Retenido acum.	% que pasa
1"	25	0	0	0	0	100
3/4"	19.0	15.52	15.52	0.21	0.21	99.8
3/8"	9.50	99.42	99.42	1.37	1.58	98.4
N°4	4.75	280.82	280.82	3.87	5.45	94.6
N°10	2.00	522.62	523.54	7.21	12.66	87.3
pasa N°10		6339.66	6339.66	87.34	100	0.0
Σ			7258.96	100		

**Tabla 3.5 Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz n° 10**

Masa Inicial: 6339.66 g

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida	Masa retenida ajustada	Masa retenida comp.	% Retenido		% Pasa	% Pasa referido muestra total
					Parcial	Acum.		
N°10	2.00	0	0	0	0.0	0	100.0	87.3
N°20	1.18	9.68	9.68	9.68	10.14	10.14	89.9	78.5
N°40	0.600	11.62	11.62	11.62	12.18	22.32	77.7	67.8
N°60	0.300	10.70	10.70	10.70	11.21	33.53	66.5	58.1
N°100	0.150	8.78	8.78	8.78	9.20	42.73	57.3	50.0
N°200	0.075	12.88	12.88	12.89	13.51	56.24	43.8	38.2
Pasa N°200		0.78	41.76	41.76	43.76	100	0.0	0.0
Σ		54.44	95.42	95.43	100.0			



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"  
**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
**(Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)**

Proyecto :DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia : Ciudad Arce, La Libertad

### ANÁLISIS HIDROMÉTRICO

N° de Hidrómetro	: 152 H	Corrección por menisco, Cm	:1
Gs de los sólidos	:2.22	Corrección por defloculante , Cd	:3
Masa seca	:95.43 g	Factor de corrección, a	:1.133

*Tabla 3.6 Corrección por temperatura*

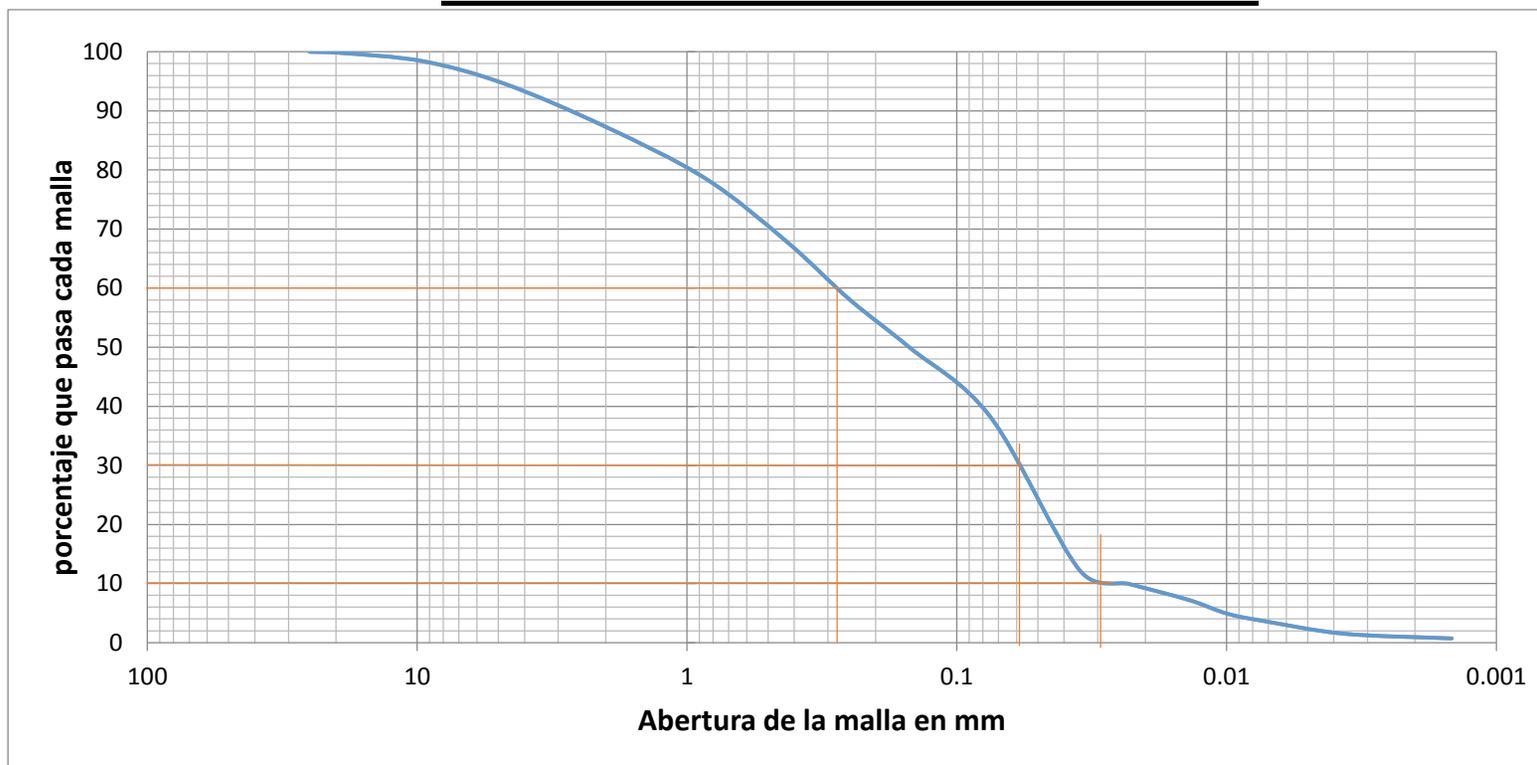
Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (ct)
25.2	+1.37
23.5	+0.85
22.6	+0.58

*Tabla 3.7 Calculo del diámetro de las partículas (D)*

Tiempo Transc. (min)	T (°C)	Lect. real del hidróm. (Rr)	Lectura corregida del hidrómetro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco	L (cm)	(L/t) <sup>0.5</sup>	K	% que pasa referido a la muestra total	D (mm)
2	23.5	29	26.85	31.88	30	11.4	2.39	0.014628	12.2	0.03496092
5	23.5	24	21.85	25.94	25	12.2	1.56	0.014628	9.9	0.02281968
15	23.5	18	15.85	18.82	19	13.2	0.94	0.014628	7.2	0.01375032
30	23.5	13	10.85	12.88	14	14.0	0.68	0.014628	4.9	0.00994704
60	23.5	10	7.85	9.32	11	14.5	0.49	0.014628	3.6	0.00716772
250	25.2	5	3.37	4.00	6	15.3	0.25	0.014628	1.5	0.003657
1440	22.6	4	1.58	1.88	5	15.5	2.39	0.014628	0.7	0.0014628

Figura 3.7 Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #1

### CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO #1



Grava:  $D_{60}=0.28$

$$C_u=0.28/0.029 = 9.66$$

Arena:  $D_{30}=0.059$

$$C_c= 0.059^2/(0.28*0.029) = 0.43$$

Finos (limos y arcillas):  $D_{10}=0.029$

### 3.5.2.2. Análisis Granulométrico del Banco N° 2.

Se realizará a continuación la presentación de los resultados del análisis granulométrico del segundo banco.

### **ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL SUELO #2 (Registro de los análisis)**

Gravedad específica del suelo =  $G_s=2.36$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
(Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)

Proyecto : DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia : Colonia Río Zarco km 34 ½" Carretera a Sonsonate

*Tabla 3.8 Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n°10*

Masa Inicial: **4363.59 g**

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida compensada	% Retenido	% Retenido acum.	% que pasa
1 ½"	37.5	0	0	0	0	100
1"	25	32.20	32.20	0.74	0.74	99.26
¾"	19.0	69.20	69.20	1.59	2.33	97.67
3/8"	9.50	162.10	162.10	3.71	6.04	93.96
N°4	4.75	268.10	268.10	6.14	12.18	87.82
N°10	2.00	380.10	384.00	8.80	20.98	79.02
pasa N°10		3447.99	3447.99	79.02	100	0.0
Σ			4363.59	100		

*Tabla 3.9 Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n°10*

Masa Inicial: 3447.99 g

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida	Masa retenida ajustada	Masa retenida comp.	% Retenido		% Pasa	% Pasa referido muestra total
					Parcial	Acum.		
N°10	2.00	0	0	0	0.0	0	100.0	79.02
N°20	1.18	12.97	12.97	12.97	12.50	12.50	87.50	69.14
N°40	0.600	14.31	14.31	14.31	13.80	26.30	73.70	58.24
N°60	0.300	11.53	11.53	11.53	11.12	37.42	62.58	49.45
N°100	0.150	9.51	9.51	9.51	9.17	46.59	53.41	42.20
N°200	0.075	11.39	11.39	12.16	11.72	58.31	41.69	32.94
Pasa N°200		0.45	43.24	43.24	41.69	100	0.0	0.0
Σ		60.16	102.95	103.72	100.0			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS**  
(Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)

Proyecto : DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia : Colonia Río Zarco km 34 ½" Carretera a Sonsonate

Laboratorista

**ANÁLISIS HIDROMÉTRICO**

N° de Hidrómetro	: 152 H	Corrección por menisco, Cm	: 1
Gs de los sólidos	: 2.36	Corrección por defloculante, Cd	: 7
Masa seca	: 103.72 g	Factor de corrección, a	: 1.08

*Tabla 3.10 Corrección por temperatura (ct)*

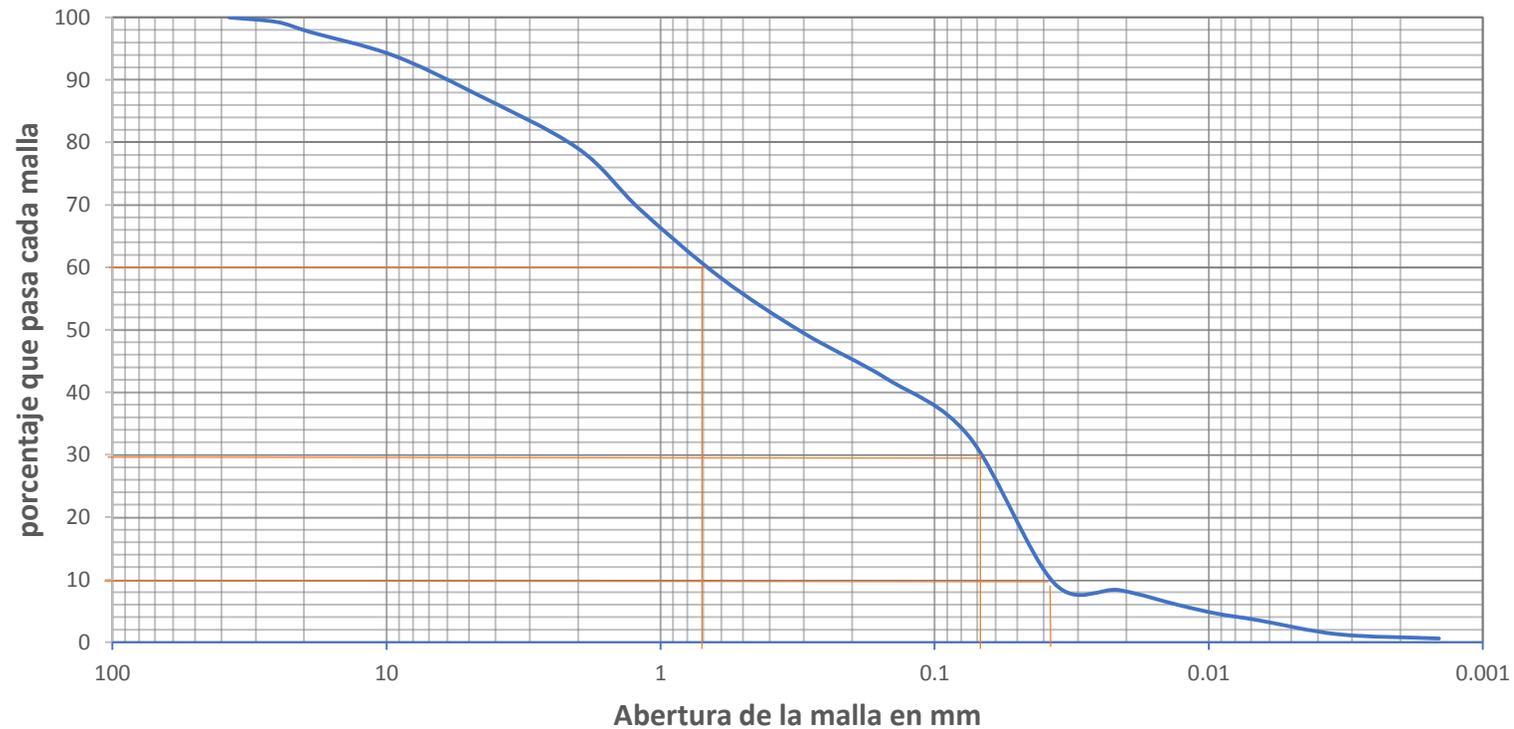
Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (ct)
25	+1.30
26	+1.65
23	+0.70

*Tabla 3.11 Cálculo del diámetro de las partículas (D)*

Tiempo Transc. (min)	T (°C)	Lectura real del hidrometro (Rr)	Lectura corregida del hidrometro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco	L (cm)	(L/t) <sup>0.5</sup>	K	% que pasa referido a la muestra total	D (mm)
2	25	33	27.30	28.43	34	10.7	2.31	0.014134	9.36	0.0364954
5	25	30	24.30	25.30	31	11.2	1.50	0.014134	8.33	0.021201
15	25	23	17.30	18.01	24	12.4	0.91	0.014134	5.93	0.01286194
30	25	19	13.30	13.85	20	13.0	0.66	0.014134	4.56	0.00932844
60	25	16	10.30	10.73	17	13.5	0.47	0.014134	3.53	0.00664298
250	26	9	3.65	3.80	10	14.7	0.24	0.013984	1.25	0.00335616
1440	23	8	1.70	1.77	9	14.8	0.10	0.014454	0.58	0.0014454

Figura 3.8 Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #2

## CURVA GRANULOMETRICA DEL SUELO #2



Grava: 5.5%  $D_{60}=0.70$

$$C_u = 0.70 / 0.038 = 18.42$$

Arena: 56.4%  $D_{30}=0.069$

$$C_c = 0.069^2 / (0.70 * 0.038) = 0.18$$

Finos (limos y arcillas): 38.1%  $D_{10}=0.038$

### 3.5.2.3. Análisis Granulométrico del Banco N° 3.

Se realizará a continuación la presentación de los resultados del análisis granulométrico del tercer banco.

## **ENSAYO GRANULOMÉTRICO DEL SUELO (Registro de los análisis)**

Gravedad específica del suelo =  $G_s=2.39$

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS  
(Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)**

Proyecto :DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia : Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano.

*Tabla 3.12 Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10*

Masa Inicial: 5402.06g

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida compensada	% Retenido	% Retenido acum.	% que pasa
3/4"	19.0	0	0	0	0	100
3/8"	9.50	156.08	156.08	2.89	2.89	97.1
N°4	4.75	242.22	242.22	4.48	7.37	92.6
N°10	2.00	411.98	412.74	7.64	15.01	85.0
pasa N°10		4591.02	4591.02	84.99	100	0.0
Σ			5402.06	100		

*Tabla 3.13 Análisis granulométrico del material que se retiene en tamiz n° 10*

Masa Inicial: 98.1 g

Malla	Abertura (mm)	Masa retenida	Masa retenida ajustada	Masa retenida comp.	% Retenido		% Pasa	% Pasa referido muestra total
					Parcial	Acum.		
N°10	2.00	0	0	0	0.0	0	100.0	85.0
N°20	1.18	10.74	10.74	10.74	10.95	10.95	89.05	75.69
N°40	0.600	13.11	13.11	14.04	14.31	25.26	74.74	63.53
N°60	0.300	11.23	11.23	11.23	11.45	36.71	63.29	53.79
N°100	0.150	9.35	9.35	9.35	9.53	46.24	53.76	45.69
N°200	0.075	4.47	4.47	4.47	4.56	50.80	49.2	38.84
Pasa N°200		6.17	48.27	48.27	49.20	100	0.0	0.0
Σ		55.07	97.17	98.01	100.0			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE SUELOS  
(Basada en ASTM D 422-63, Re aprobada en 1998)**

Proyecto : DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL

Lugar de Procedencia : Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano.

**ANÁLISIS HIDROMÉTRICO**

N° de Hidrómetro	: 152 H	Corrección por menisco, Cm	: 1
Gs de los sólidos	: 2.30	Corrección por defloculante, Cd	: 6
Masa seca	: 98.1 g	Factor de corrección, a	: 1.10

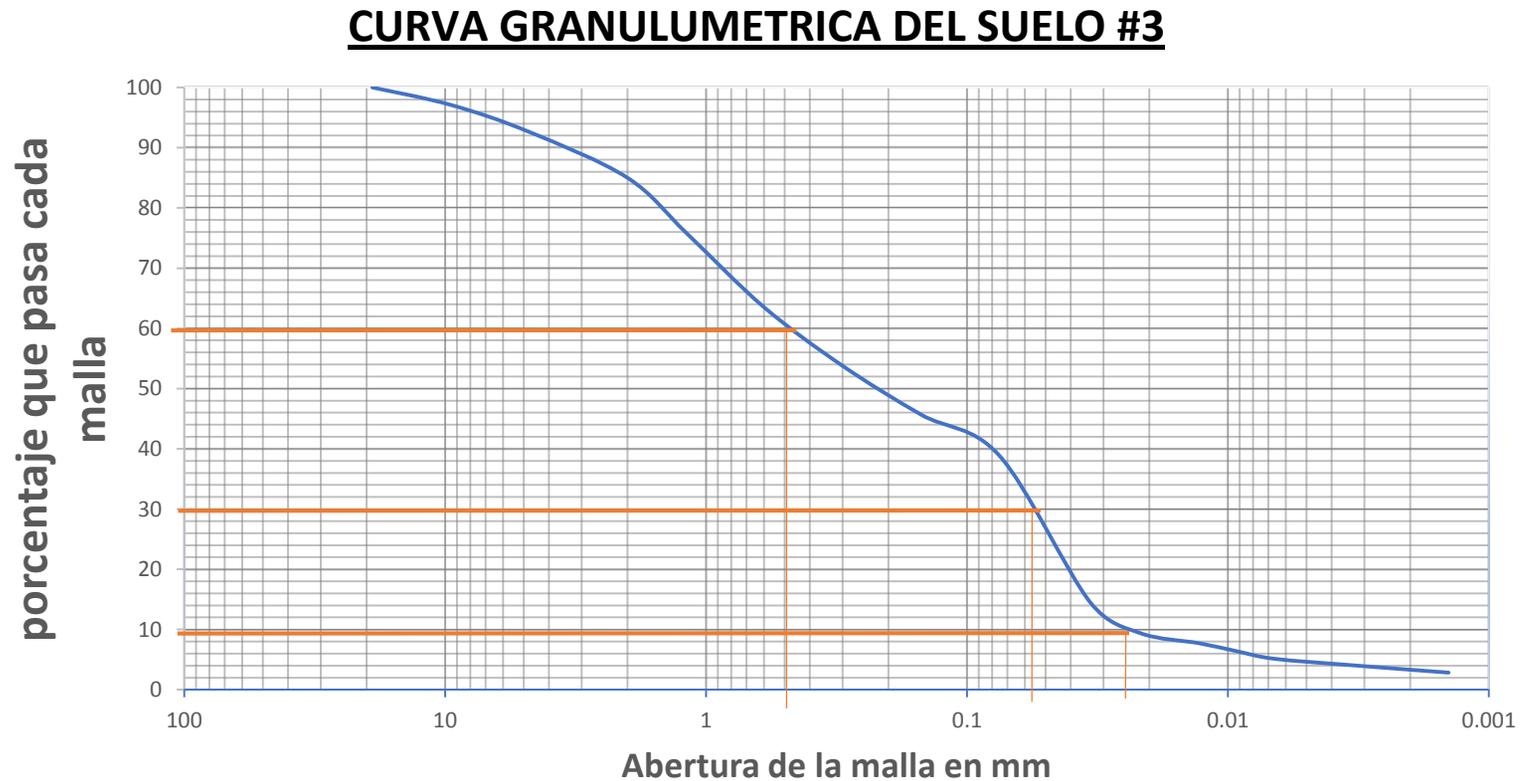
*Tabla 3.14 Corrección por temperatura (ct)*

Temperatura (°C)	Corrección por temperatura (ct)
27	+2.00
28	+2.50
26	+1.65

*Tabla 3.15 Calculo del diámetro de las partículas (D)*

Tiempo Transc. (min)	T (°C)	Lectura real del hidrometro (Rr)	Lectura corregida del hidrometro (Rc)	% que pasa	Hidrómetro corregido por menisco	L (cm)	(L/t) <sup>0.5</sup>	K	% que pasa referido a la muestra total	D (mm)
2	27	29	25	38.03	30	11.4	2.39	0.01411	14.53	0.0337229
5	27	26	22	24.67	27	11.9	1.54	0.01411	9.42	0.0217294
15	27	22	18	20.18	23	12.5	0.91	0.01411	7.71	0.0128401
30	27	19	15	16.82	20	13.0	0.66	0.01411	6.42	0.0093126
60	27	16	12	13.45	17	13.5	0.47	0.01411	5.14	0.0066317
250	28	13	9.5	10.65	14	14.0	0.24	0.01396	4.07	0.0033504
1440	26	11	6.65	7.45	12	14.3	0.10	0.01426	2.84	0.001426

Figura 3.9 Grafico que nos muestra los resultados granulométricos del suelo #3



Grava: 15.5%  $D_{60}=0.49$

$$C_u = 0.49 / 0.024 = 20.41$$

Arena: 46.2%  $D_{30}=0.0545$

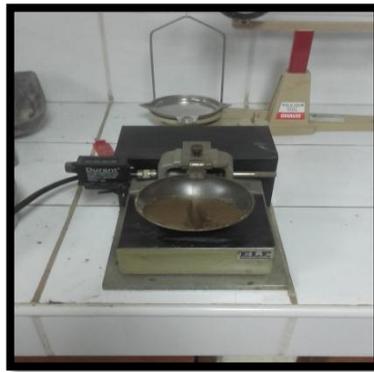
$$C_c = 0.0545^2 / (0.28 * 0.029) = 0.25$$

Finos (limos y arcillas): 38.8%  $D_{10}=0.024$

3.5.3. Límites de Consistencia (Plasticidad) hechos a las muestras extraídas. Regidos por la norma ASTM D-4318 “Método de ensayo para determinación de Limite Líquido, Limite Plástico e Índice de Plasticidad”. Método A.

Con cada uno de los suelos de los tres bancos de préstamo en estudio se realizó este ensayo con diferentes contenidos de humedad.

*Figura 3.10 Ensayo de Límite líquido*



Para el primer suelo, segundo y tercer después de varios ensayos consecutivos con contenidos de agua más altos, el número de golpes requeridos para cerrar la ranura fue siempre menor que 25 por lo tanto llegamos a la conclusión que el límite líquido no puede determinarse por lo tanto se denomina el suelo como “no plástico” para cada uno de los bancos, por tal conclusión se obvio de realizar el ensayo de límite plástico según manda la ASTM D 4318

Tabla 3.16 Cálculo de límite líquido de suelo N°1

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"

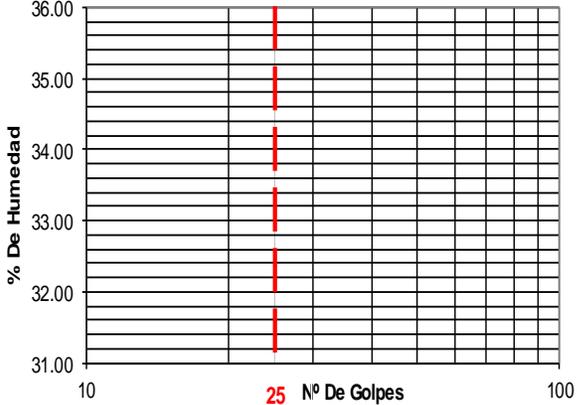


**Proyecto:** Control de Calidad Banco de Prestamo Caña de Tarro  
**Localización:** Ciudad Arce, La Libertad  
**Material:** A-4  
**Para Uso:** Uso Vial

**LIMITE LIQUIDO : ASTM D - 4318**

MUESTRA	1	2	3
PESO DE TARA grs	11.23	12.17	11.80
PESO DEL SUELO HUMEDO + TARA grs	45.67	47.80	47.56
PESO DEL SUELO SECO + TARA grs	40.78	43.27	44.15
PESO DEL AGUA grs	4.89	4.53	3.41
PESO DEL SUELO SECO grs	29.55	31.10	32.35
% DE HUMEDAD	16.55	14.57	10.54
NUMERO DE GOLPES	13	14	15

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**



Límite Líquido (%)	Nose puede determinar
Límite Plástico (%)	Nose puede determinar
Clasificación AASHTO	A-4

Tabla 3.17 Cálculo de límite líquido de suelo N°2

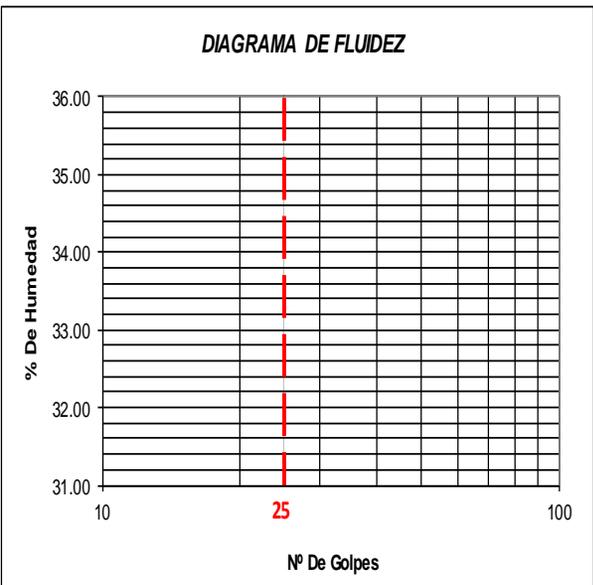
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"				
<b>Proyecto:</b>	Control de Calidad Banco de Prestamo "Francisco Tobar"			
<b>Localización:</b>	Colonia Río Zarco km 34 ½" Carretera a Sonsonate			
<b>Material:</b>	A-2-4			
<b>Para Uso:</b>	Uso Vial			
<b>LIMITE LIQUIDO : ASTM D - 4318</b>				
<b>MUESTRA</b>	1	2	3	
PESO DE TARA grs	11.23	12.17	11.80	
PESO DEL SUELO HUMEDO + TARA grs	38.40	40.23	47.30	
PESO DEL SUELO SECO + TARA grs	34.50	36.78	43.34	
PESO DEL AGUA grs	3.90	3.45	3.96	
PESO DEL SUELO SECO grs	23.27	24.61	31.54	
% DE HUMEDAD	16.76	14.02	12.56	
NUMERO DE GOLPES	12	14	16	
<b>DIAGRAMA DE FLUIDEZ</b>				
				
Límite Líquido (%)		Nose puede determinar		
Límite Plástico (%)		Nose puede determinar		
Clasificación AASHTO		A-2-4		

Tabla 3.18 Calculo de límite líquido de suelo N°3

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



**Proyecto:** Control de Calidad Banco de Prestamo Calle Antigua al Matasano  
**Localización:** Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
**Material:** A-4  
**Para Uso:** Uso Vial

**LIMITE LIQUIDO : ASTM D - 4318**

MUESTRA	1	2	3
PESO DE TARA grs	11.23	12.17	11.80
PESO DEL SUELO HUMEDO + TARA grs	39.30	38.40	42.46
PESO DEL SUELO SECO + TARA grs	34.57	35.23	39.30
PESO DEL AGUA grs	4.73	3.17	3.16
PESO DEL SUELO SECO grs	23.34	23.06	27.50
% DE HUMEDAD	20.27	13.75	11.49
NUMERO DE GOLPES	12	14	15

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**

Límite Líquido (%)	Nose puede determinar
Límite Plástico (%)	Nose puede determinar
Clasificación AASHTO	A-2-4

### 3.5.4. Determinación del Contenido de Ceniza y Materia Orgánica de Turbas y Otros Suelos Orgánicos (Basada en ASTM D 2974-00)

#### **Objetivos:**

- Explicar en forma general el procedimiento que se debe desarrollar para la determinación del contenido de ceniza y materia orgánica de turbas y otros suelos orgánicos, conforme a la norma ASTM D 2974-00.
- Determinar correctamente el contenido de ceniza y materia orgánica de un suelo orgánico por medio del método de ensayo descrito en la Norma ASTM D 2974-00.

#### **Documentos de referencia:**

Normas ASTM

D 2974 Método de ensayo para la determinación del contenido de humedad, ceniza y materia orgánica de turbas y otros suelos orgánicos.

D 653 Terminología relacionada a suelo, roca y fluidos contenidos.

D 2216 Método de ensayo de laboratorio para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas.

**Definiciones:**

Contenido de ceniza:

Se define como el porcentaje en peso seco del material remanente de un suelo orgánico o de una turba, que ha sido secado en un horno y luego calcinado por un método prescrito.

Contenido de agua:

Es la relación de la masa de agua contenida en los poros o agua libre en una masa dada de material, respecto a la masa de las partículas sólidas de ese material, expresada como porcentaje.

Turba:

Es una sustancia altamente orgánica producida naturalmente, la cual es derivada principalmente de los materiales de las plantas.

Nota: La turba se distingue de otros suelos orgánicos por su bajo contenido de ceniza (menos que el 25 % de su peso seco) y de otro material fitogénico de alto grado (carbón lignito) por su valor calorífico más bajo en una base saturada de agua.

### Resumen del método:

Inicialmente el contenido de humedad de una muestra de suelo orgánico o turba es determinado por el secado a una temperatura de 105 °C, utilizando el método de ensayo descrito en la Norma ASTM D 2216 (ver ensayo N° 1). El contenido de humedad es expresado como porcentaje de la masa secada en el horno o de como la masa es recibida. Posteriormente el contenido de ceniza es determinado por medio de un proceso de ignición de la muestra secada en el horno, procedente de la determinación del contenido de humedad; en un horno mufla a una temperatura de 440 °C.

El material remanente después de la ignición es la ceniza. El contenido de ceniza es expresado como un porcentaje de la masa de la muestra secada en el horno. La materia orgánica es determinada sustrayendo a 100 el porcentaje de ceniza.

Nota: El método de ensayo D 2974, define 2 procedimientos para determinar el contenido de humedad y de ceniza. Para propósitos geotécnicos y de clasificación se deberán utilizar los métodos A y C respectivamente, los cuales son descritos en este método de ensayo.

### Aplicación e importancia del método:

El porcentaje de materia orgánica obtenido por medio de este método de ensayo es importante en la clasificación de turbas y otros suelos orgánicos.

**Material y equipo:**

- Muestra de suelo:

Alterada y que sea representativa de campo.

- Horno de Secado:

Que contenga circulación de aire y regulador de temperatura, capaz de mantenerse a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C en toda la cámara de secado.

- Horno mufla:

Capaz de producir una temperatura constante de 440 °C.

Balanza:

Que posea una capacidad mínima de 500 g y una legibilidad de 0.01 g.

Lámina de hule o caucho, tela aceitada u otro material no absorbente

Recipiente de evaporación:

De porcelana, con capacidad mínima de 100 ml.

Desecador:

De tamaño apropiado que contenga gel de sílice o sulfato de calcio anhidrico (drierita).

### **Muestreo y preparación del espécimen**

- a) Tome una muestra de suelo representativa de campo para realizar el ensayo, luego colóquela en una lámina de caucho rígida y mézclela completamente.
- b) Reduzca la muestra por medio de un cuarteo a la cantidad requerida, para obtener el espécimen de ensayo. Nota: La muestra deberá ser de 100 g como mínimo, para obtener dos especímenes de ensayo.
- c) Coloque el espécimen de ensayo y la muestra sobrante por separado en contenedores impermeables.

Nota: Se debe trabajar inmediatamente la muestra o realizar el ensayo en un cuarto con alta humedad, para prevenir la pérdida de agua.

- d) Coloque en el recipiente de evaporación un mínimo de 50 g del espécimen de ensayo preparado anteriormente

Nota: Triture suavemente los terrones en el espécimen con una cuchara o espátula y verifique que su espesor en el recipiente de evaporación no exceda los 3 cm.

- e) Cubra inmediatamente el recipiente de evaporación con su tapa de papel aluminio, luego determine y registre la masa cercana a 0.01 g.
- f) Coloque en el horno el espécimen y seque la muestra descubierta por un tiempo mínimo de 16 horas a una temperatura de 105 °C (ver ensayo No.1 ASTM D 2216) o hasta que no exista ningún cambio en la masa de la muestra, luego de períodos de secado en exceso de 1 hora.

- g) Retire del horno el recipiente de evaporación con la muestra, cúbrala ajustadamente y enfríela en un desecador. Posteriormente determine y registre la masa seca del espécimen con una aproximación de 0.01g.

*Figura 3.11 Determinando masa de los recipientes utilizados en el ensayo*



### **Determinación del contenido de ceniza**

- a) Retire la cubierta de papel aluminio del recipiente de evaporación que contiene el espécimen de ensayo recién utilizado en la determinación del contenido de humedad y colóquelo en el horno mufla.

Nota: Para la determinación del contenido de ceniza puede ser utilizada una porción o la totalidad de la muestra secada en el horno, si se utiliza una porción de ésta se deberá determinar nuevamente la masa seca del espécimen más el recipiente de evaporación.

- b) Aplique gradualmente la temperatura en el horno hasta llevarla a 440 °C y manténgala hasta que el espécimen este completamente cenizo (esto es que no exista ningún cambio en la masa después del periodo de calentamiento).

- c) Cubra con papel aluminio la muestra, enfríela en un desecador y determine la masa del recipiente de evaporación con la muestra, con una precisión de 0.01 g.

*Figura 3.12 Muestra de suelo colocada en el horno mufla*



### **Determinación del contenido de materia orgánica**

Calcule el porcentaje de la cantidad de materia orgánica, como sigue:

$$C_{ma}\% = 100 - C_c$$

Donde:

$C_{ma}$  = Contenido de materia orgánica en porcentaje.

$C_c$  = Contenido de ceniza, en porcentaje.

Tabla 3.19 Determinación del contenido de orgánico de suelo N°2

CONTENIDO DE HUMEDAD	
<p><b>MUESTRA 1</b></p> $M_{r1} = 50.7 \text{ g}$ $M_{h+r} = 100.7 \text{ g}$ $M_{s+r} = 99.70 \text{ g}$ $\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$ $\omega\% = \frac{100.7 - 99.70}{99.70 - 50.7} \times 100$ $\omega\% = \mathbf{2.04}$	<p><b>MUESTRA 2</b></p> $M_{r2} = 50.8 \text{ g}$ $M_{h+r} = 100.8 \text{ g}$ $M_{s+r} = 99.60 \text{ g}$ $\omega\% = \frac{M_{h+r} - M_{s+r}}{M_{s+r} - M_r} \times 100$ $\omega\% = \frac{100.8 - 99.60}{99.60 - 50.8} \times 100$ $\omega\% = \mathbf{2.46 \%$
CONTENIDO DE CENIZA	
<p><b>MUESTRA 1</b></p> $C_c\% = \frac{M_c}{M_s} \times 100$ $C_c\% = \frac{128.1 - 80.6}{124.3 - 74.60} \times 100$ $C_c\% = \frac{47.5}{49} \times 100$ $C_c\% = \mathbf{96.94 \%$	<p><b>MUESTRA 2</b></p> $C_c\% = \frac{M_c}{M_s} \times 100$ $C_c\% = \frac{122 - 74.6}{130.3 - 80.7} \times 100$ $C_c\% = \frac{47.4}{48.8} \times 100$ $C_c\% = \mathbf{97.13}$

CONTENIDO DE ORGANICO	
$C_{ma}\% = 100 - C_c$  $C_{ma}\% = 100 - 96.94$  $C_{ma}\% = \mathbf{3.06}$	$C_{ma}\% = 100 - C_c$  $C_{ma}\% = 100 - 97.13$  $C_{ma}\% = \mathbf{2.87}$

Tabla 3.20 Resumen de datos obtenidos para suelos del banco N°2 y N°3

N° de suelo	2		3	
	1	2	3	4
N° de Muestra				
N° de Recipiente	G-3	B	0-9	21
Masa de Recipiente ( $M_r$ )	g 50.7	50.8	69.6	50.6
Masa de suelo húmedo +recipiente( $M_{h+r}$ )	g 100.70	100.80	119.6	100.6
Masa de suelo seco + recipiente( $M_{s+r}$ )	g 99.70	99.60	119.00	99.80
Masa de agua ( $M_w$ )	g 1	1.2	0.6	0.8
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g 49	48.8	49.40	49.20
<b>Contenido de agua</b>	% <b>2.04</b>	<b>2.46</b>	<b>1.21</b>	<b>1.63</b>
Masa de ceniza + recipientes ( $M_{h+r}$ )	g 129.1	123.0	123.6	120.8
Masa de recipiente	g 80.6	74.6	75.70	73.20
Masa de ceniza	g 48.5	48.4	47.9	47.6
Masa de suelo seco ( $M_s$ )	g 49	48.8	49.40	49.20
Contenido de ceniza ( $C_c$ )	g 98.98	99.18	96.96	96.75
<b>Contenido de materia orgánica(<math>C_{ma}</math>)</b>	% <b>1.02</b>	<b>0.82</b>	<b>3.04</b>	<b>3.25</b>

### 3.6. CLASIFICACIÓN DE SUELOS DE ACUERDO AL MÉTODO AASTHO.

#### 3.6.1. Clasificación de Suelos del Banco de préstamo N°1.

El ensayo de granulometría, el cual consiste en la determinación del tamaño de las partículas del suelo, junto con los porcentajes que representan dentro de este, nos proporciona una herramienta más para el conocimiento del comportamiento de las características de este banco.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio, determinamos que el suelo analizado pertenece a la clasificación de **Suelo Mal Graduado**, debido a los valores de los coeficientes:

$$CU=9.66 \quad CC=0.43$$

Tabla 3.21 Coeficiente de graduación suelo N°1

Expresión	Suelo bien graduado	Suelo mal Graduado
<b>Cu</b>	> 4 gravas > 6 arenas	< 4 gravas < 6 arenas
<b>Cc</b>	$1 < Cc < 3$	$3 < Cc < 1$

Es un suelo mal graduado ya que su  $Cu > 6$ , pero su  $Cc$  es  $Cc < 1$

### CLASIFICACIÓN AASHTO

*Dado que los límites de Atterberg no se pudieron desarrollar para este suelo porque no presentaban plasticidad alguna, pero con un  $IG=0$  y con más 35% del material pasante en la malla # 200 se clasifica como un suelo **A-4, Material Limo Arcilloso**, catalogado como Regular a Malo según la según AASHTO M 145.*

### 3.6.2. Clasificación de suelos del banco de préstamo N°2.

El ensayo de granulometría, el cual consiste en la determinación del tamaño de las partículas del suelo, junto con los porcentajes que representan dentro de este, nos proporciona una herramienta más para el conocimiento del comportamiento de las características de este banco.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio, determinamos que el suelo analizado pertenece a la clasificación de **Suelo Mal Graduado**, debido a los valores de los coeficientes:

$$CU=18.42$$

$$CC=0.18$$

Tabla 3.22 Coeficiente de graduación suelo N°2

Expresión	Suelo bien graduado	Suelo mal Graduado
<b>Cu</b>	> 4 gravas > 6 arenas	< 4 gravas < 6 arenas
<b>Cc</b>	$1 < Cc < 3$	$3 < Cc < 1$

### CLASIFICACIÓN AASHTO

*Dado que los límites de Atterberg no se pudieron desarrollar para este suelo porque no presentaban plasticidad alguna, pero con un  $IG=0$  y con 32.94% del material pasante en la malla # 200 menos del 35% se clasifica con un suelo Granular A-2-4 clasificado como Material Granular, tipificado como material entre un rango de Excelente a Bueno según la según AASHTO M 145.*

### 3.6.3. Clasificación de suelos del banco de préstamo N°3.

El ensayo de granulometría, el cual consiste en la determinación del tamaño de las partículas del suelo, junto con los porcentajes que representan dentro de este, nos proporciona una herramienta mas para el conocimiento de la Mecánica de Suelos.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio, determinamos que el suelo analizado pertenece a la clasificación de **Suelo Mal Graduado**, debido a los valores de

$$CU=20.41$$

$$CC=0.25$$

*Tabla 3.23 Coeficiente de graduación suelo N°3*

Expresión	Suelo bien graduado	Suelo mal Graduado
<b>Cu</b>	> 4 gravas > 6 arenas	< 4 gravas < 6 arenas
<b>Cc</b>	$1 < Cc < 3$	$3 < Cc < 1$

### CLASIFICACIÓN AASHTO

*Dado que los límites de Atterberg no se pudieron desarrollar para este suelo porque no presentaban plasticidad alguna, pero con un  $IG=0$  y con más 35% del material pasante en la malla # 200 se clasifica como un suelo A-4, Material Limo Arcilloso, catalogado como Regular a Malo según AASHTO M 145.*

## **CAPITULO IV**

# **ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA Y PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA.**

#### 4.1. DISEÑO DE LA MEZCLA MRBC

Para determinar el diseño de este tipo de materiales (MRBC) no hay un método específico sobre el procedimiento que deba seguir según el comité ACI 229 R, dicho comité especifica que para este tipo de material puede encontrarse un diseño por el método de prueba y error hasta alcanzar el proporcionamiento con el cual se obtengan las propiedades que satisfagan las condiciones que se ha propuesto ya sean propiedades de esfuerzo a la compresión, fluidez y la densidad de mezcla que se dese obtener.

Como punto de partida para la ejecución del diseño se tomaron como parámetro los datos que fueron Proporcionados por la empresa DISA S.A de C.V ya que esta empresa ha obtenido buenos resultados con la proporción de los materiales en pesos que corresponde al diseño de resistencias de 7 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días, la cantidad de suelo que sea utilizado en el diseño proporcionado se encuentra en estado húmedo, aclarado esto las cantidades de material a utilizar para hacer 1m<sup>3</sup> de MRBC se resumen en la tabla 4.1-1.

*Tabla 4.1 Proporcionamiento de materiales para diseño de 7kg/cm<sup>2</sup> para 1 m3.*

<b>MATERIALES</b>	<b>PESOS (Kg)</b>
<b>CEMENTO</b>	<b>74.38</b>
<b>AGUA</b>	<b>420</b>
<b>SUELO</b>	<b>1250</b>

Los datos anteriores son valores calculados para obtener aproximadamente un volumen de  $1\text{m}^3$  o su equivalente en litros cuyo valor es 1000 Lts.

Para el cálculo del diseño es importante tomar en cuenta que la mezcla que deseamos obtener tenga un revenimiento alto que se encuentre entre  $8 \pm 1$  in ya que con esto estamos garantizando que la mezcla tenga un comportamiento fluido, es por ello que para el cálculo del agua sea estimado una relación agua/cemento que se encuentre entre 3 y 6 esto debido a que en los dos diseños propuestos se estableció.

Para este diseño que se espera que tenga una resistencia de  $7\text{Kg/cm}^2$  a los 7 días se consideró la cantidad de cemento con un valor de 1.75 de bolsa de cemento.

$$1 \text{ bolsa de cemento} \rightarrow 42.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Cemento} = 42.5 * 1.75$$

$$\text{Cemento} = 74.38 \text{ Kg}$$

Teniendo el dato anterior se procede a calcular la cantidad de agua aproximada que se utilizara para realizar el diseño:

$$\frac{a}{c} = \frac{\text{agua}}{\text{cemento}}$$

Se tomó el valor de  $a/c = 5.65$  ya que con esta cantidad se logró aproximadamente alcanzar el revenimiento deseado.

$$5.65 = \frac{\text{agua}}{74.38}$$

$$\text{agua} \approx 420 \text{ lts}$$

Ahora teniendo los valores del agua y del cemento se procede a calcular cantidad de suelo

$$\text{volumen de cemento} = \frac{\text{cemento}}{\text{gravedad especifica} * \text{densidad del agua}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{74.38 \text{ Kg}}{2.95 * 1 \text{ kg/Lts}} = 25.21 \text{ lts}$$

Posteriormente se hace el cálculo para un volumen de 1000 Lts

$$1000 = \text{Agua} + \text{Suelo} + \text{Cemento} + \text{Aire}$$

$$1000 = 420 + \text{suelo} + 25.21 + 25$$

$$\text{suelo} = 529.79 \text{ Lts}$$

A continuación se debe convertir el volumen a unidades de pesos.

$$\text{volumen de suelo} = \frac{\text{suelo}}{\text{gravedad especifica} * \text{densidad del agua}}$$

$$\text{suelo} = \text{volumen de suelo} * \text{gravedad especifica} * \text{densidad del agua}$$

$$\text{suelo} = 529.79 \text{ Lts} * 2.36 * 1 \text{ Kg/Lts}$$

$$\text{suelo} \approx 1250 \text{ Kg}$$

Tabla 4.2 Determinación del volumen para los materiales para 1m<sup>3</sup> (MRBC).

Material	Masa (kg)	G <sub>s</sub>	Volumen (lts)
Cemento	74.38	2.95	25.21
Agua	420	1	420
Suelo	1250	2.36	563.06
		<b>TOTAL</b>	<b>1000</b>

Con los datos obtenidos se deberá hacer una corrección por humedad debido a las condiciones a las que se encuentra el suelo en el lugar de trabajo. Esta corrección por humedad se debe de realizar cuando se está elaborando la mezcla, ya que el valor de humedad considerado es el que presenta el suelo en el momento del mezclado y a continuación se determinan los siguientes datos:

- Se determina el contenido de humedad del suelo

$$\%humedad = \frac{W_{humedo+tara} - W_{seco+tara}}{W_{seco+tara} - W_{tara}} * 100$$

Los valores que se muestran son tomados de las muestra del banco N°1

$$\% humedad = \frac{460.5 - 413.8}{413.8 - 143.3} * 100$$

$$\% humedad = 17.26\%$$

El resultado obtenido del ensayo de absorción de material fino bajo norma ASTM C-128 es el siguiente para el suelo del Banco N°1

$$\% \text{ abs} = 3.09\%$$

Para determinar la cantidad de agua libre que contienen las partículas de suelo, se resta el contenido de humedad (%humedad) que contiene las partículas de suelo menos su absorción (%abs). Posteriormente se determina la condición de suelo. Si la humedad de las partículas de suelo es mayor que la absorción, se interpreta como exceso de humedad; si la humedad de las partículas de suelo es menor que la absorción, muestra la falta de agua; en ocasiones se da el caso que el valor de humedad del suelo y el valor de absorción son el mismo, en este caso la interpretación adecuada es un equilibrio en el contenido de agua.

En este caso el valor **% humedad > % abs** es por ello que el suelo tiene exceso de humedad por tanto se debe quitar agua a la cantidad de agua obtenida de la siguiente forma:

$$\% \text{ abs} - \% \text{ humedad} = 3.09 - 17.16$$

$$\% \text{ humedad} - \% \text{ abs} = -14.17\%$$

$$\text{suelo corregido} = \text{suelo} * \left[ 1 + \frac{\% \text{ abs} - \% \text{ humedad}}{100} \right]$$

$$\text{suelo corregido} = 1250 * \left[ 1 - \frac{-14.17}{100} \right] = 1427.18 \text{ kg}$$

$$\text{agua corregida} = \text{agua} + \left( \text{suelo} * \left[ \frac{\%abs - \%humedad}{100} \right] \right)$$

$$\text{agua corregida} = 420 + \left( 1250 * \left[ \frac{-14.17}{100} \right] \right) = \mathbf{242.82 Kg}$$

Tabla de datos corregidos:

*Tabla 4.3 Proporción de materiales por corrección de humedad del suelo.*

<b>MATERIALES</b>	<b>PESOS (Kg)</b>
Cemento	<b>74.38</b>
Agua	<b>242.82</b>
Suelo	<b>1427.18</b>

Se calculara el proporcionamiento de los materiales de la siguiente manera:

$$1 \text{ bolsa de cemento} \rightarrow 0.0283 \text{ m}^3$$

$$1.75 \text{ bolsa de cemento} = 0.04935 \text{ m}^3$$

$$\text{peso de bolsa de cemento} = 42.5 \text{ Kg}$$

$$\text{Volumen de suelo} = \text{Volumen bolsa de cemento} * \text{Proporción volumétrica}$$

$$\text{peso del suelo} = \text{Volumen del suelo} * \text{peso de suelo suelto}$$

El peso de suelo suelto se determinó por medio de prueba de ensayo ASTM C-29 "Determinación de pesos Volumétricos sueltos" cuyo valor para el suelo del Banco N°1 es de 1,125 Kg/m<sup>3</sup>

$$\text{Volumen del suelo} = \frac{1250}{1125} = 1.11 \text{ m}^3$$

$$\text{Proporción Volumétrica} = \frac{\text{Volumen de suelo}}{\text{Volumen bolsa de cemento}}$$

$$\text{Proporción Volumétrica} = \frac{1.11}{0.04935} \approx 22$$

***Nuestra proporción volumétrica para este diseño será de 1:22***

De igual manera se elaboró el diseño de la mezcla para la obtención de una resistencia de 14 Kg/cm<sup>2</sup> a los 7 días. Con la diferencia en la cantidad de cemento que se empleó fue un valor de 2 bolsas de cemento. A continuación se presentan los dos diseños que se evaluaron para los diferentes suelos analizados:

*Tabla 4.4 Resumen de Diseños en pesos de las proporciones a 7 y 14 Kg/cm<sup>2</sup>.*

<b>resistencia de 7 kg/cm<sup>2</sup></b>					
Dosificación	Componentes de la mezcla en pesos (Kg)			Relación A/C	Revenimiento
	Suelo	Cemento	Agua		
1:22	1250	74.38	420	5.65	8±1
<b>resistencia de 14 kg/cm<sup>2</sup></b>					
Dosificación	Componentes de la mezcla en pesos (Kg)			Relación A/C	Revenimiento
	Suelo	Cemento	Agua		
1:15	1250	106.25	410	3.95	8±1

*Tabla 4.5 Resumen de Diseños en porcentajes de las proporciones a 7 y 14 Kg/cm<sup>2</sup>.*

<b>resistencia de 7 kg/cm<sup>2</sup></b>					
Dosificación	% de los Componentes de la mezcla en pesos (Kg)			Relación A/C	Revenimiento
	Suelo	Cemento	Agua		
1:22	71.66	4.26	24.08	5.65	8±1
<b>resistencia de 14 kg/cm<sup>2</sup></b>					
Dosificación	% de los Componentes de la mezcla en pesos (Kg)			Relación A/C	Revenimiento
	Suelo	Cemento	Agua		
1:15	70.77	6.02	23.21	3.95	8±1

## **4.2. PARÁMETROS DE CONTROL DE CALIDAD EN MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA.**

El MRBC siendo un material de uso en la construcción debe respaldar el uso que se le da con un control de calidad específico estipulado en las Normas ACI y ASTM.

### **4.2.1. Generalidades**

El control de calidad aplicado a las mezclas de Materiales de Resistencia Baja Controlada (MRBC) varía de acuerdo con la experiencia previa, aplicación, materiales utilizados en la mezcla, y nivel de calidad deseado.

Un programa de control de calidad puede ser tan simple como una inspección visual de todo el trabajo cuando se emplean mezclas normalizadas y ensayadas y el trabajo es relativamente pequeño.

Cuando se hace una aplicación crítica, el volumen a colocar es considerable, no se tienen registros de la mezcla a utilizar, los materiales utilizados en la mezcla no están normalizados, o cuando la uniformidad de la mezcla es cuestionada, es apropiado entonces efectuar ensayos de consistencia y resistencia<sup>65</sup>.

Las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido, pueden ser medidas para evaluar la consistencia y desempeño de la mezcla.

---

<sup>65</sup> Tomado de: Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido, Ana Laura Viera Estrada.

Se sugiere que en la mayoría de proyectos donde se utilice este material, se debe realizar un diseño de mezcla y realizar los ensayos previos de fluidez, peso unitario, resistencia, tiempo de aplicación de carga.

Una vez realizado el programa de ensayos previos, definir que ensayos de campo deberán realizarse.

Es responsabilidad del que realiza las especificaciones técnicas y del productor de MRBC, determinar y cumplir con un plan de control de calidad adecuado para la mezcla a colocar.

#### 4.2.2. Ensayos para el Control de Calidad en Mezclas (MRBC).

Los ensayos a realizar en mezclas en estado fresco como en estado endurecido, dependen de las características de los materiales utilizados en la elaboración de la mezcla, así como también de la consistencia requerida.

En nuestro país no hay estándares oficiales que indiquen como medir las propiedades del MRBC, no obstante si hay algunos estándares ASTM que lo hacen.

Algunos de esos ensayos se enuncian a continuación:

#### 4.2.2.1. Prueba de Revenimiento de Mezcla de Materiales de Resistencia Baja Controlada (ASTM C-143)

Se realiza el ensayo de revenimiento, el cual consiste en llenar un molde (cono de Abrams), con una muestra de Material de Resistencia Baja Controlada (MRBC) y medir el asentamiento que experimenta al quitar el molde<sup>66</sup>.

La prueba del Revenimiento se realiza de la siguiente manera:

1. Se toma una muestra de Material de Resistencia Baja Controlada
2. Se llena el cono de Abrams (de 30 cm. de alto, 20 cm. de diámetro en la base mayor y 10 cm. de diámetro en la base menor), a diferencia de la prueba que se le realiza al concreto que se llena con tres capas de la mezcla compactando con una varilla de hierro; la mezcla de MRBC por su propiedad de alta fluidez se llena hasta llenar el cono (no necesita varillarse) (Ver Fig. 4.1).

*Figura 4.1 Llenado del cono Abrams*



---

<sup>66</sup> ASTM C-143 Método de Ensayo Estándar para Revenimiento del Concreto de Cemento Hidraulico

3. Una vez lleno, se enrasa el borde superior e inmediatamente se levanta en forma vertical (Ver Fig. 4.2)

*Figura 4.2 Enrasado y Levantamiento del cono de Abrams.*



4. Luego se mide el asentamiento del MRBC (Ver Fig. 4.3)

*Figura 4.3 Medición de Revenimiento*



Este ensayo es sugerido para medir la consistencia de mezclas de MRBC que contengan partículas mayores a  $\frac{3}{4}$  de pulgada, y para mezclas con una consistencia menores o iguales 8 pulgadas.

5. En mezclas muy fluidas, este método no es aplicable, ya que el mismo material confina lateralmente el material de la zona central, tendiendo a frenar dicha fluidez.

4.2.2.2. Contenido de aire del concreto por el método de presión aplicado a Mezcla de Materiales de Resistencia Baja Controlada. (ASTM C231).

Este ensayo cubre la determinación del contenido de aire en Mezclas de Materiales de Resistencia Baja Controlada recién mezclado a partir de la observación del cambio en el volumen del MRBC con un cambio en la presión. El ensayo está diseñado para utilizarse en concretos y morteros con agregados relativamente densos a los cuales se les puede aplicar un factor de corrección. No obstante por efectos de investigación lo hemos aplicado a mezclas de MRBC. El ensayo permite determinar el contenido de aire por medio del método de presión. En los métodos ASTM C138 y C173, la determinación se especifica por medio de métodos gravimétricos y volumétricos respectivamente<sup>67</sup>.

El ensayo se realiza con una muestra de MRBC recién mezclado, de acuerdo con el procedimiento del ensayo ASTM C173. La muestra debe contener material suficiente para llenar completamente el recipiente de medición del tamaño seleccionado para su uso.

Procedimiento para determinar el contenido de aire<sup>68</sup>:

1. El molde se debe colocar sobre una superficie horizontal, rígida y nivelada.

---

<sup>67</sup> ASTM C231 Contenido de aire del concreto por el método de Presión.

<sup>68</sup> Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el Método de Presión, instituto mexicano del cemento y del concreto, A.C.

2. Colocar la mezcla en el interior del molde, depositándolo con cuidado alrededor del borde para asegurar la correcta distribución de la mezcla y una segregación mínima.
3. Llenar el molde en 2 capas de igual volumen. En la última capa agregar la cantidad de la mezcla suficiente para que el molde quede lleno después de la compactación. Cada capa se debe golpear a los lados del molde ligeramente de 10 a 15 veces con el mazo de goma para liberar las burbujas de aire que puedan estar atrapadas.
4. Enrasar el exceso de la mezcla con una regla metálica para mejorar el acabado superior. Debe darse el menor número de pasadas para obtener una superficie lisa y acabada (Ver Fig. 4.4).

*Figura 4.4 Enrasado del molde para contenido de aire.*



5. Se limpian las cejas del recipiente para que la cubierta, al colocarse, tenga un cierre hermético. Se monta el aparato; se cierra la válvula de aire y se abren las válvulas de purga para inyectar agua. Se inyecta agua por una de

las válvulas, hasta que salga por la otra válvula. Se golpea suavemente el recipiente hasta que expulse todo el aire.

*Figura 4.5 Colocación del Manómetro y cierre de las válvulas de purga.*



6. Se cierran ambas válvula de purga y se bombea aire dentro de la cámara, hasta que se estabilice el indicador; esta lectura representa el contenido del porcentaje de aire en la mezcla (Ver Fig. 4.6)

*Figura 4.6 Bombeo de aire en la cámara.*



7. Es necesario liberar la presión abriendo las válvulas de purga antes de quitar la cubierta.

#### 4.2.2.3. Método de ensayo para la determinación de la Permeabilidad de Suelos (Método de Carga Variable), ASTM D 5084 (para todos los suelos).

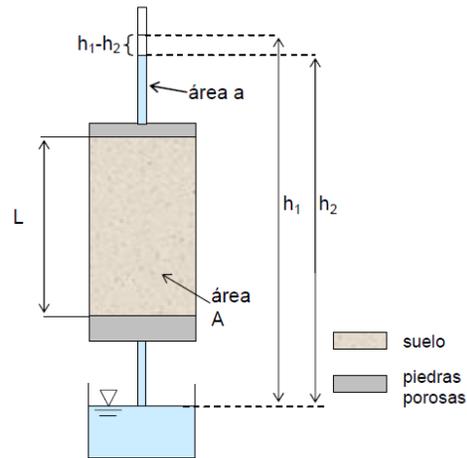
El ensayo de permeabilidad de carga variable se utiliza principalmente para suelos menos permeables como arcilla y limo, ya que en suelos de grano fino las medidas de flujo a través del suelo son muy pequeñas y el tiempo de ensayo es relativamente largo.

Este método de ensayo consiste en colocar dentro de un permeámetro de forma cilíndrica, un espécimen de suelo; el cual es drenado para la extracción del aire contenido en él. Posteriormente la cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta por medio de la observación de la relación entre la caída del nivel de agua en un tubo recto colocado sobre la muestra y el tiempo transcurrido. La longitud  $L$ , el área  $A$  de la muestra y el área " $a$ " del tubo recto son conocidos (ver Fig. 4.7). En adición, las observaciones deben ser hechas en no menos de 2 niveles diferentes de agua en el tubo recto<sup>69</sup>.

---

<sup>69</sup> Geología y Geotecnia "Permeabilidad de Suelos", Mg. Ing. Silvia Angelone.

**Figura 4.7** Esquema del Permeámetro



Procedimiento a seguir para determinar la permeabilidad de los suelos por el método de carga variable<sup>70</sup>.

1. El molde se debe colocar sobre una superficie horizontal y nivelada.
2. Colocar la mezcla en el interior del molde, depositándolo con cuidado alrededor del borde para asegurar la correcta distribución de la mezcla y una segregación mínima (ver Fig. 4.8).

**Figura 4.8** Llenado del Permeámetro.



<sup>70</sup> Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I, Ing. Abraham Polanco Rodríguez.

3. Se mide la longitud ( $L$ ) y área de la muestra de suelo ( $A$ ).
4. Se tapa el permeámetro, sellándose perfectamente para evitar fugas de agua (ver Fig. 4.9).

*Figura 4.9 Permeámetro sellado.*



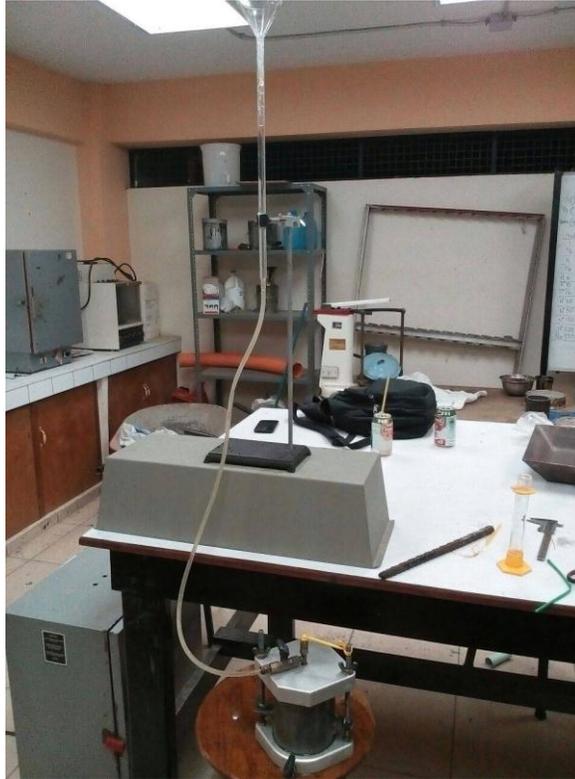
5. Se vierte agua en la bureta hasta la marca de 0 ml, la que debe estar conectada al permeámetro por medio de una manguera de plástico (Ver Fig. 4.10).

*Figura 4.10 Bureta para ensayo de permeabilidad (Carga variable).*



6. Se inicia la medición de carga hidráulica inicial, desde el momento que se establezca el flujo de agua. La carga hidráulica inicial queda comprendida desde la superficie libre del agua contenida en al bureta hasta el orificio de salida del permeámetro.

*Figura 4.11 Ensayo de Permeabilidad (Carga variable).*



7. Dependiendo de la permeabilidad del suelo en estudio, se fija el tiempo de prueba; en algunos casos, la carga hidráulica final se toma hasta las 24 hrs. De iniciada la prueba.

#### 4.2.2.4. Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC (ASTM D4832).

Este método cubre los procedimientos para la preparación, curado, transporte y ensayo de especímenes cilíndricos para la determinación de la resistencia a compresión. Generalmente, la resistencia a compresión en el diseño de mezcla es considerada a los 28 días. Como control en el campo se especifica a 7 días. Esta práctica explica el procedimiento para obtener una muestra representativa para ensayo en una mezcla fresca de MRBC como se entrega en el sitio del proyecto.

Para fabricar cilindros de Suelo Cemento Fluido o MRBC se realiza con agregado grueso no mayor de 5cm; cuando la mezcla contenga partículas de tamaño mayor que la dimensión indicada deben ser retiradas antes del ensayo.

Los moldes a utilizar para los especímenes pueden ser de varios tamaños:

- a) Tamaño estándar son cilindros con un diámetro de  $15 \pm 0.2$ cm, y con una altura de  $30 \pm 0.2$  cm.
- b) Tamaño menores en este caso se debe conservar una relación de altura/diámetro= 2 (relación de esbeltez).
- c) Moldes cúbicos se pueden utilizar como los usados para las pruebas a los cementos hidráulicos y a los morteros usados en mampostería.

Procedimiento a seguir para elaborar los especímenes<sup>71</sup>:

---

<sup>71</sup> ASTM D4832 Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC

1. Al molde y su base se le debe de colocar una capa de aceite antes de usarlo, esto sirve para lubricar y facilitar el desmoldado.
2. El molde se coloca sobre una superficie horizontal, rígida y nivelada libre de vibraciones; Los especímenes deben ser preparados en un lugar tan cercano como sea práctico donde serán almacenados durante los primeros cuatro días.

Mezcle completamente el MRBC en el recipiente de muestreo y mezclado.

3. Con un balde o pala, cucharones, a través de la porción central del Receptáculo y ponga el MRBC dentro del molde cilíndrico. Repita hasta que el molde esté lleno sin varillarse (Ver Fig. 4.12).

*Figura 4.12 Proceso de llenado de los cilindros.*



4. Usando una cuchara de albañil o la varilla se enrasa la superficie del cilindro (Ver Fig. 4.13).

*Figura 4.13 Enrasado de los cilindros.*



5. Finalmente se almacenan los cilindros en el sitio de construcción hasta el cuarto día después de la preparación (Ver Fig. 4.14).

*Figura 4.14 Cilindros de MRBC*



6. Se desmoldan al 4to día y se colocan en una superficie firme y nivelada libre de vibración. Los cilindros deberán ser almacenados bajo condiciones que mantengan la temperatura inmediatamente adyacente a los cilindros en el

rango de 16 a 27° C (60 a 80° F). Después del primer día, proporcione una humedad ambiental alta, cubriendo los cilindros con papel periódico húmedo u otro material altamente absorbente (Ver Fig. 4.15).

*Figura 4.15 Curado de los cilindros de MRBC*



#### 4.2.2.5. Prueba a compresión de los cilindros del Relleno Fluido de Resistencia Controlada (ASTM C 39 / C 39M).

El ensayo de la resistencia a la compresión se realiza basándose en la norma ASTM C-39, los cilindros de suelo cemento fluido se ensayan a los 28 días con el objeto de obtener la resistencia.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de cualquier mezcla a carga axial.

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo  $f'_c$ . Para determinar la resistencia

a la compresión, se realizan pruebas de especímenes de suelo cemento fluido.

La resistencia del MRBC puede ser medido por varios métodos.

Los más comunes son los ensayos de resistencia a compresión no confinada.

Algunos métodos de ensayo de la ASTM que realizan son:

- ASTM D4832 “Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC”

Este ensayo se usa para preparar cilindros y determinar la resistencia a la compresión de Rellenos Fluidos endurecidos.

- ASTM D6024 “Caída de Bola en RFRC para determinar convenientemente la Aplicación de Carga”.

Procedimiento empleado para el Ensayo de Resistencia a la Compresión<sup>72</sup>:

1. Se pesan los especímenes, se mide la altura y el diámetro del cilindro (Ver Fig. 4.16).

*Figura 4.16 Registro del peso y dimensiones del cilindro.*



2. Se coloca el bloque de carga inferior con su cara endurecida hacia arriba sobre la placa de la máquina de ensayo.

---

<sup>72</sup> ASTM D4832 “Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC”

3. Cuidadosamente alinear el eje del espécimen con el centro del cabezal del bloque con asiento esférico (Ver Fig. 4.17).

*Figura 4.17 Colocación del cilindro en la máquina.*



4. Aplicar la carga continuamente y sin golpe a una razón constante de tal forma que el cilindro no falle en menos de 2 min. No hacer ajustes en los controles de la máquina de ensayo cuando un espécimen está cediendo rápidamente antes de la falla.
5. Aplicar la carga hasta que el espécimen falle y luego se registra la carga máxima expresada en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (Ver Fig. 4.18)

*Figura 4.18 Máquina empleada para ruptura de cilindros probados a compresión.*



6. Identificar el tipo de falla de ruptura que se dio en el espécimen, finalizado el ensayo a compresión (Ver Tabla 4.2-1 y Fig. 4.19)

*Tabla 4.6 Diagrama de fallas de cilindros sometidos a compresión.*

N°	Diagrama	Descripción
1		Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado
2		Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en límite de tolerancia especificada o excediendo esta.
3		Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo: también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.
4		Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.
5		Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.
6		Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.
7		Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas, o por ligeras desviaciones en el centro del espécimen para la aplicación de carga.

*Figura 4.19 Fallas de los especímenes de Materiales de Resistencia Baja Controlada.*



4.2.2.6. Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión (ASTM C469/C469M-10).

Este método de prueba abarca la determinación de: El módulo de elasticidad secante o Modulo de Young y la relación de Poisson de los cilindros de concreto fabricados y de los corazones de concreto extraídos con broca de diamante cuando están sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de prueba proporciona la relación esfuerzo–deformación y una relación de deformación lateral y longitudinal para concreto endurecido a cualquier edad y condición de curado especificada. Los valores del módulo de elasticidad y de la relación de Poisson aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 60% de la resistencia última del concreto), se usan en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzado para establecer la cantidad de refuerzo, y para calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

El Equipo de prueba es un equipo de prueba capaz de aplicar una carga a la velocidad y magnitud. El equipo debe cumplir los requisitos indicados. La cabeza esférica y los bloques de soporte deberán cumplir con lo indicado en la sección equipo en el método de prueba C39/C39M.

Entre el equipo utilizado para la ejecución de este ensayo se encuentra el compresómetro que consiste de dos anillos, uno de los se encuentra rígidamente acoplado al espécimen y el otro está acoplado a dos puntos diametralmente opuestos de manera que pueda rotar libremente. En uno de los puntos del anillo libre, a la mitad entre los dos puntos de soporte, usar un vástago pivote, para

mantener una distancia constante entre los dos anillos. En el punto opuesto del anillo libre, el cambio en distancia entre los anillos (esto es, el cambio en la lectura en el transductor) es igual a la suma de los desplazamientos debidos a la deformación del espécimen y al desplazamiento debido a la rotación del anillo cercano al vástago pivote.

En cuanto a los especímenes de prueba pueden ser cilindros fabricados se prepararan de acuerdo a los requisitos para especímenes de prueba sometidos a compresión según las Prácticas C192/ C192M o C31/ C31M. Lleve a cabo el curado de los especímenes como se especifique y ensaye para la edad requerida para el módulo de elasticidad. Ensaye los especímenes en un tiempo no mayor a una hora después de ser removidos del cuarto de curado. Los especímenes que han sido extraídos de un cuarto húmedo, mantendrán su humedad cubriéndolos con una tela húmeda, mientras esperan a ser ensayados. Medir el diámetro del espécimen de prueba con un vernier con aproximación de 0.2 mm [0.01 pulg.]. Promediando dos diámetros medidos en ángulos rectos uno al otro cerca del centro de la longitud del espécimen. Este diámetro promedio se usa para calcular el área de la sección transversal. Mida y reporte la longitud de un espécimen colado, incluyendo el cabeceo con aproximación de 2 mm [0.1 pulg.]. Mida la longitud de un espécimen extraído con barreno de acuerdo al método de

prueba C174/ C174M; reportar la longitud de un espécimen, incluyendo el cabeceo, con una aproximación de 2 mm [0.1 pulg.]<sup>73</sup>.

#### Procedimiento.

1. Mantener la temperatura ambiente y la humedad tan constante como sea posible durante la prueba. Registre en el reporte cualquier fluctuación inusual de humedad y temperatura.
2. Usar los especímenes testigo para determinar la resistencia a la compresión según lo indicado en el método de prueba C39/ C39M antes del ensaye de módulo de elasticidad.
3. Coloque el espécimen, con el equipo de medición de deformación acoplado, en el plato inferior o bloque de soporte del equipo de prueba. Alinear cuidadosamente el eje del espécimen con el centro del bloque de soporte superior. Anotar la lectura de los transductores. A medida que el bloque esférico se pone en contacto con el espécimen, rote cuidadosamente a mano la parte móvil del bloque para obtener un contacto uniforme.

---

<sup>73</sup> (ASTM C469/C469M-10). Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión.

Figura 4.20 Colocación de los anillos y de los deformímetros.



4. Cargar el espécimen por lo menos dos veces. No registre ningún dato durante la primera carga. Base los cálculos en el promedio de los resultados de cargas subsecuentes. La primera carga es principalmente para lograr el asentamiento de los transductores y durante la cual se observa el desempeño de estos corrigiendo cualquier comportamiento inusual antes de la segunda carga. La obtención de cada conjunto de lecturas es como sigue: aplique la carga de manera continua y sin impacto. Ajustar las máquinas de ensayo tipo hélice o tornillo de manera que la cabeza móvil tenga una velocidad de 1 mm/min [0.05 pulg./min], cuando la prueba este corriendo. Para equipos operados hidráulicamente, aplique la carga a una velocidad constante en el rango de  $250 \pm 50$  kPa/s [ $35 \pm 7$  psi/s]. Registrar, sin interrupción de carga, el valor de la carga aplicada y de la deformación longitudinal en el punto (1), cuando la deformación

longitudinal es 50 millonésimas y (2) cuando la carga aplicada es el 40 % de la carga última o de rotura. La deformación longitudinal está definida como la deformación longitudinal total dividida entre la longitud efectiva del equipo de medición. Si se va a determinar la relación de Poisson, entonces registre la deformación transversal en los mismos puntos.

5. Si se desea obtener una curva esfuerzo - deformación, deberán tomarse dos o más lecturas en puntos intermedios sin interrumpir la carga; o utilice algún instrumento que realice un registro continuo. Inmediatamente después de alcanzar la carga máxima, excepto en la carga final, reduzca la carga hasta cero a la misma velocidad a la cual fue aplicada.

*Figura 4.21* Espécimen colocado en máquina para realizar el ensayo.



## **CAPITULO V**

# **PRUEBAS DE LABORATORIO REALIZADAS A LOS SUELOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ESPECÍMENES REALIZADOS.**

Después de haber realizado el análisis de los suelos a cada uno de los tres bancos de nuestra investigación se determinó que dichos suelos poseen una clasificación de arena limosa. Se logró establecer que se necesitaba una cantidad de 4 metro cúbicos para poder elaborar los especímenes que se emplearán para determinar la resistencia a la compresión de los suelos empleados en este estudio.

### **5.1.ELEMENTOS DE PRUEBA**

Después de haber finalizado con el diseño de la mezcla se procedió a efectuar el colado de los especímenes de la siguiente manera:

**Cilindros:** se elaboró la mezcla en una concretara de eje horizontal, colándose la mezcla en cilindros metálicos con dimensiones de 6 y 12 pulgadas de diámetro y altura respectivamente. El procedimiento empleado para la elaboración de los cilindros es el descrito en la sección 4.2.2.4

Dado que no existe una norma que establezca la cantidad de especímenes a elaborar para determinar la resistencia de los rellenos fluidos, y además tomando como base lo establecido por el ACI en su designación ACI 229 la cual dice: Los Materiales de Resistencia Controlada poseen las mismas características que el concreto cuando estos se encuentran en estado fresco; de acuerdo a lo establecido por esta norma, para el desarrollo de este trabajo de graduación se han aplicado las normativas que se usan para la determinación de las

propiedades del concreto para determinar las propiedades de los rellenos fluidos de resistencia controlada.

Para poder determinar la cantidad de espécimen de prueba a elaborar para determinar la resistencia de los RFRC, se ha tomado como base lo establecido por el ACI 214 (norma aplicable al concreto), la cual establece que: para determinar la resistencia a la compresión es necesario desarrollar 30 pruebas, entendiéndose como una prueba, el ensaye de tres cilindros, 2 cilindros como mínimo. Para nuestro caso se tomó el segundo parámetro establecido por esta normativa, es decir que se desarrollaron 24 especímenes para cada edad de prueba, teniendo de esta manera nuestra investigación un respaldo que va de acuerdo a lo establecido por las normas tanto las establecidas por el ACI como las establecidas por el ASTM.

#### 5.1.1. Sometimiento de los especímenes a prueba.

##### **Compresión:**

El ensayo de la resistencia a la compresión se realizó basándose en la norma ASTM C-39 los cilindros de suelo cemento semi fluido fueron ensayados a los 7, 14 y 28 días con el objeto de obtener la resistencia a diferentes edades con las diversos suelos; elaborándose para cada suelo una curva de resistencia a la compresión versus tiempo, resultados que se encuentran contemplados en las tablas mostradas en los análisis de resultados.

## 5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Después de haber efectuado las pruebas a los suelos, elaboración y ensayo de los especímenes de acuerdo a lo que establecen las normas ASTM, y cumpliendo en especial con los parámetros de control establecidos por el reglamento ACI en su designación ACI 229, que es el fundamento de esta investigación. Antes de mostrar los resultados de los especímenes que se ensayaron para nuestra investigación, se tenía pendiente que los resultados que se esperaban después de las pruebas a la compresión eran los siguientes:

TIPO DE SUELO	DOSIFICACION	TIPO DE CEMENTO	RESISTENCIA A COMPRESION ESPERADA
SUELOS	1:22	1157 HE	7 kg/cm <sup>2</sup>
	1:15		14 kg/cm <sup>2</sup>

***RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN EN  
ESPECIMENES DE  
MATERIALES DE  
RESISTENCIA BAJA  
CONTROLADA  
ASTM C-39***

*Banco de préstamo #1*

*Caña de Tarro, Ciudad Arce*

*La Libertad*

***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION A 7 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) - Suelo N°1.**

*Tabla 5.1 Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 1</b>									
MATERIALES			VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	G <sub>s</sub> = 2.95	25	Wsh+tara=	460.5	% humedad	% absorción	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	G <sub>s</sub> = 1	420	Wsc+tara=	413.8				
Suelo	1250	G <sub>sss</sub> = 2.22	563	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		<b>1008</b>	<b>% de humedad</b>	<b>17.26%</b>	<b>17.26%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-14.17%</b>	<b>-</b> <b>177.18</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRIC(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.54	REVENIMIENTO (in)		7.5			
Agua (Kg)	242.82	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		31			
Suelo (Kg)	1427.18	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		4.6			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1650.60</b>	RELACION A/C		5.65			

*Tabla 5.2 Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 2</b>									
MATERIALES		G <sub>s</sub>	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	G <sub>s</sub> = 2.95	25	Wsh+tara=	445.2	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	G <sub>s</sub> = 1	420	Wsc+tara=	396.8				
Suelo	1250	G <sub>sss</sub> = 2.22	563	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		<b>1008</b>	<b>% de humedad</b>	<b>19.09%</b>	<b>19.09%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-</b> <b>16.00%</b>	<b>-</b> <b>200.03</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRIC(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.54	REVENIMIENTO (in)		8.5			
Agua (Kg)	219.97	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		35.5			
Suelo (Kg)	1450.03	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		4.4			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1650.60</b>	RELACION A/C		5.65			

Tabla 5.3 Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).

BACHADA 3									
MATERIALES		G <sub>s</sub>	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	G <sub>s</sub> = 2.95	25	Wsh+tara=	456.1	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	G <sub>s</sub> = 1	420	Wsc+tara=	410.5				
Suelo	1250	G <sub>sss</sub> = 2.22	563	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		<b>1008</b>	<b>% de humedad</b>	<b>17.07%</b>	<b>17.07%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-13.98%</b>	<b>-</b> <b>174.70</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.60	REVENIMIENTO (in)			8.5		
Agua (Kg)	245.30	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)			36		
Suelo (Kg)	1424.70	Vrecip	0.007052	% DE AIRE			4.4		
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1659.10</b>	RELACION A/C			5.65		

Tabla 5.4 Datos de diseño de la bachada N°4 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).

BACHADA 4									
MATERIALES		G <sub>s</sub>	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	G <sub>s</sub> = 2.95	25	Wsh+tara=	450.7	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	G <sub>s</sub> = 1	420	Wsc+tara=	406.1				
Suelo	1250	G <sub>sss</sub> = 2.22	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>G<sub>s</sub>= 2.95</b>	<b>1008</b>	<b>% de humedad</b>	<b>16.97%</b>	<b>16.97%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-</b> <b>13.88%</b>	<b>-</b> <b>173.51</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.58	REVENIMIENTO (in)			7.75		
Agua (Kg)	246.49	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)			30		
Suelo (Kg)	1423.51	Vrecip	0.007052	% DE AIRE			4.5		
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1656.27</b>	RELACION A/C			5.65		

Tabla 5.5 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	7	08/03/2017	1	15.4	30.5	186.27	9.54	2000	10.74	153%	11.70	11.41	11.29	9.71	14.17
	7		2	15.4	30.3	186.27	9.42	2358	12.66	181%					
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.5	1988	10.81	154%	11.04				
	7		4	15.4	30.4	186.27	9.56	2100	11.27	161%	11.48				
	7		5	15.4	30.4	186.27	9.24	2240	12.03	172%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.38	2007	10.92	156%					
N°2	7	10/03/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.1	2100	11.42	163%	10.57	11.17	11.29	9.71	14.17
	7		2	15.5	30.5	188.69	9.4	1832	9.71	139%					
	7		3	15.4	30.5	186.27	9.4	2167	11.63	166%	12.17				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.08	2336	12.71	182%	10.76				
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.42	1987	10.67	152%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	8.96	1994	10.85	155%					
N°3	7	13/03/2017	1	15.2	30.5	181.46	9.3	2159	11.9	170%	11.71	11.64	11.29	9.71	14.17
	7		2	15.2	30.5	181.46	9.38	2091	11.52	165%					
	7		3	15.1	30.5	179.08	9.38	1900	10.61	152%	10.75				
	7		4	15.5	30.5	188.69	9.38	2054	10.89	156%	12.47				
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.5	2639	14.17	202%					
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.52	2006	10.77	154%					
N°4	7	15/03/2017	1	15.4	30.5	186.27	9.32	1890	10.15	145%	10.92	10.94	11.29	9.71	14.17
	7		2	15.4	30.5	186.27	9.46	2177	11.69	167%					
	7		3	15.5	30.5	188.69	9.36	1943	10.3	147%	11.54				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.16	2380	12.78	183%	10.35				
	7		5	15.5	30.5	188.69	9.48	1854	9.83	140%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.24	1996	10.86	155%					

Tabla 5.6 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos espémenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	14	15/03/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.48	2106	11.45	164%	13.26	14.51	14.01	10.92	15.74
	14		8	15.2	30.5	181.46	9.34	2735	15.07	215%					
	14		9	15.2	30.5	181.46	9.22	2830	15.6	223%	15.14				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.3	2662	14.67	210%	15.12				
	14		11	15.5	30.5	188.69	9.42	2800	14.84	212%					
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.2	2794	15.4	220%					
N°2	14	17/03/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.26	2821	15.34	219%	13.13	14.24	14.01	10.92	15.74
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.24	2007	10.92	156%					
	14		9	15.4	30.5	186.27	9.5	2735	14.68	210%	14.64				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.32	2648	14.59	208%	14.96				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.28	2703	14.9	213%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.1	2762	15.02	215%					
N°3	14	20/03/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.3	2680	14.58	208%	14.64	13.10	14.01	10.92	15.74
	14		8	15.4	30.5	186.27	9.3	2739	14.7	210%					
	14		9	15.4	30.5	186.27	9.5	2100	11.27	161%	11.29				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.46	2107	11.31	162%	13.37				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.2	2771	15.27	218%					
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.34	2079	11.46	164%					
N°4	14	22/03/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.24	2685	14.8	211%	13.91	14.19	14.01	10.92	15.74
	14		8	15	30.5	176.71	9.14	2300	13.02	186%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.2	2807	15.27	218%	15.51				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.26	2857	15.74	225%	13.14				
	14		11	15.3	30.5	183.85	9.3	2789	15.17	217%					
	14		12	15.4	30.5	186.27	9.38	2067	11.1	159%					

Tabla 5.7 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	28	29/03/2017	13	15.3	30.5	183.85	9.36	3456	18.8	269%	18.31	18.24	17.78	16.92	19.70
	28		14	15.3	30.5	183.85	9.26	3274	17.81	254%					
	28		15	15.4	30.5	186.27	9.28	3333	17.89	256%	18.31				
	28		16	15.3	30.5	183.85	9.26	3442	18.72	267%	18.09				
	28		17	15.3	30.5	183.85	9.3	3492	18.99	271%					
	28		18	15.3	30.5	183.85	9.28	3161	17.19	246%					
N°2	28	31/03/2017	13	15.4	30.5	186.27	9.1	3256	17.48	250%	17.93	18.16	17.78	16.92	19.70
	28		14	15.4	30.5	186.27	9.1	3422	18.37	262%					
	28		15	15.3	30.5	183.85	9.1	3400	18.49	264%	17.79				
	28		16	15.5	30.5	188.69	9.3	3225	17.09	244%	18.75				
	28		17	15.4	30.5	186.27	9.1	3315	17.8	254%					
	28		18	15.4	30.5	186.27	9.22	3670	19.7	281%					
N°3	28	03/04/2017	13	15.3	30.5	183.85	9.2	3234	17.59	251%	17.45	17.40	17.78	16.92	19.70
	28		14	15.4	30.5	186.27	8.88	3225	17.31	247%					
	28		15	15.4	30.5	186.27	9.16	3279	17.6	251%	17.52				
	28		16	15.4	30.5	186.27	9.02	3247	17.43	249%	17.22				
	28		17	15.3	30.5	183.85	9.24	3163	17.2	246%					
	28		18	15.5	30.5	188.69	9.4	3252	17.23	246%					
N°4	28	05/04/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.62	3161	17.42	249%	17.29	17.32	17.78	16.92	19.70
	28		14	15.4	30.5	186.27	9	3194	17.15	245%					
	28		15	15.4	30.5	186.27	9.31	3202	17.19	246%	17.43				
	28		16	15.2	30.5	181.46	8.86	3206	17.67	252%	17.23				
	28		17	15.2	30.5	181.46	9.27	3183	17.54	251%					
	28		18	15.3	30.5	183.85	9.14	3111	16.92	242%					

Figura 5.1 Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 7 días.

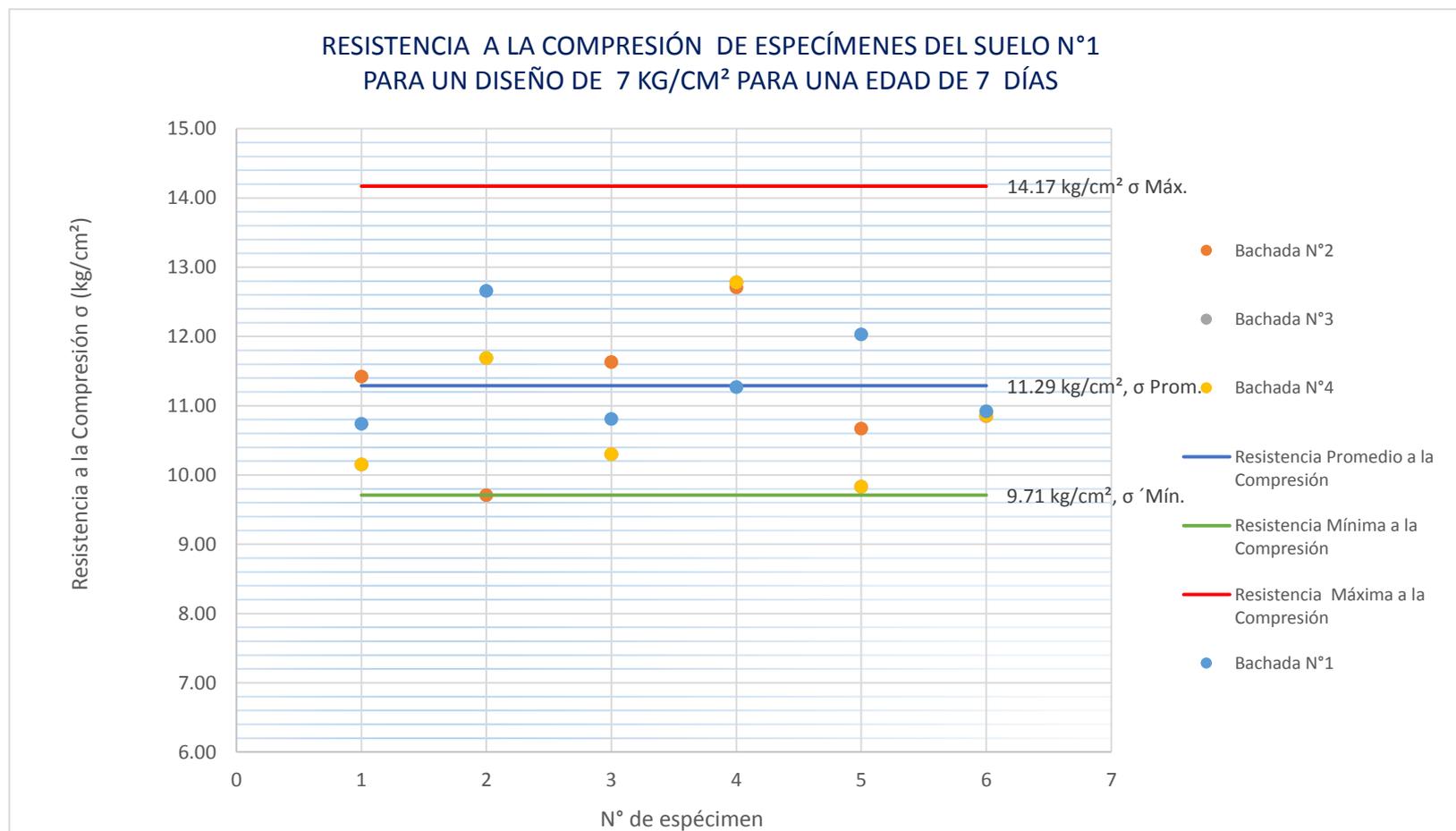


Figura 5.1 Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 14 días

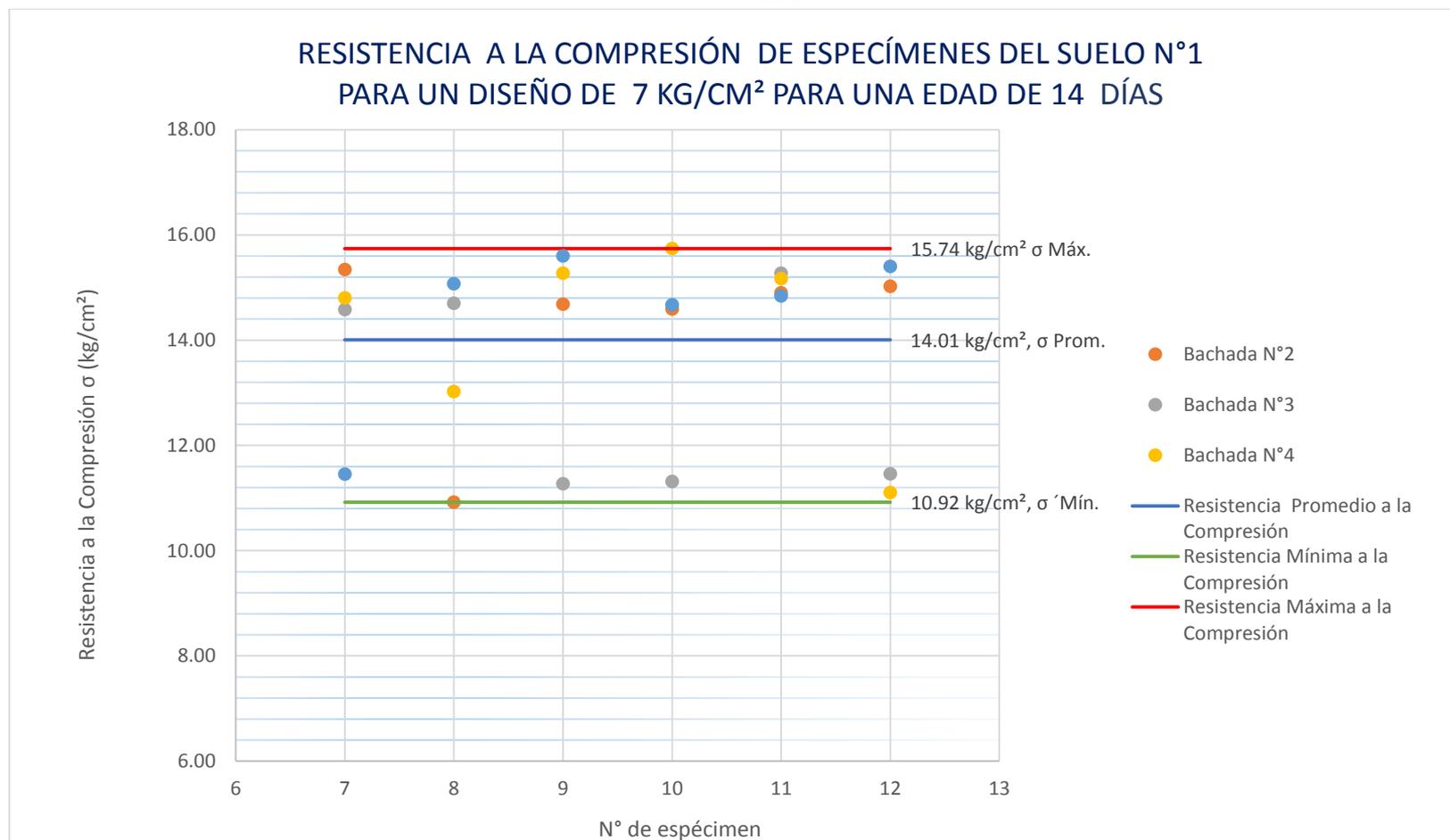


Figura 5.2 Resistencia a la compresión de especímenes para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1 a la edad de 28 días

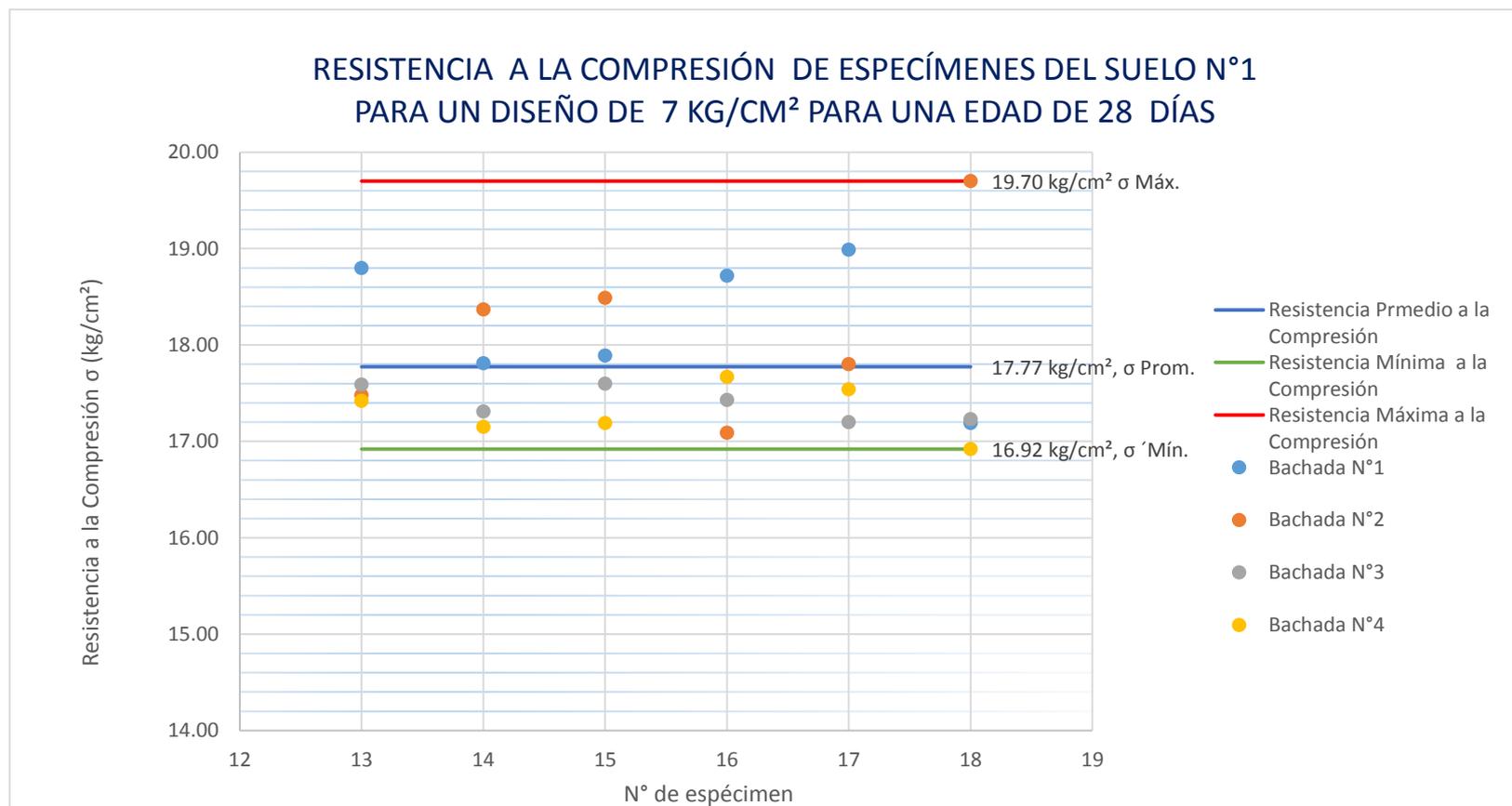


Tabla 5.8 Resistencia a la compresión promedio para diferentes edades para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC del suelo N°1

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	11.29
14	14.01
28	17.77

Figura 5.3 Ganancia de resistencia en el tiempo para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1

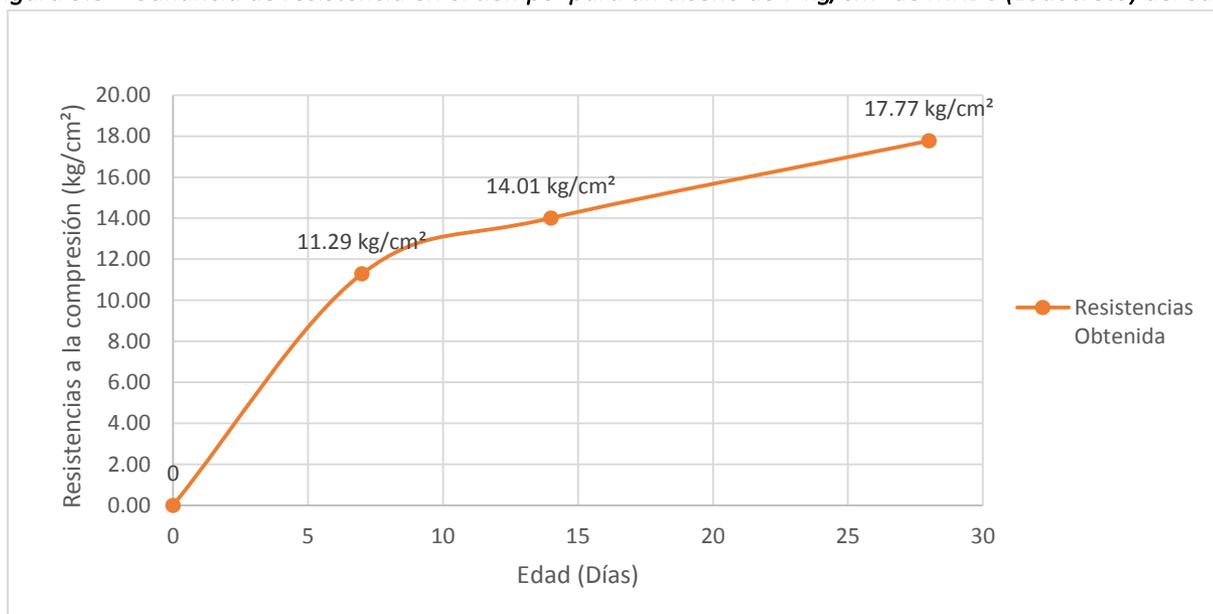


Tabla 5.9 Peso Volumétrico para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1

SUELO N°1		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumétrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°1	1650.6	1654.14
BACHADA N°2	1650.6	
BACHADA N°3	1659.10	
BACHADA N°4	1656.27	

Figura 5.4 Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

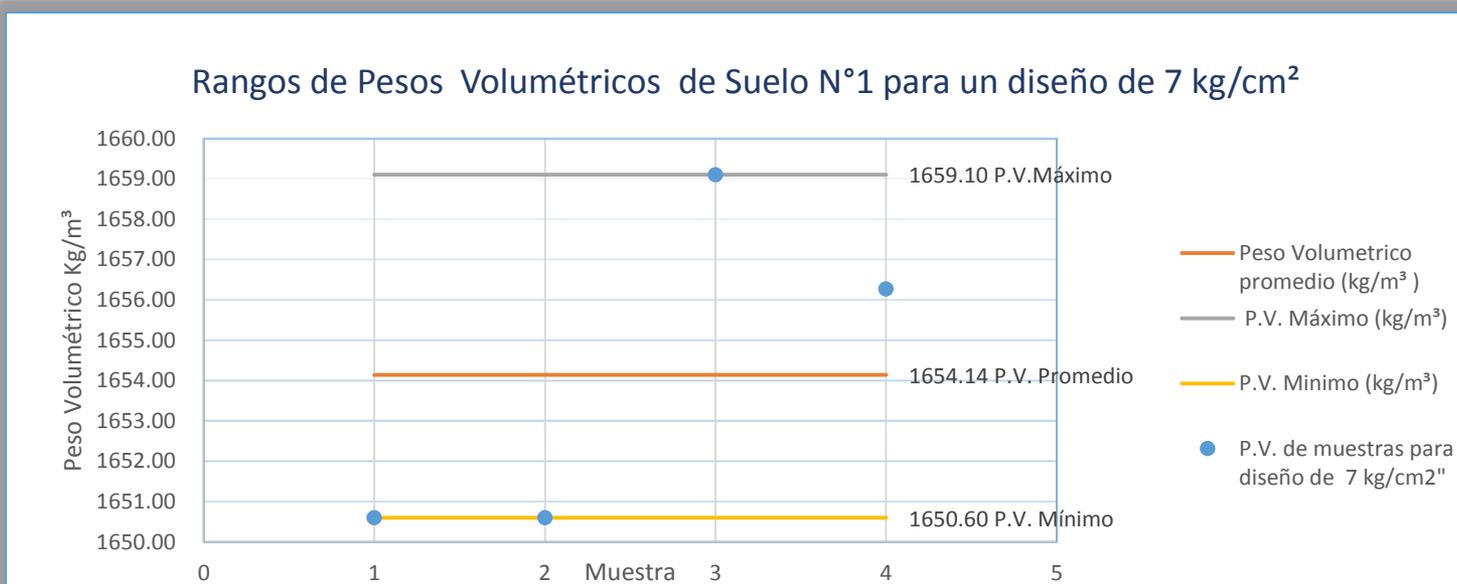


Tabla 5.10 Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°1

SUELO N°1		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°1	4.60 %	4.50 %
BACHADA N°2	4.40 %	
BACHADA N°3	4.40 %	
BACHADA N°4	4.50 %	

Figura 5.5 Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

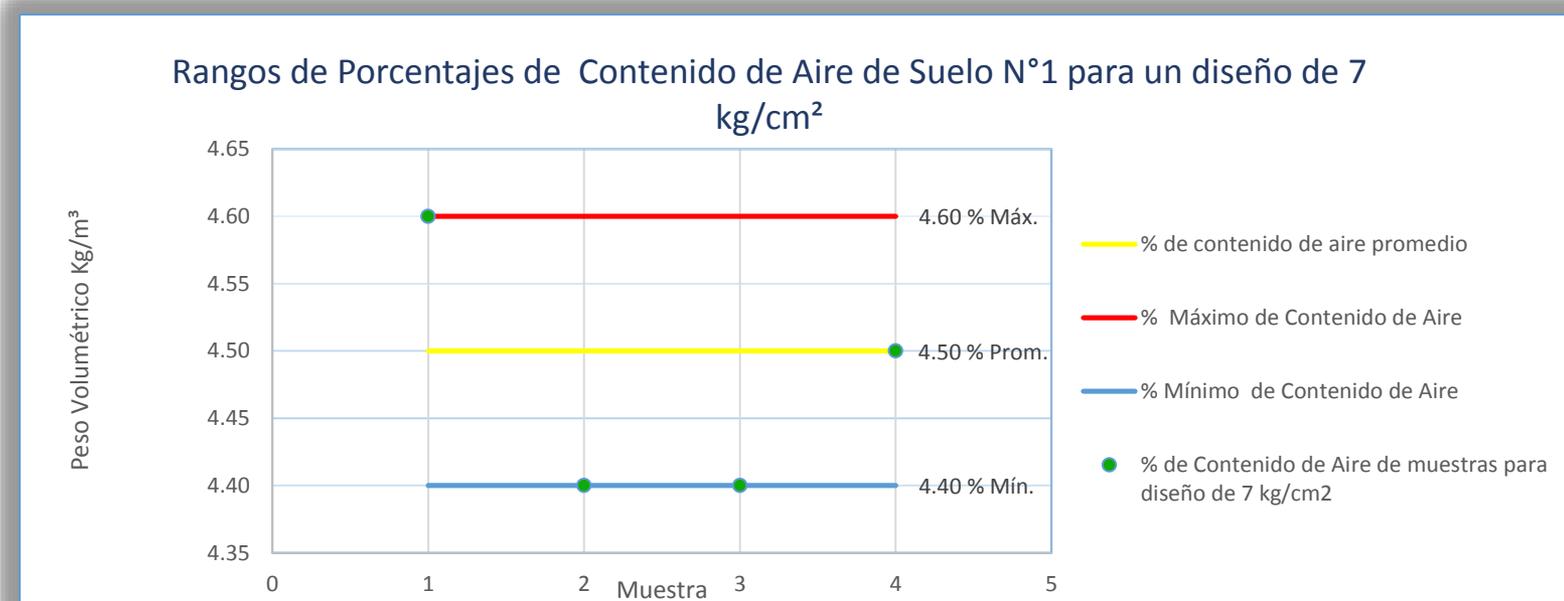


Tabla 5.11 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

SUELO N°1				
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 1	7.50 in	8.06 in	31.0 cms.	33.1 cms.
BACHADA N° 2	8.50 in		35.5 cms.	
BACHADA N° 3	8.50 in		36.0 cms.	
BACHADA N° 4	7.75 in		30.0 cms.	

Tabla 5.12 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
7.50 in	31.0 cms.
8.50 in	35.5 cms.
8.50 in	36.0 cms.
7.75 in	30.0 cms.

Figura 5.6 Revenimiento de bachadas de un diseño de  $7 \text{ kg/cm}^2$  de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

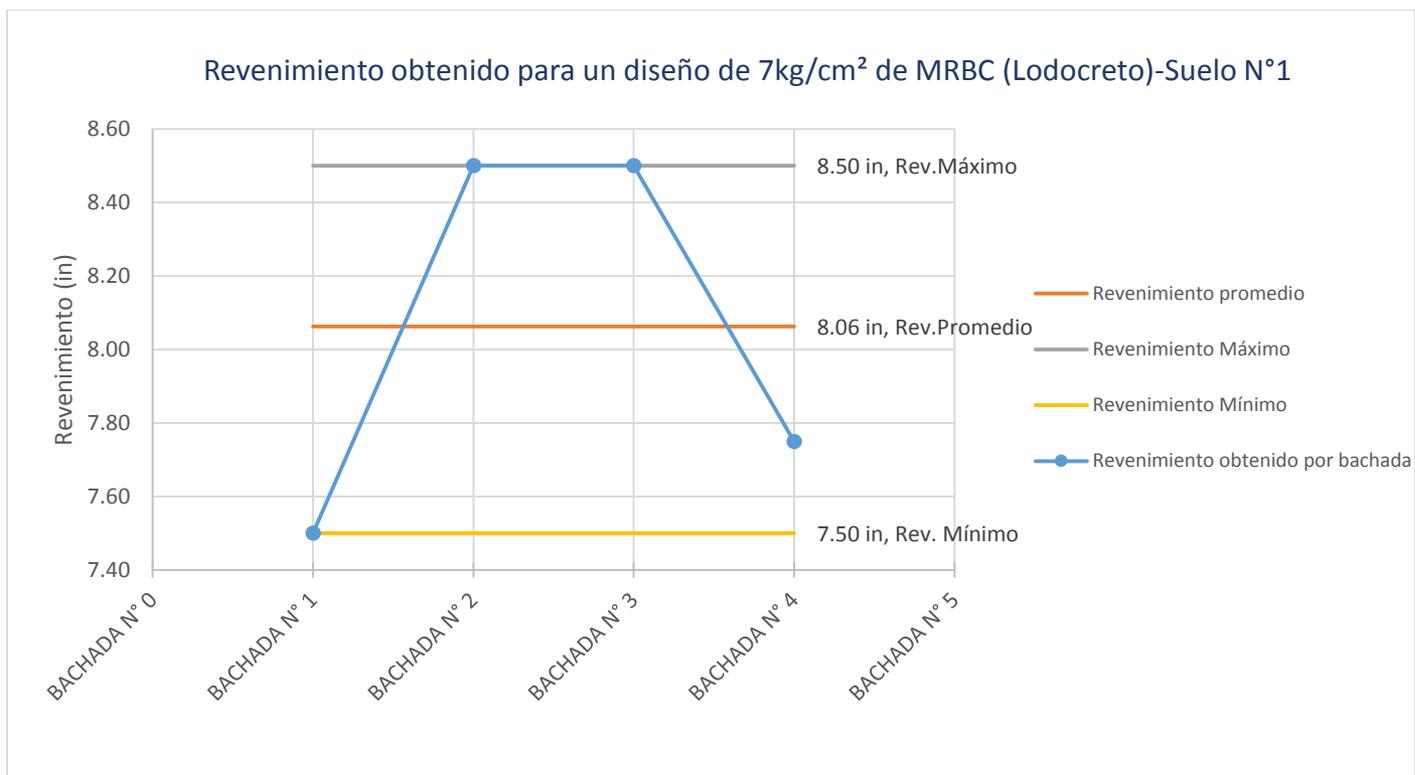


Figura 5.7 Extensibilidad de bachadas de un diseño de  $7\text{ kg/cm}^2$  de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

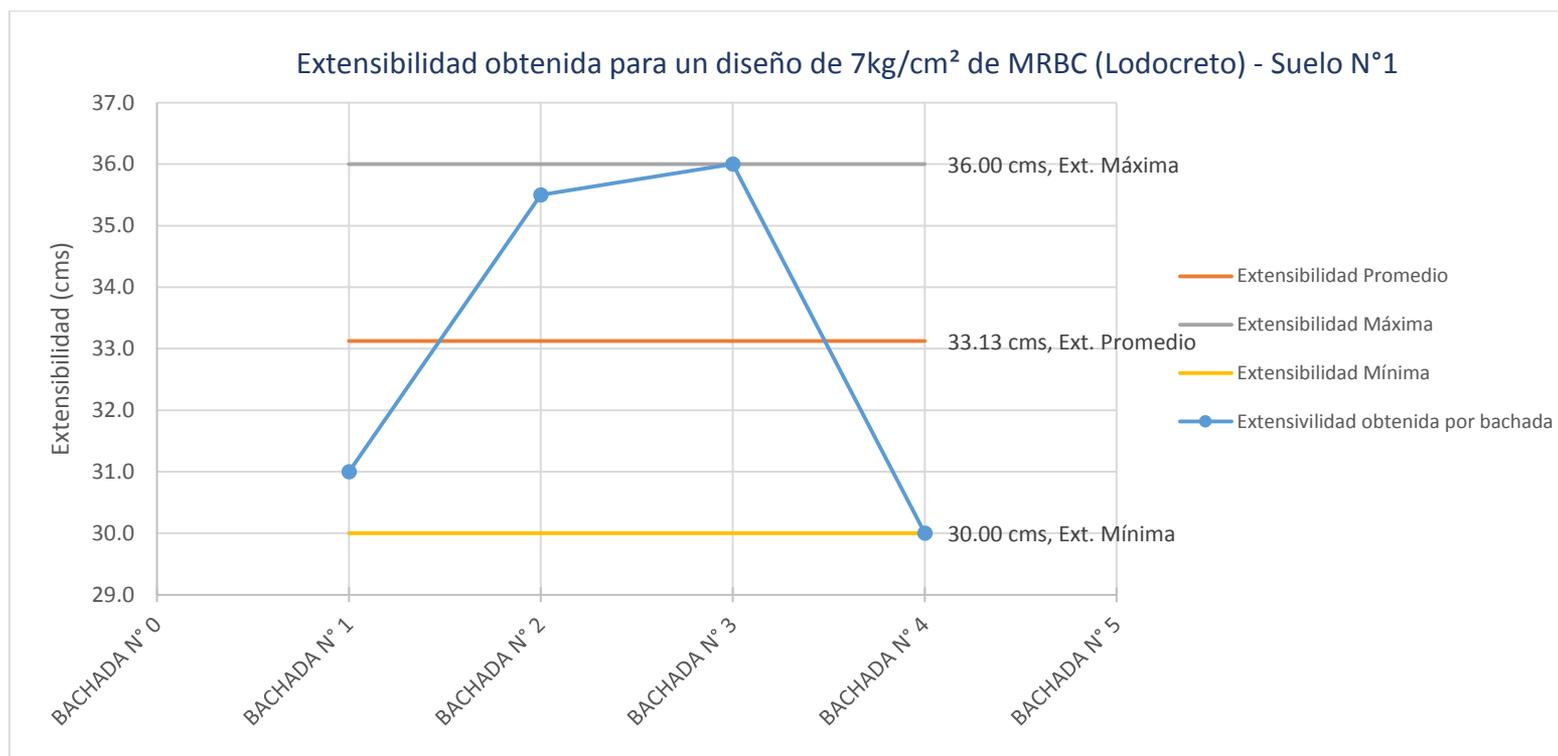


Figura 5.8 Revenimiento versus Extensibilidad de bachadas de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1

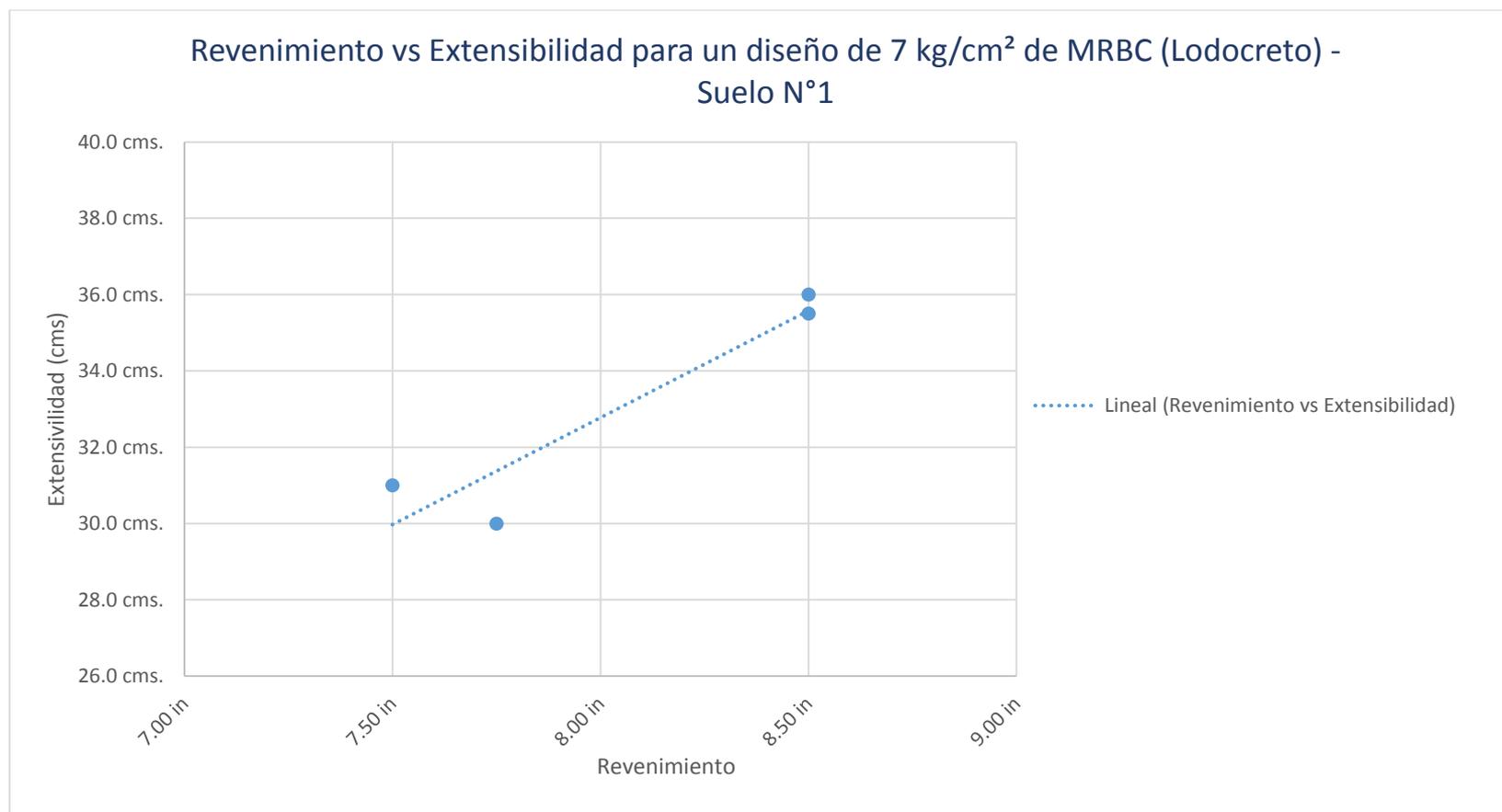


Figura 5.9 Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1



Figura 5.10 Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1

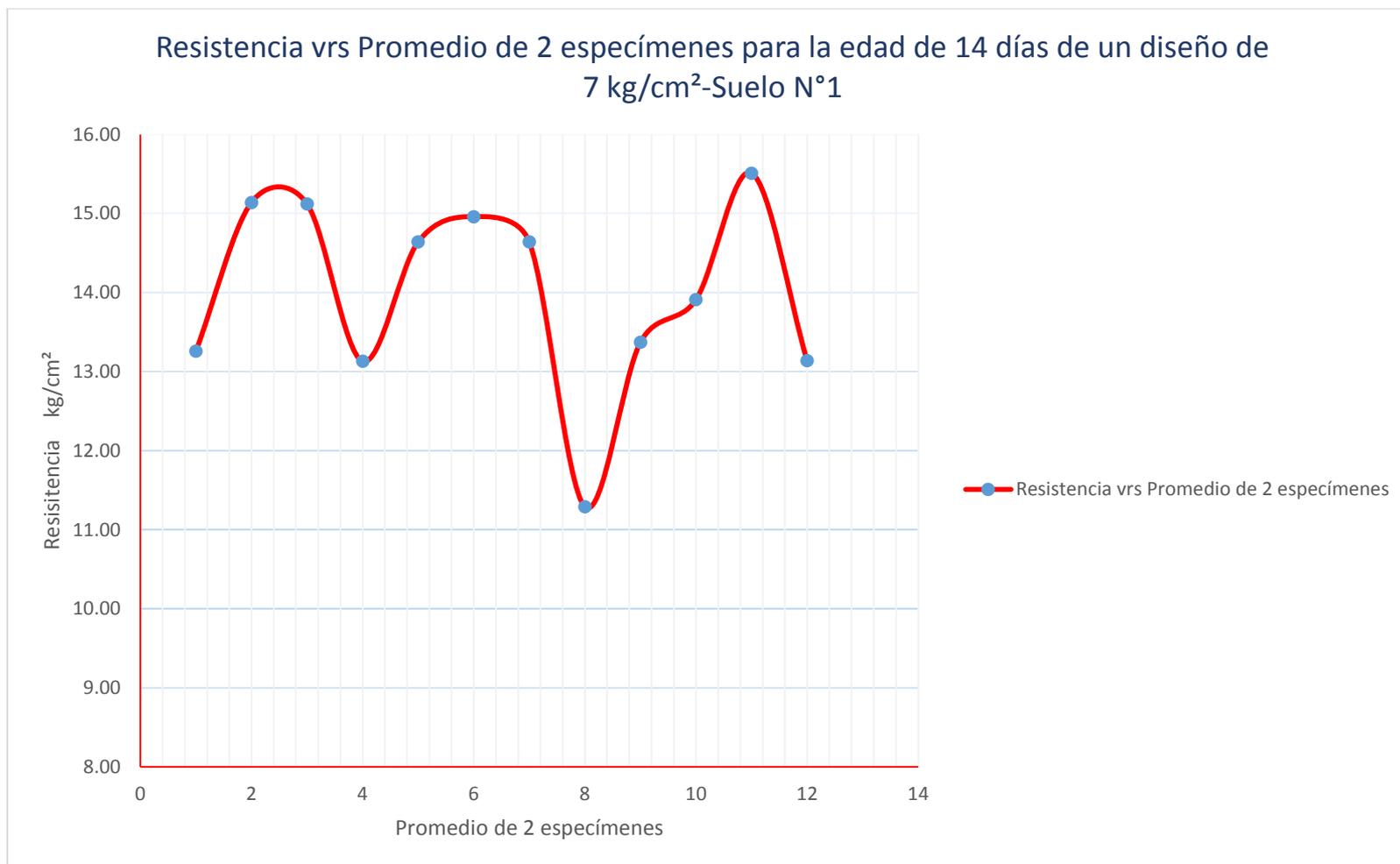
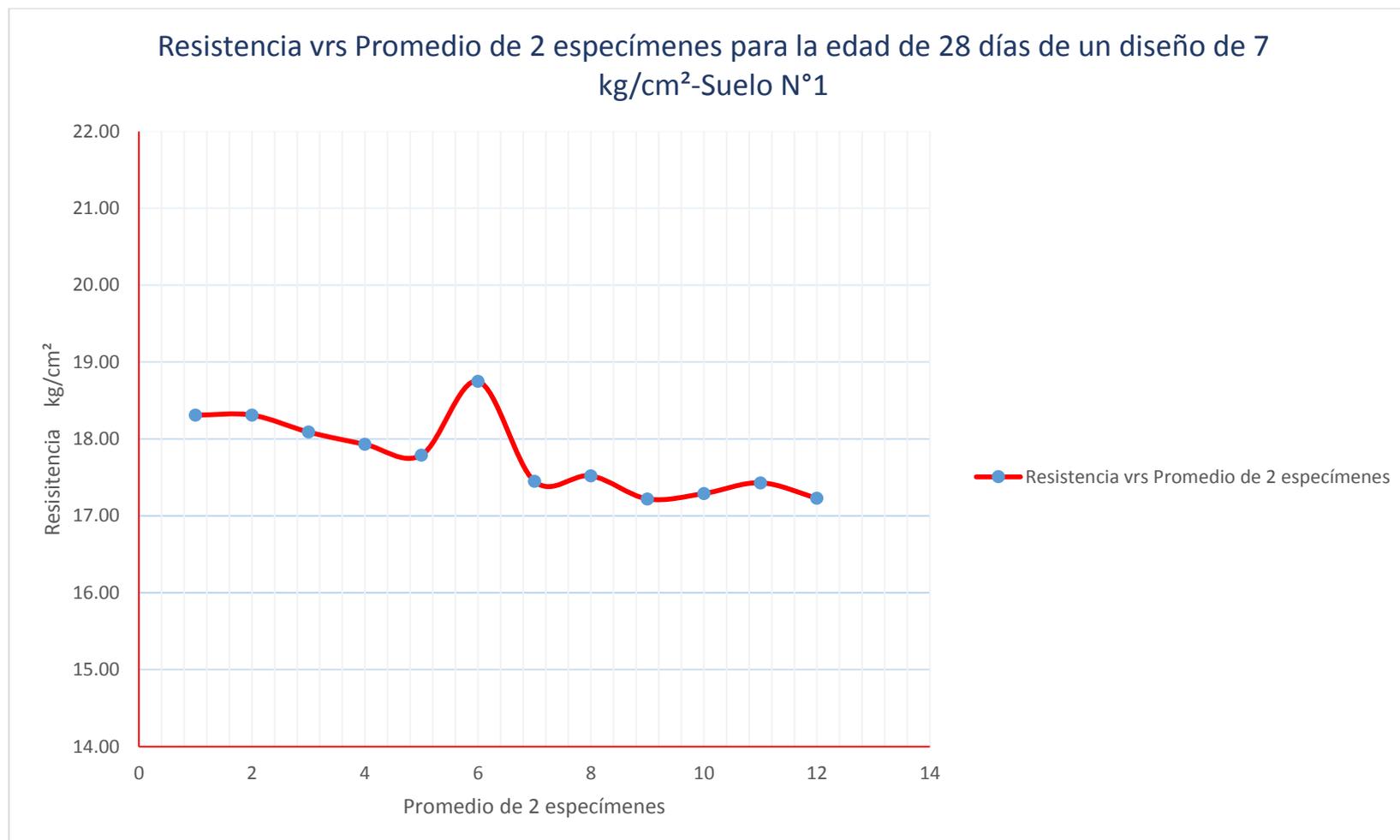


Figura 5.11 Resistencia versus Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1



***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION A 14 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto), Suelo N°1.**

*Tabla 5.13 Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 5</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	25.21	Wsh+tara=	415.1	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	378.1				
Suelo	1250	2.22	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>998.28</b>	% de humedad	<b>15.76%</b>	<b>15.76%</b>	<b>3.09%</b>	- <b>12.67%</b>	- <b>158.35</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.62</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>9</b>			
Agua (Kg)	251.65	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>35</b>			
Suelo (Kg)	1408.35	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>4.4</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1734.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1661.94</b>	RELACION A/C		<b>3.86</b>			

*Tabla 5.14 Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 6</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	25.21	Wsh+tara=	484	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	431.1				
Suelo	1250	2.22	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>998.28</b>	% de humedad	<b>18.38%</b>	<b>18.38%</b>	<b>3.09%</b>	- <b>-15.29%</b>	- <b>191.14</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.54</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>8.75</b>			
Agua (Kg)	218.86	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>46.5</b>			
Suelo (Kg)	1441.14	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>3.9</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1734.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1650.60</b>	RELACION A/C		<b>3.86</b>			

Tabla 5.15 Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 7									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	25.21	Wsh+tara=	415.1	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	378.1				
Suelo	1250	2.22	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>998.28</b>	<b>% de humedad</b>	<b>15.76%</b>	<b>15.76%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-</b>	<b>158.35</b>
<b>CANTIDADES PARA 1 M<sup>3</sup></b>		<b>PESO VOLUMETRICO(Kg/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA</b>					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.72</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>8.75</b>			
Agua (Kg)	251.65	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>40</b>			
Suelo (Kg)	1408.35	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>4.1</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1734.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1676.12</b>	RELACION A/C		<b>3.86</b>			

Tabla 5.16 Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).

BACHADA 8									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	25.21	Wsh+tara=	415.1	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	378.1				
Suelo	1250	2.22	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>998.28</b>	<b>% de humedad</b>	<b>15.76%</b>	<b>15.76%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-</b>	<b>158.35</b>
<b>CANTIDADES PARA 1 M<sup>3</sup></b>		<b>PESO VOLUMETRICO(Kg/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA</b>					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.60</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>7.5</b>			
Agua (Kg)	251.65	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>31</b>			
Suelo (Kg)	1408.35	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>4.5</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1734.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1659.10</b>	RELACION A/C		<b>3.86</b>			

Tabla 5.17 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	7	27/02/2017	1	15.4	30.5	186.27	9.52	3714	19.94	142%	18.46	18.39	16.58	11.77	19.96
	7		2	15.5	30.5	188.69	9.46	3202	16.97	121%					
	7		3	15.4	30.5	186.27	9.44	3665	19.68	141%	17.60				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.46	2889	15.51	111%	19.11				
	7		5	15.5	30.5	188.69	9.74	3651	19.35	138%					
	7		6	15.2	30.5	181.46	9.44	3424	18.87	135%					
N° 6	7	01/03/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.8	3606	19.61	140%	18.54	18.93	16.58	11.77	19.96
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.84	3211	17.46	125%					
	7		3	15.2	30.5	181.46	9.62	3501	19.29	138%	18.83				
	7		4	15.1	30.5	179.08	9.64	3288	18.36	131%	19.43				
	7		5	15.1	30.5	179.08	9.54	3383	18.89	135%					
	7		6	15.1	30.5	179.08	9.56	3574	19.96	143%					
N° 7	7	03/03/2017	1	15.2	30.5	181.46	9.6	2762	15.22	109%	15.88	15.57	16.58	11.77	19.96
	7		2	15.2	30.5	181.46	9.66	3002	16.54	118%					
	7		3	15.1	30.5	179.08	9.58	2553	14.26	102%	15.62				
	7		4	15.1	30.5	179.08	9.52	3039	16.97	121%	15.22				
	7		5	15.1	30.5	179.08	9.56	2884	16.1	115%					
	7		6	15.1	30.5	179.08	9.58	2567	14.33	102%					
N° 8	7	06/03/2017	1	15.2	30.5	181.46	9.4	2136	11.77	84%	12.70	13.42	16.58	11.77	19.96
	7		2	15.1	30.5	179.08	9.7	2440	13.63	97%					
	7		3	15	30.5	176.71	9.56	2408	13.63	97%	13.30				
	7		4	15	30.5	176.71	9.46	2290	12.96	93%					
	7		5	15.1	30.5	179.08	9.56	2376	13.27	95%	14.26				
	7		6	15	30.5	176.71	9.46	2694	15.24	109%					

Tabla 5.18 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	06/03/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.52	4263	23.49	168%	25.55	25.88	22.71	17.98	29.11
	14		8	15.1	30.5	179.08	9.5	4944	27.61	197%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.76	4390	23.88	171%	25.69				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.62	4989	27.49	196%					
	14		11	15.3	30.5	183.85	9.68	5352	29.11	208%	26.39				
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.7	4295	23.67	169%					
N° 6	14	08/03/2017	7	15.1	30.5	179.08	9.66	4486	25.05	179%	24.16	24.07	22.71	17.98	29.11
	14		8	15.1	30.5	179.08	9.86	4168	23.27	166%					
	14		9	15	30.5	176.71	9.62	3601	20.38	146%	23.32				
	14		10	15	30.5	176.71	9.68	4640	26.26	188%					
	14		11	15	30.5	176.71	9.64	4336	24.54	175%	24.72				
	14		12	15	30.5	176.71	9.66	4399	24.89	178%					
N° 7	14	10/03/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.76	3874	21.35	153%	20.54	21.07	22.71	17.98	29.11
	14		8	15.4	30.5	186.27	9.74	3674	19.72	141%					
	14		9	15.2	30.5	181.46	9.7	3968	21.87	156%	21.08				
	14		10	15	30.5	176.71	9.52	3583	20.28	145%					
	14		11	15	30.5	176.71	9.48	3755	21.25	152%	21.59				
	14		12	15.1	30.5	179.08	9.76	3928	21.93	157%					
N° 8	14	13/03/2017	7	15.1	30.5	179.08	9.68	3220	17.98	128%	18.53	19.81	22.71	17.98	29.11
	14		8	15.2	30.5	181.46	9.74	3460	19.07	136%					
	14		9	15.1	30.5	179.08	9.7	3497	19.53	140%	19.51				
	14		10	15	30.5	176.71	9.5	3442	19.48	139%					
	14		11	15.1	30.5	179.08	9.8	4141	23.12	165%	21.39				
	14		12	15	30.5	176.71	9.42	3474	19.66	140%					

Tabla 5.19 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°1															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especimenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	20/03/2017	13	15.1	30.5	179.08	9.72	4803	26.82	192%	26.82	26.92	25.21	19.42	29.68
	14		14	15	30.5	176.71	9.48	4740	26.82	192%					
	14		15	15	30.5	176.71	9.36	4440	25.13	180%	26.04				
	14		16	15.1	30.5	179.08	9.58	4826	26.95	193%	27.89				
	14		17	15	30.5	176.71	9.46	5121	28.98	207%					
	14		18	15	30.5	176.71	9.56	4735	26.79	191%					
N° 6	14	22/03/2017	13	15.3	30.5	183.85	9.58	5148	28	200%	28.84	26.81	25.21	19.42	29.68
	14		14	15.5	30.5	188.69	9.84	5601	29.68	212%	24.41				
	14		15	15.5	30.5	188.69	9.92	4449	23.58	168%					
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.86	4762	25.24	180%					
	14		17	15.4	30.5	186.27	9.74	5111	27.44	196%					
	14		18	15.4	30.5	186.27	9.78	5014	26.92	192%					
N° 7	14	24/03/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.54	4544	25.04	179%	25.81	25.77	25.21	19.42	29.68
	14		14	15.1	30.5	179.08	9.38	4758	26.57	190%	24.95				
	14		15	15.2	30.5	181.46	9.58	4463	24.6	176%					
	14		16	15.1	30.5	179.08	9.54	4531	25.3	181%					
	14		17	15	30.5	176.71	9.6	4821	27.28	195%					
	14		18	15.1	30.5	179.08	9.53	4623	25.82	184%					
N° 8	14	27/03/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.36	4118	22.69	162%	21.83	21.32	25.21	19.42	29.68
	14		14	15.5	30.5	188.69	9.72	3955	20.96	150%	20.69				
	14		15	15.5	30.5	188.69	9.6	3665	19.42	139%					
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.6	4141	21.95	157%					
	14		17	15.5	30.5	188.69	9.5	4023	21.32	152%					
	14		18	15.4	30.5	186.27	9.56	4012	21.54	154%					

Figura 5.12 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

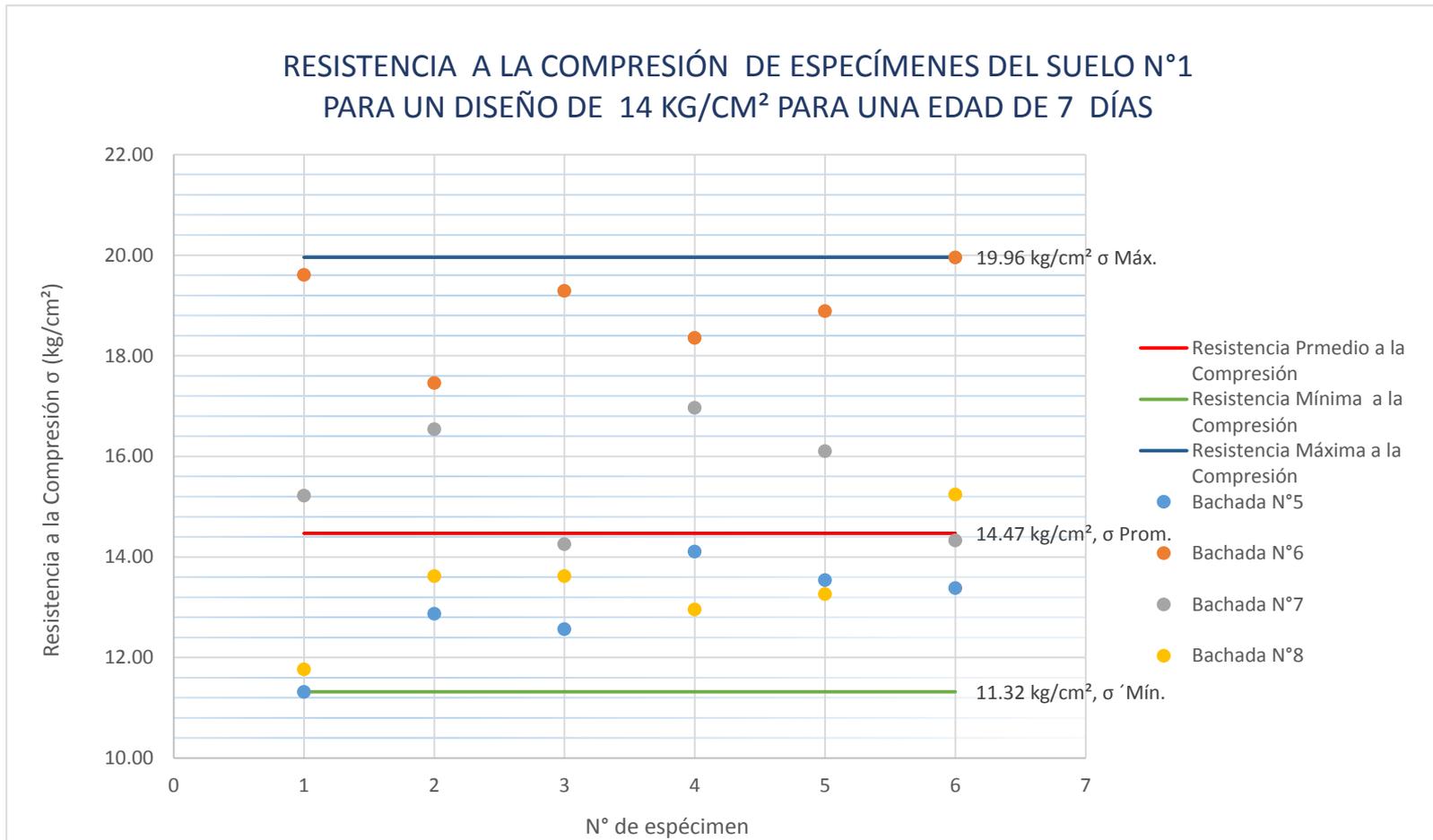


Figura 5.13 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

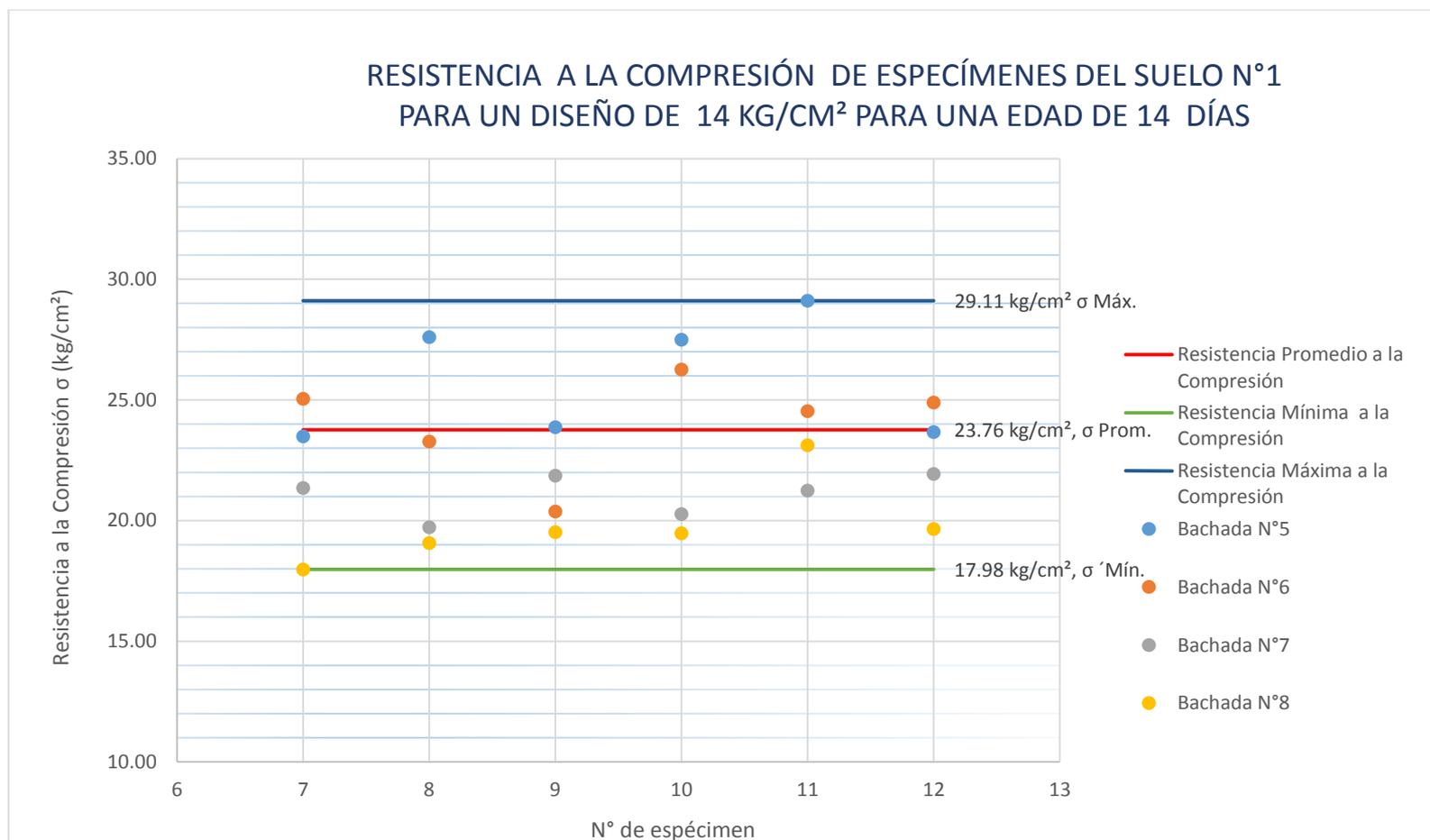


Figura 5.14 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°1

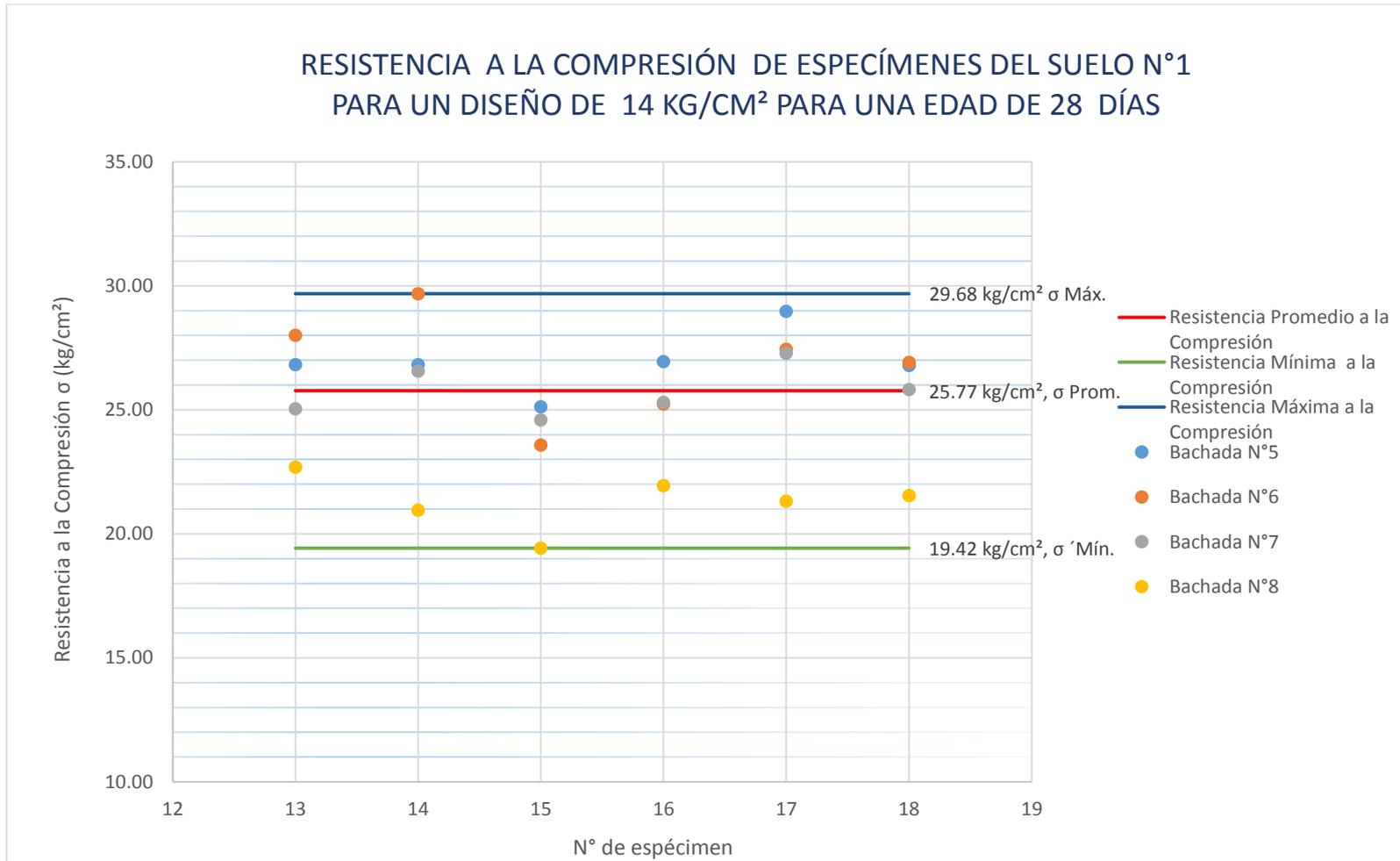


Tabla 5.20 Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, Suelo N°1

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	14.47
14	23.76
28	25.77

Figura 5.15 Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°1 (Diseño 14 kg/cm<sup>2</sup>-de MRBC- Lodocreto)

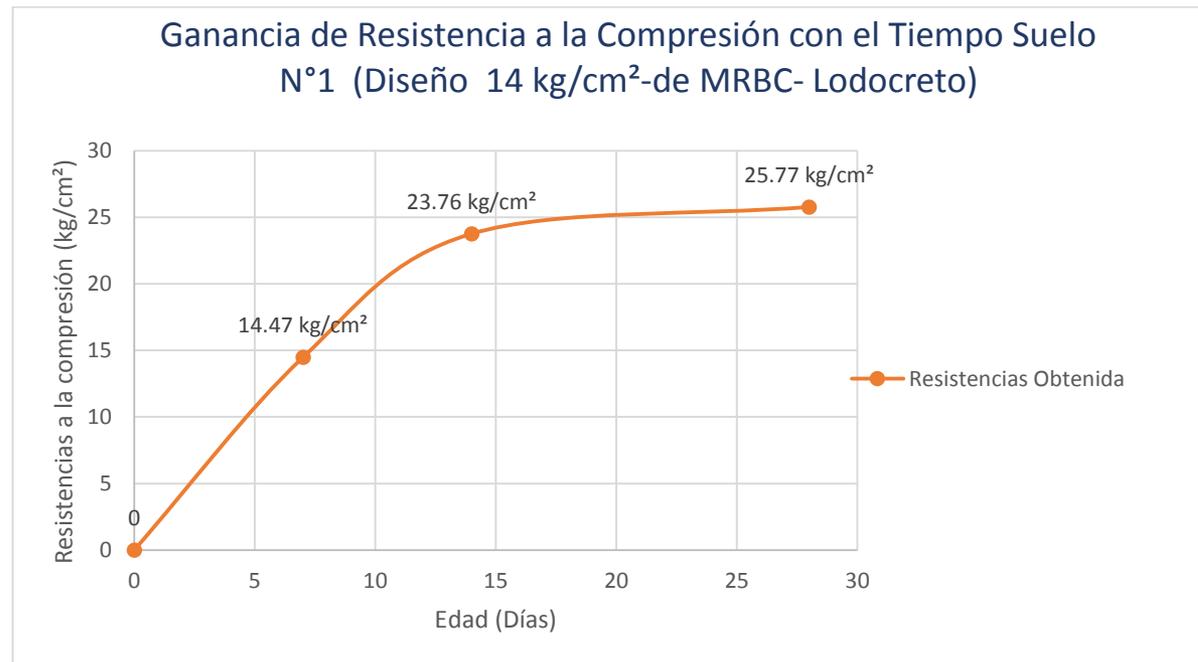


Tabla 5.21 *Peso Volumétrico para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> para el suelo N°1*

SUELO N°1		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumetrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumetrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°5	1661.94	1661.94
BACHADA N°6	1650.6	
BACHADA N°7	1676.12	
BACHADA N°8	1659.10	

Figura 5.16 *Rangos de Pesos Volumétricos de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>*

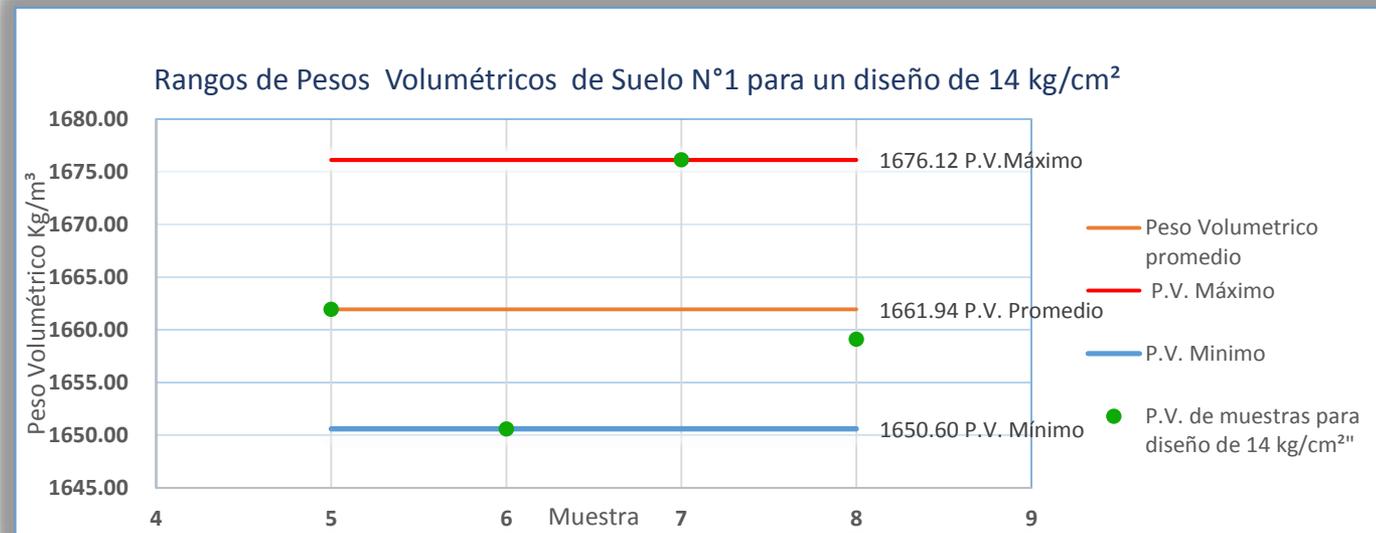
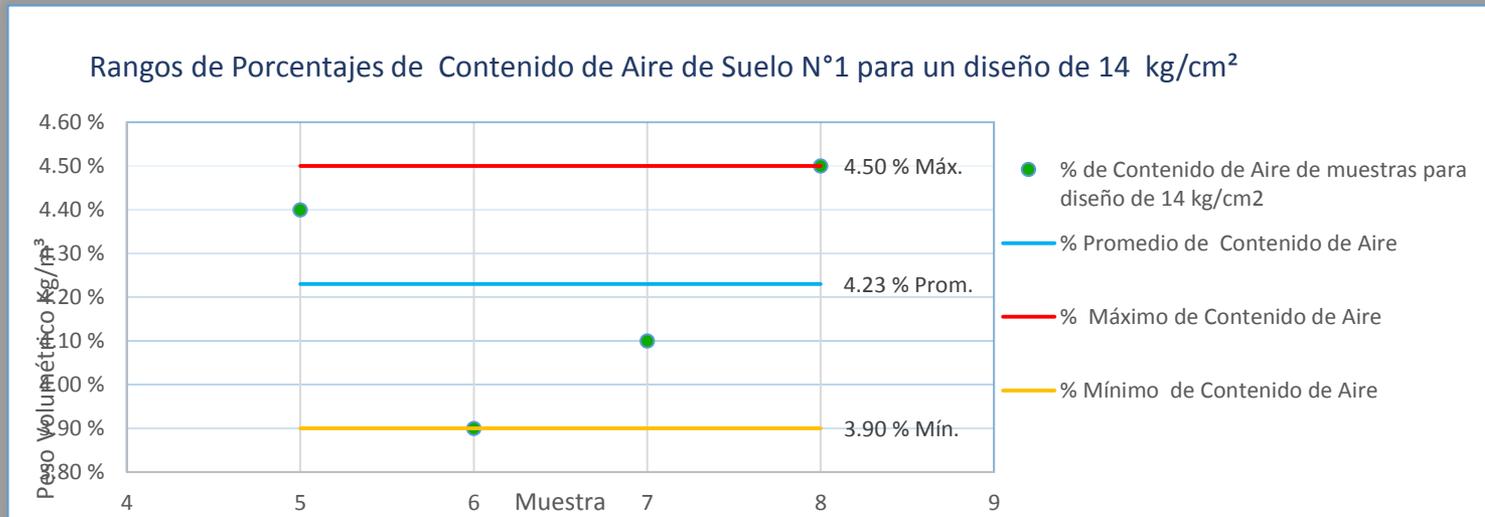


Tabla 5.22 Rangos de Porcentajes de Contenido de Aire de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>

SUELO N°1		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°5	4.40 %	4.23 %
BACHADA N°6	3.90 %	
BACHADA N°7	4.10 %	
BACHADA N°8	4.50 %	

Figura 5.17 Rangos de Porcentajes de Contenido de Aire de Suelo N°1 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>



*Tabla 5.23 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1*

SUELO N°1				
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 5	9.00 in	8.50 in	35.0 cms.	38.1 cms.
BACHADA N° 6	8.75 in		46.5 cms.	
BACHADA N° 7	8.75 in		40.0 cms.	
BACHADA N° 8	7.50 in		31.0 cms.	

*Tabla 5.24 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°1*

Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
9.00 in	35.0 cms.
8.75 in	46.5 cms.
8.75 in	40.0 cms.
7.50 in	31.0 cms.

Figura 5.18 Revenimiento obtenido para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - suelo N°1

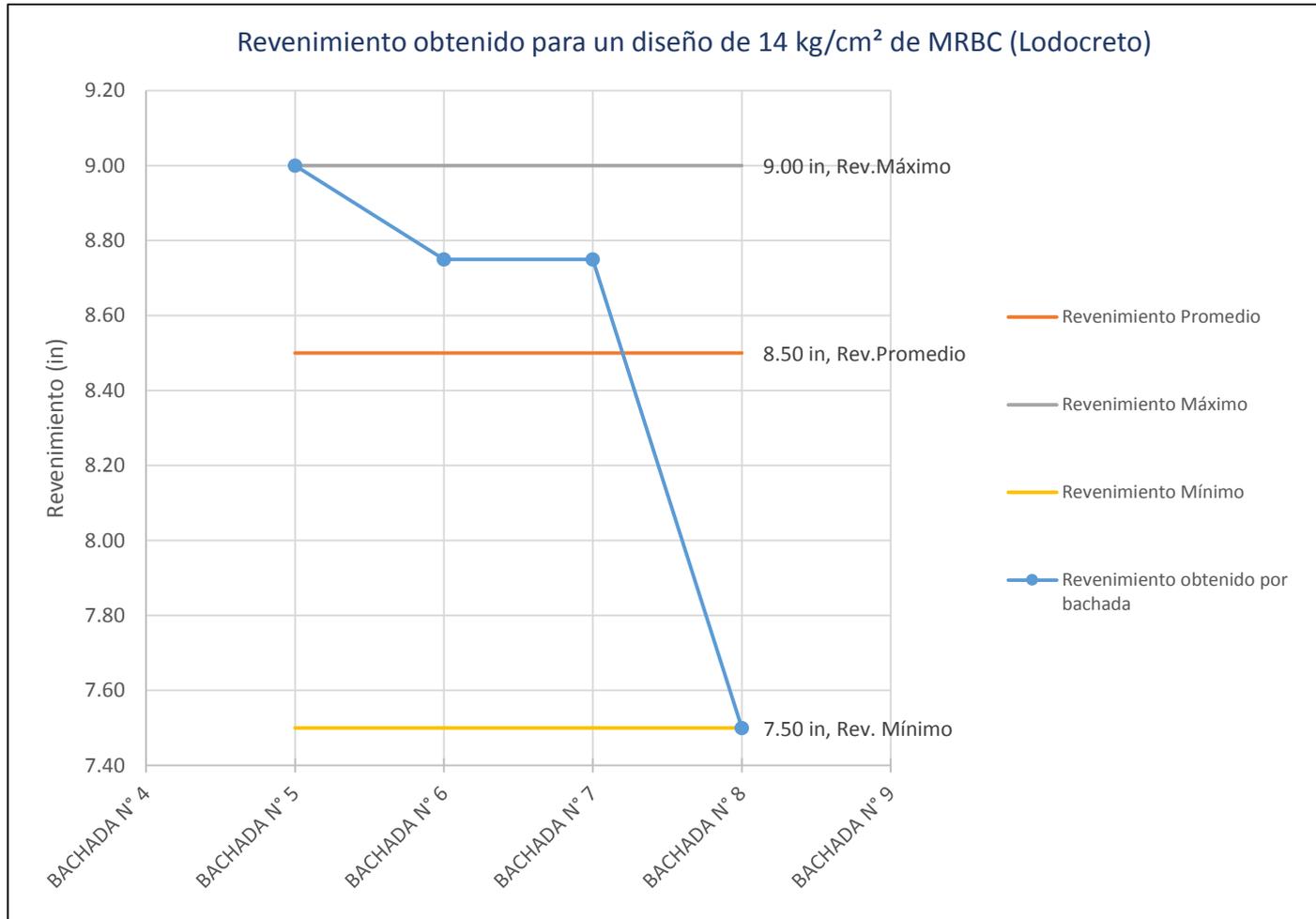


Figura 5.19 Extensibilidad obtenida para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - suelo N°1

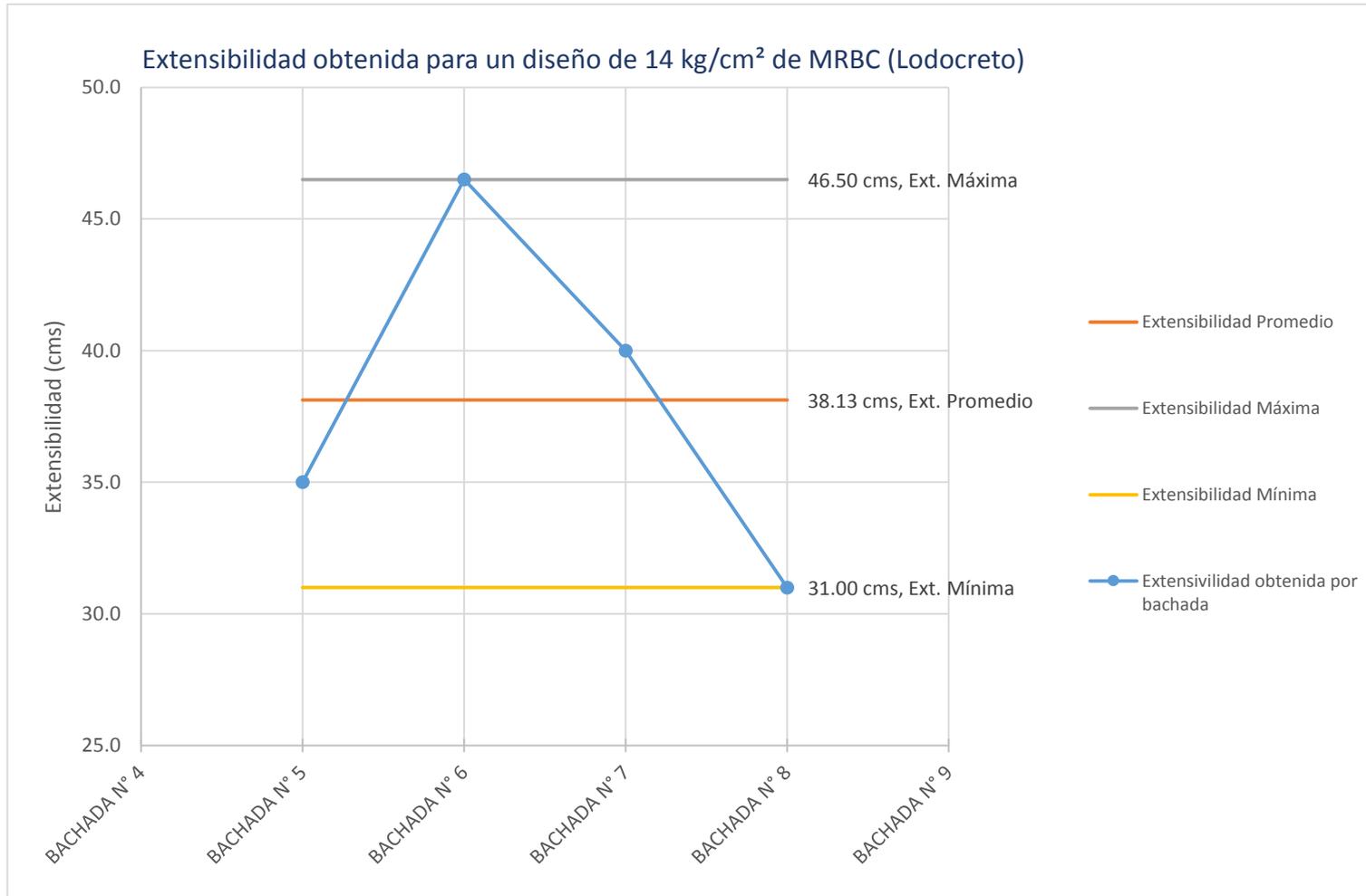


Figura 5.20 Revenimiento vs Extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) - Suelo N°1

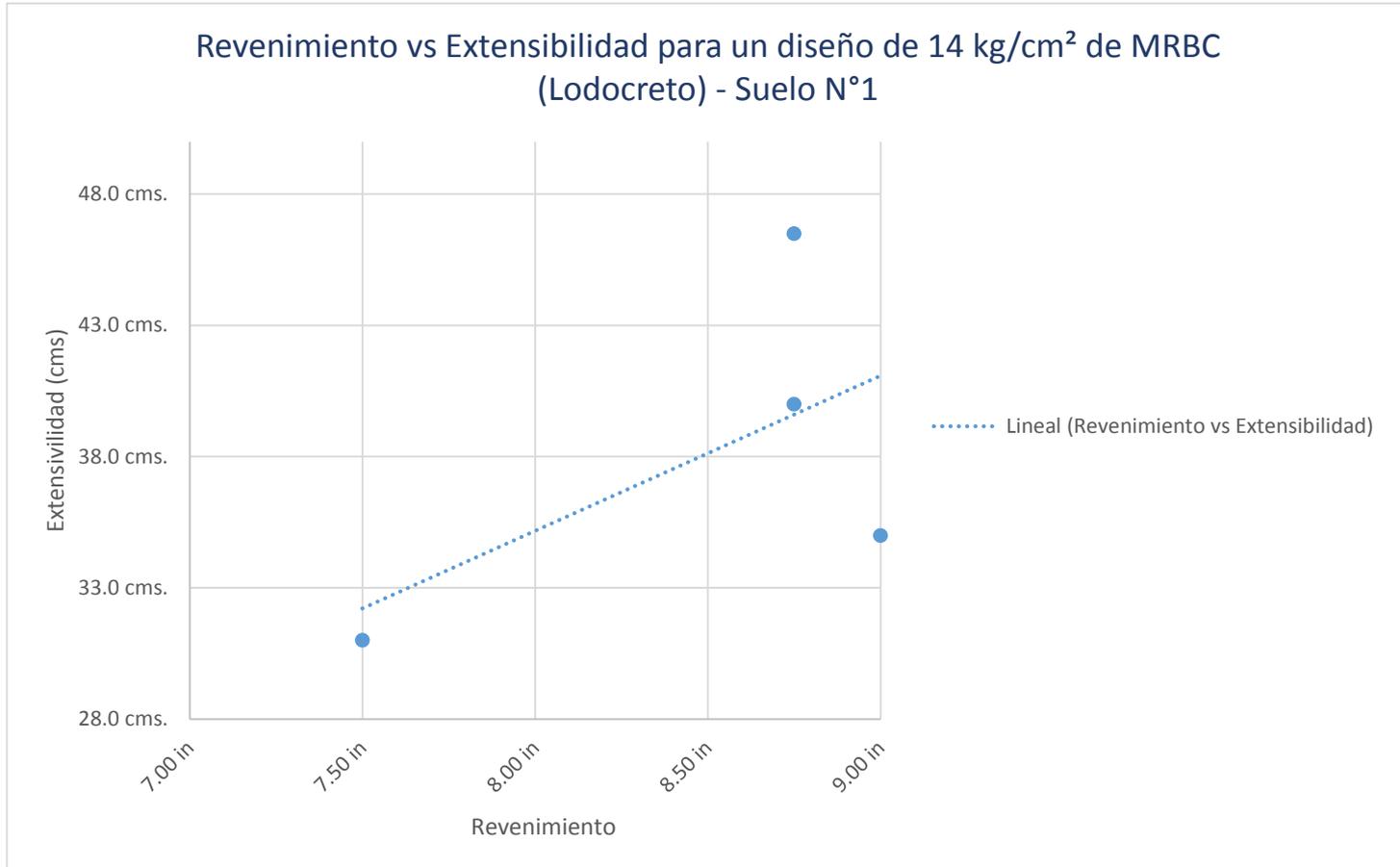


Figura 5.21 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1

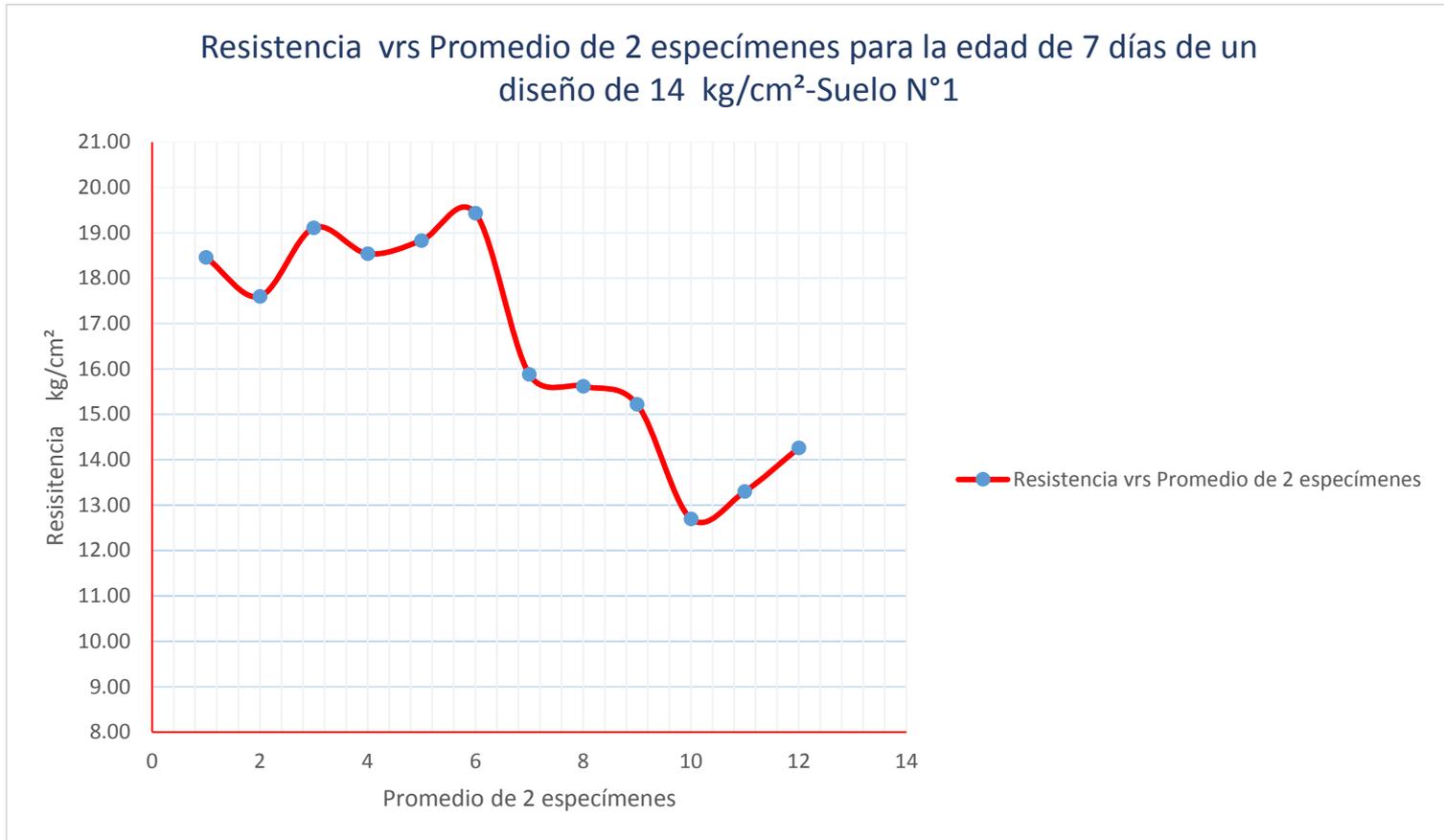


Figura 5.22 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1



Figura 5.23 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°1



*Banco de préstamo #2*

*Francisco Tobar, Colonia*

*Rio Zarco Km 34 1/2*

*Carretera a Sonsonate*

***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION A 7 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto) - Suelo N°2.**

*Tabla 5.25 Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 1</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	443	% humedad	% absorcion	%Abs- %hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	411.3				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	141.9				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		<b>974.87</b>	<b>% de humedad</b>	<b>11.77%</b>	<b>11.77%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-9.72%</b>	<b>-121.46</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.70</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>8</b>			
Agua (Kg)	298.54	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>33</b>			
Suelo (Kg)	1371.46	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>6</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1673.28</b>	RELACION A/C		<b>4.01</b>			

*Tabla 5.26 Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 2</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	479.5	% humedad	% absorción	%A bs- %hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	439.2				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.9				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		<b>974.87</b>	<b>% de humedad</b>	<b>13.65%</b>	<b>13.65%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-11.60%</b>	<b>-144.96</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.74</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>7.5</b>			
Agua (Kg)	275.04	<b>Wrecip</b>	<b>2.9</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>32</b>			
Suelo (Kg)	1394.96	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>6</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1678.96</b>	RELACION A/C		<b>3.70</b>			

Tabla 5.27 Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).

BACHADA 3									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	454.1	% humedad	% absorción	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	430.7				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		974.87	% de humedad	8.14%	8.14%	2.05%	-6.09%	-76.15
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.72	REVENIMIENTO (in)		8			
Agua (Kg)	343.85	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		33			
Suelo (Kg)	1326.15	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		6.5			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	PV =	<b>1676.12</b>	RELACION A/C		4.62			

Tabla 5.28 Datos de diseño de la bachada N°4 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).

BACHADA 4									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	470.3	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	445.6				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		974.87	% de humedad	8.17%	8.17%	2.05%	-6.12%	-76.51
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.68	REVENIMIENTO (in)		8.5			
Agua (Kg)	343.49	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		36			
Suelo (Kg)	1326.51	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		6.5			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	PV =	<b>1670.45</b>	RELACION A/C		4.62			

Tabla 5.29 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo  
N°2

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos espécimenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	7	29/03/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.62	2686	14.61	209%	14.59	14.88	14.66	13.77	16.19
	7		2	15.1	30.5	179.08	9.32	2610	14.57	208%					
	7		3	15.1	30.5	179.08	9.44	2671	14.92	213%	14.62				
	7		4	15.2	30.5	181.46	9.38	2597	14.31	204%	15.43				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.66	2697	14.67	210%					
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.78	3015	16.19	231%					
N°2	7	05/04/2017	1	15.4	30.5	186.27	9.18	2678	14.38	205%	14.40	14.45	14.66	13.77	16.19
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.28	2651	14.42	206%					
	7		3	15.5	30.5	188.69	9.56	2756	14.61	209%	14.91				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.38	2794	15.2	217%	14.04				
	7		5	15.5	30.5	188.69	9.5	2624	13.91	199%					
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.3	2638	14.16	202%					
N°3	7	19/04/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.42	2699	14.68	210%	14.84	14.69	14.66	13.77	16.19
	7		2	15.5	30.5	188.69	9.62	2828	14.99	214%					
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.48	2703	14.7	210%	14.57				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.6	2689	14.44	206%	14.65				
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.36	2707	14.53	208%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.4	2715	14.77	211%					
N°4	7	19/04/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.36	2567	13.96	199%	14.44	14.61	14.66	13.77	16.19
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.59	2741	14.91	213%					
	7		3	15.5	30.5	188.69	9.57	2598	13.77	197%	14.87				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.47	2937	15.97	228%	14.51				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.4	2678	14.57	208%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.23	2656	14.45	206%					

Tabla 5.30 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	14	15/04/2017	7	15.5	30.5	188.69	9.69	3790	20.09	287%	20.03	20.25	20.24	19.13	21.11
	14		8	15.2	30.5	181.46	9.28	3624	19.97	285%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.49	3742	20.35	291%	20.33				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.65	3782	20.3	290%	20.38				
	14		11	15.4	30.5	186.27	9.52	3768	20.23	289%					
	14		12	15.1	30.5	179.08	9.39	3674	20.52	293%					
N°2	14	07/04/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.45	3687	20.05	286%	20.09	20.08	20.24	19.13	21.11
	14		8	15.5	30.5	188.69	9.72	3798	20.13	288%					
	14		9	15.5	30.5	188.69	9.6	3775	20.01	286%	19.75				
	14		10	15.3	30.5	183.85	9.48	3583	19.49	278%	20.41				
	14		11	15.5	30.5	188.69	9.63	3768	19.97	285%					
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.63	3781	20.84	298%					
N°3	14	10/04/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.34	3637	19.78	283%	20.03	20.00	20.24	19.13	21.11
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.5	3728	20.28	290%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.44	3517	19.13	273%	19.77				
	14		10	15.3	30.5	183.85	9.6	3751	20.4	291%	20.19				
	14		11	15.3	30.5	183.85	9.58	3881	21.11	302%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.4	3542	19.27	275%					
N°4	14	12/04/2017	7	15.5	30.5	188.69	9.52	3901	20.67	295%	20.70	20.62	20.24	19.13	21.11
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.28	3812	20.73	296%					
	14		9	15.5	30.5	188.69	9.26	3710	19.66	281%	20.25				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.26	3882	20.84	298%	20.92				
	14		11	15.5	30.5	188.69	9.22	3919	20.77	297%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.2	3874	21.07	301%					

Tabla 5.31 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	28	19/04/2017	13	15.4	30.5	186.27	9.48	4590	24.64	352%	26.04	27.26	27.11	24.64	29.72
	28		14	15.3	30.5	183.85	9.42	5043	27.43	392%					
	28		15	15.3	30.5	183.85	9.44	5152	28.02	400%	27.76				
	28		16	15.5	30.5	188.69	9.64	5188	27.49	393%					
	28		17	15.3	30.5	183.85	9.54	5465	29.72	425%	27.97				
	28		18	15.3	30.5	183.85	9.38	4821	26.22	375%					
N°2	28	21/04/2017	13	15	30.5	176.71	9.48	5029	28.46	407%	28.19	27.27	27.11	24.64	29.72
	28		14	15.2	30.5	181.46	9.32	5066	27.92	399%					
	28		15	15.3	30.5	183.85	9.52	4889	26.59	380%	26.35				
	28		16	15.1	30.5	179.08	9.38	4676	26.11	373%					
	28		17	15.3	30.5	183.85	9.44	4903	26.67	381%	27.26				
	28		18	15.3	30.5	183.85	9.58	5121	27.85	398%					
N°3	28	24/04/2017	13	15.5	30.5	188.69	9.72	4890	25.92	370%	25.71	26.11	27.11	24.64	29.72
	28		14	15.5	30.5	188.69	9.58	4809	25.49	364%					
	28		15	15.4	30.5	186.27	9.46	4913	26.38	377%	26.39				
	28		16	15.2	30.5	181.46	9.36	4789	26.39	377%					
	28		17	15.2	30.5	181.46	9.34	4757	26.22	375%	26.23				
	28		18	15.1	30.5	179.08	9.38	4697	26.23	375%					
N°4	28	26/04/2017	13	15.3	30.5	183.85	9.4	5188	28.22	403%	28.33	27.79	27.11	24.64	29.72
	28		14	15.2	30.5	181.46	9.38	5158	28.43	406%					
	28		15	15.2	30.5	181.46	9.28	5003	27.57	394%	27.75				
	28		16	15.3	30.5	183.85	9.62	5134	27.92	399%					
	28		17	15.3	30.5	183.85	9.44	4867	26.47	378%	27.30				
	28		18	15.2	30.5	181.46	9.54	5105	28.13	402%					

Figura 5.24 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

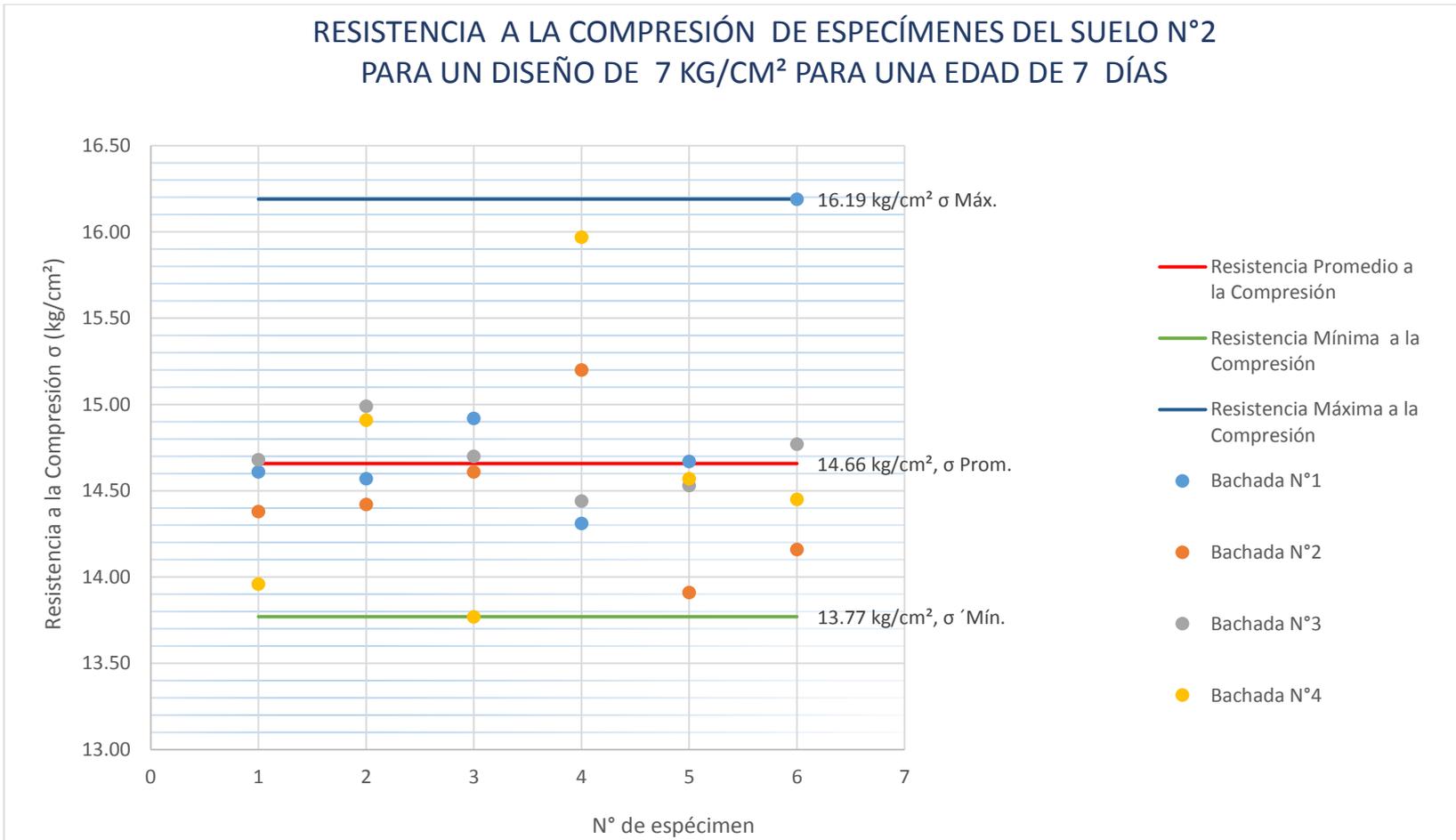


Figura 5.25 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

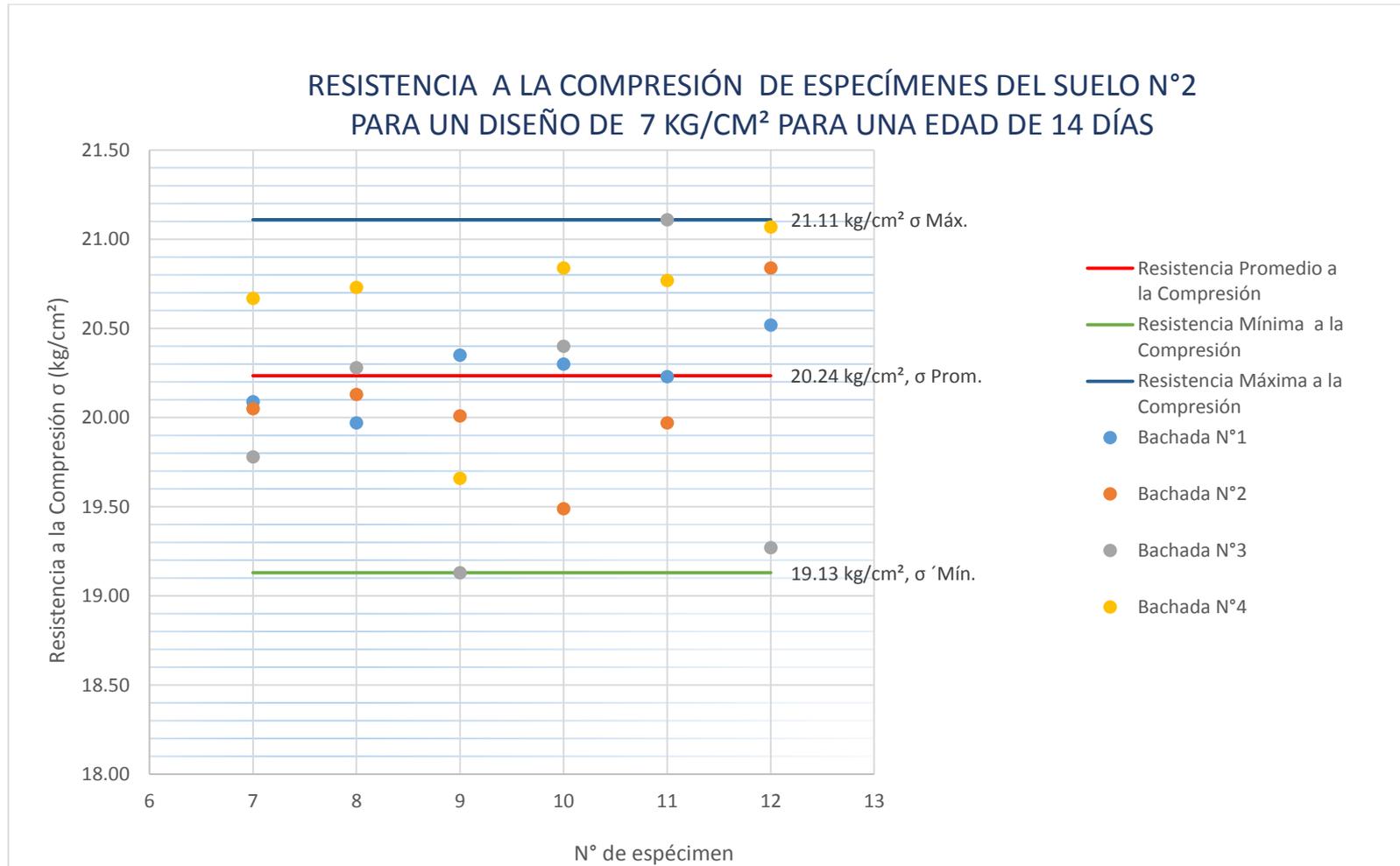


Figura 5.26 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

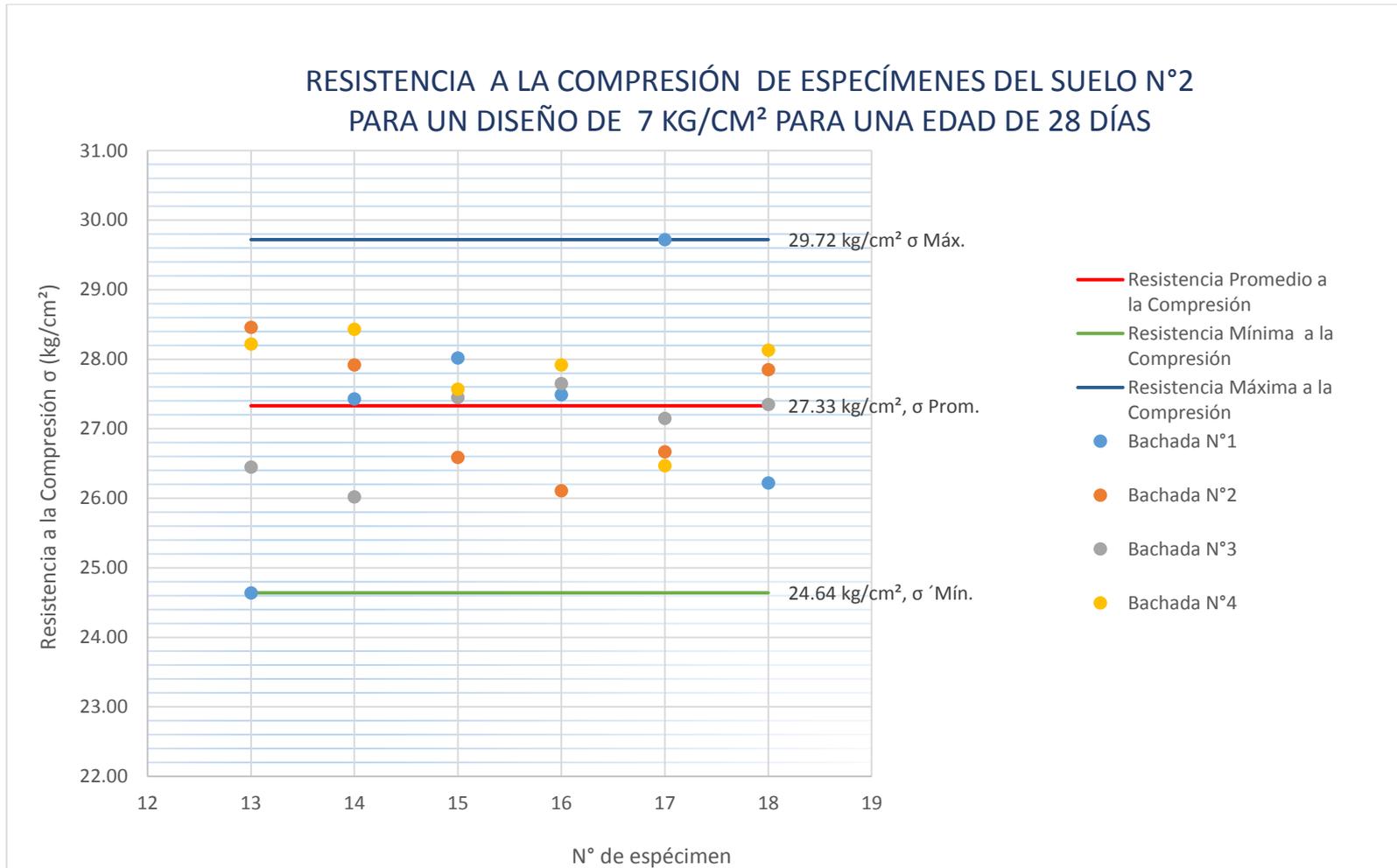


Tabla 5.32 Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> del suelo N°2

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	14.66
14	20.24
28	27.33

Figura 5.27 Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°2 (Diseño 7 kg/cm<sup>2</sup>-de MRBC- Lodocreto)

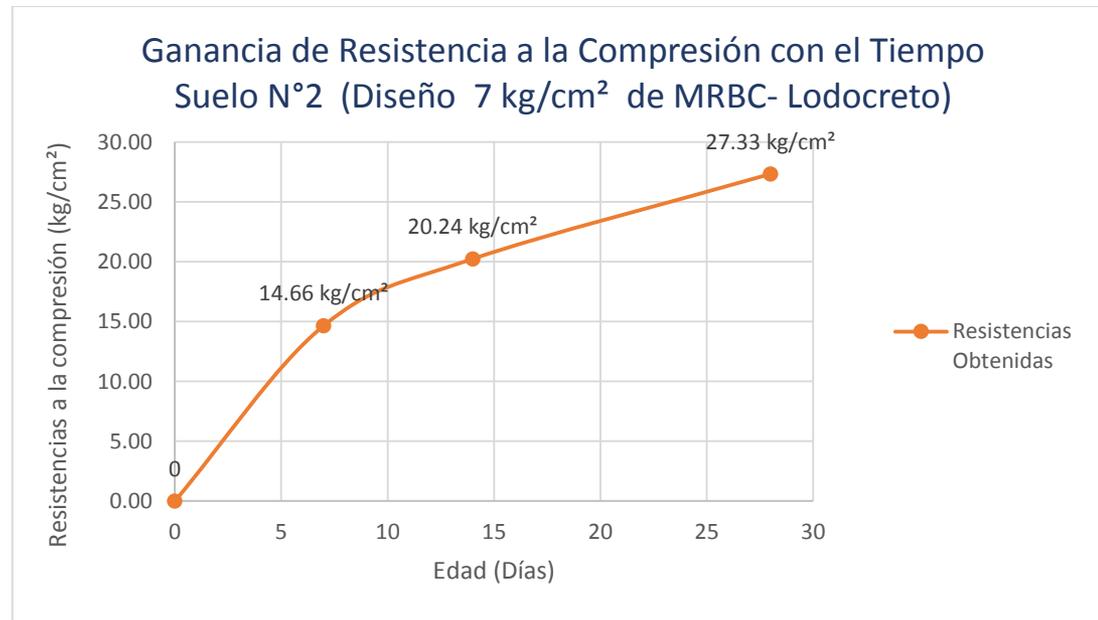


Tabla 5.33 Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

SUELO N°2		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumetrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumetrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°1	1673.28	1674.70
BACHADA N°2	1678.96	
BACHADA N°3	1676.12	
BACHADA N°4	1670.45	

Figura 5.28 Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

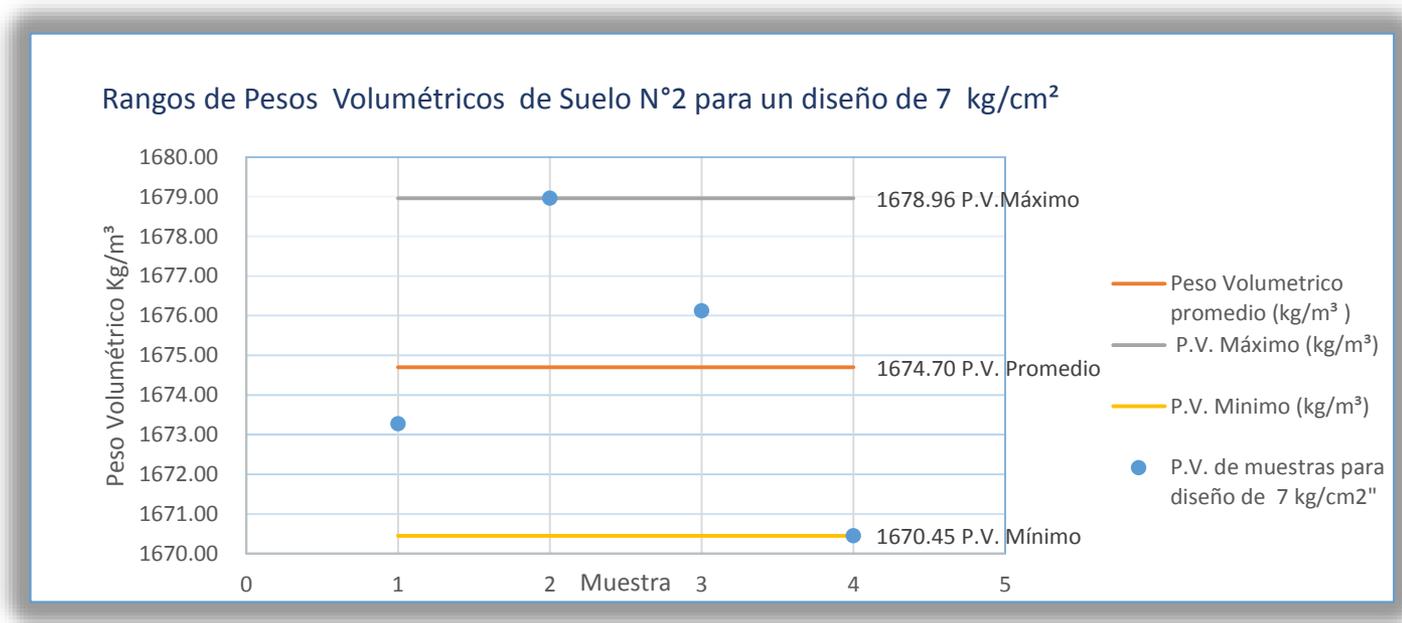


Tabla 5.34 Contenidos de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

SUELO N°2		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°1	6.00 %	6.30 %
BACHADA N°2	6.00 %	
BACHADA N°3	6.50 %	
BACHADA N°4	6.50 %	

Figura 5.29 Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

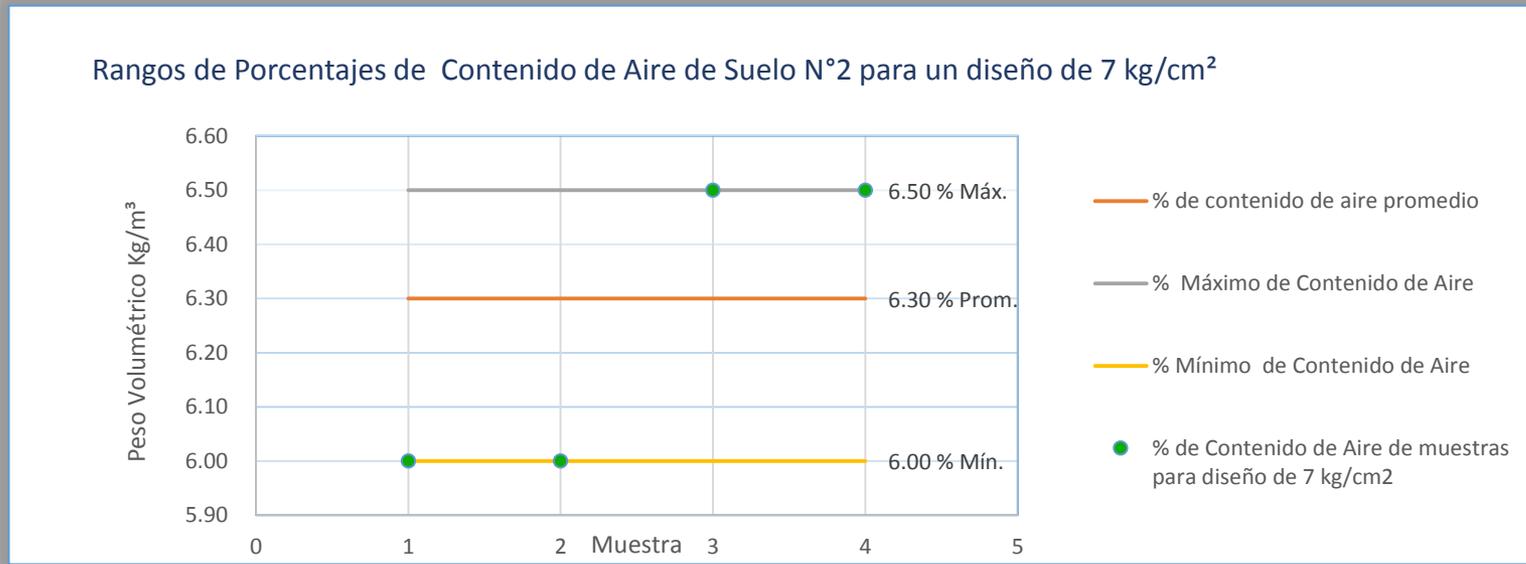


Tabla 5.35 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

SUELO N°2				
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 1	8.00 in	8.00 in	33.0 cms.	33.5 cms.
BACHADA N° 2	7.50 in		32.0 cms.	
BACHADA N° 3	8.00 in		33.0 cms.	
BACHADA N° 4	8.50 in		36.0 cms.	

Tabla 5.36 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
8.00 in	33.0 cms.
7.50 in	32.0 cms.
8.00 in	33.0 cms.
8.50 in	36.0 cms.

Figura 5.30 Revenimientos para un diseño de  $7 \text{ kg/cm}^2$  de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

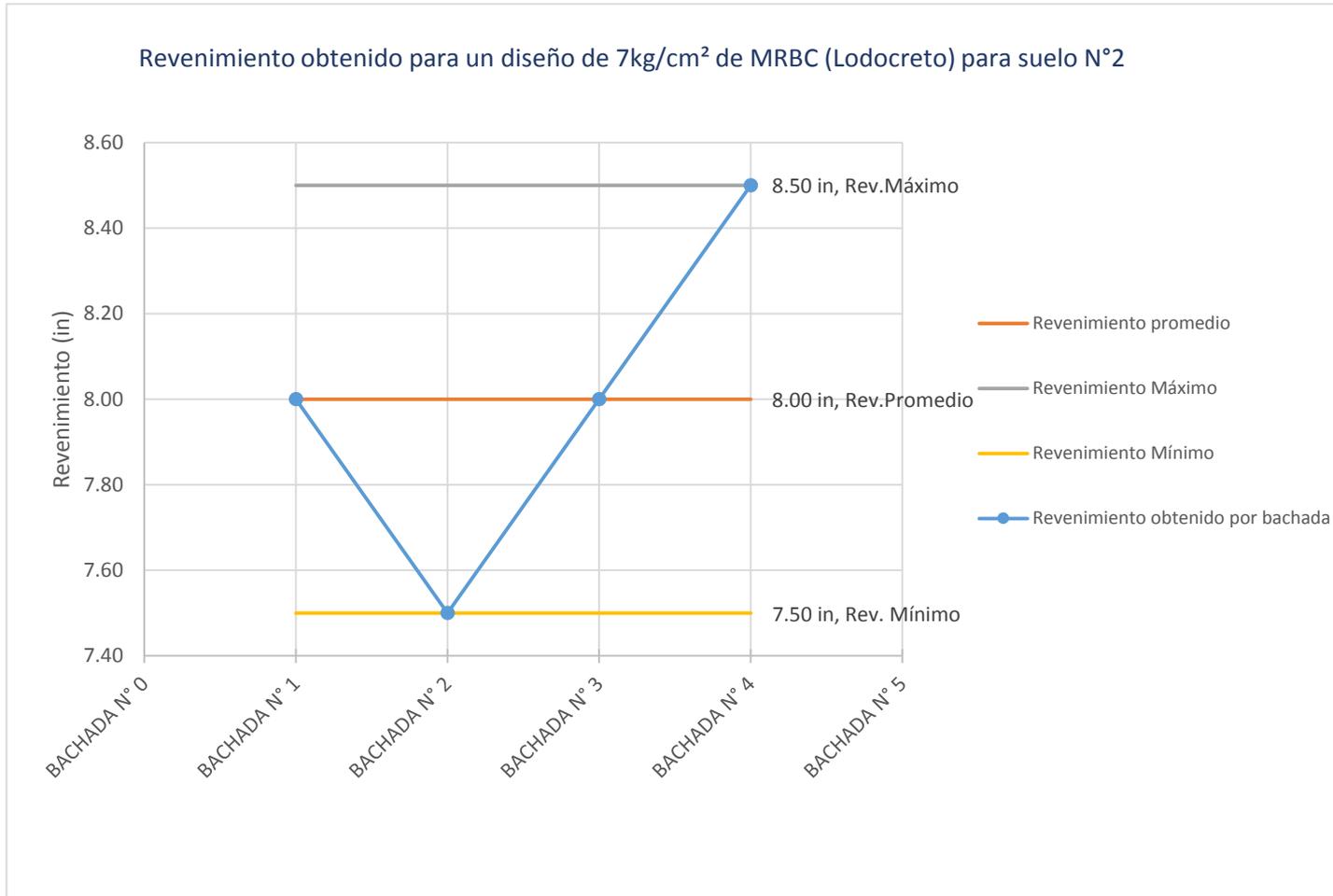


Figura 5.31 Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

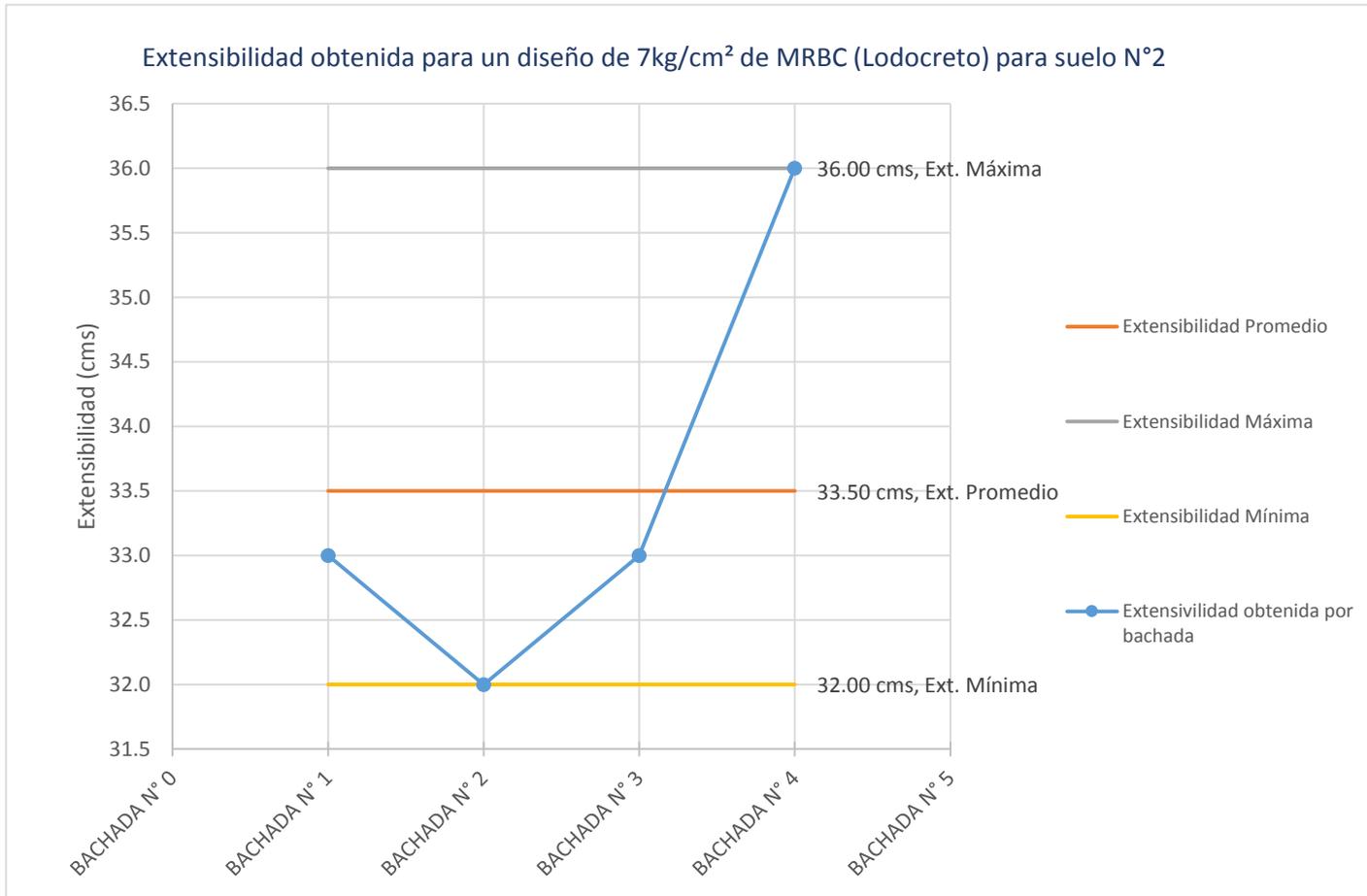


Figura 5.32 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

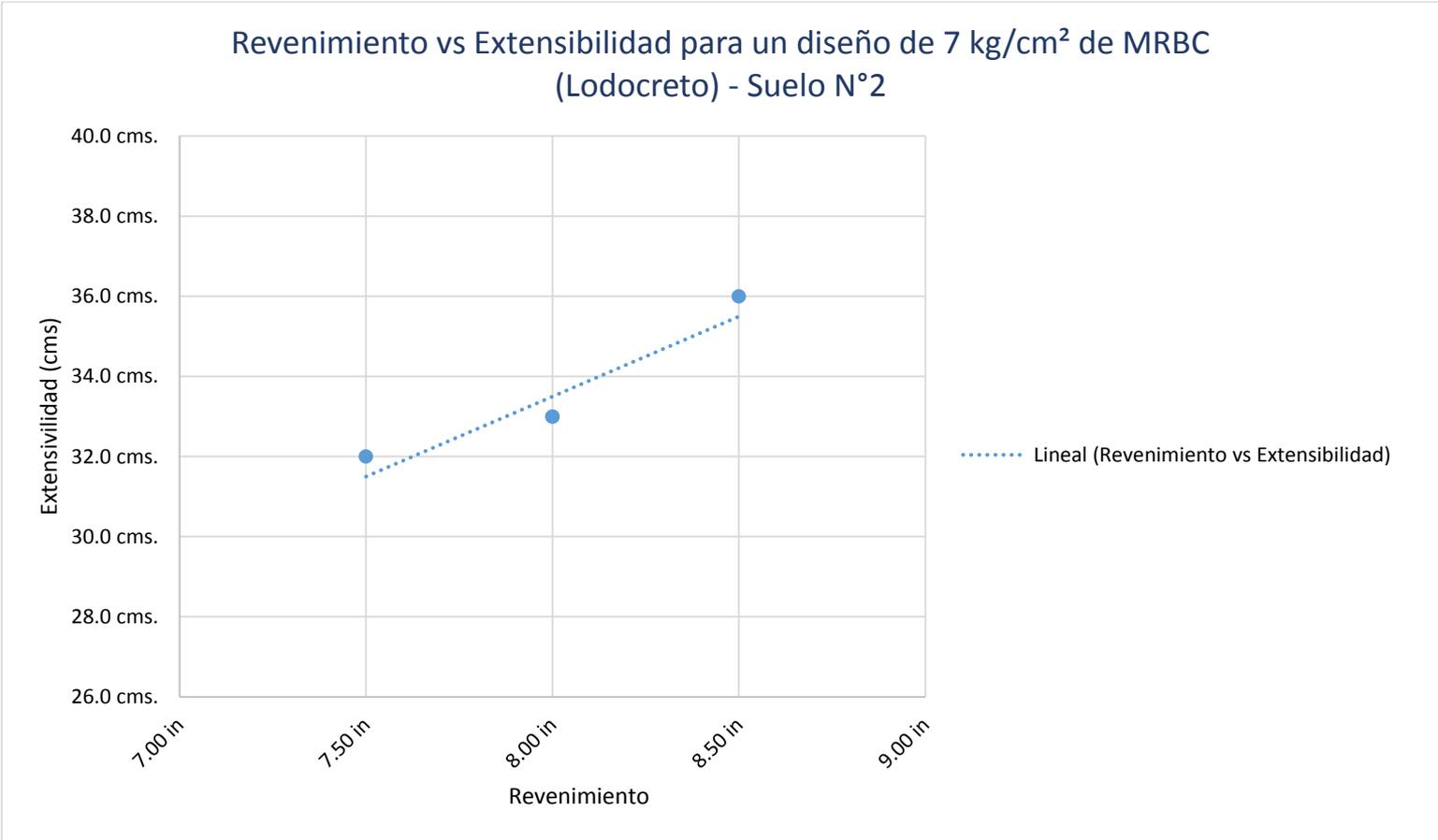


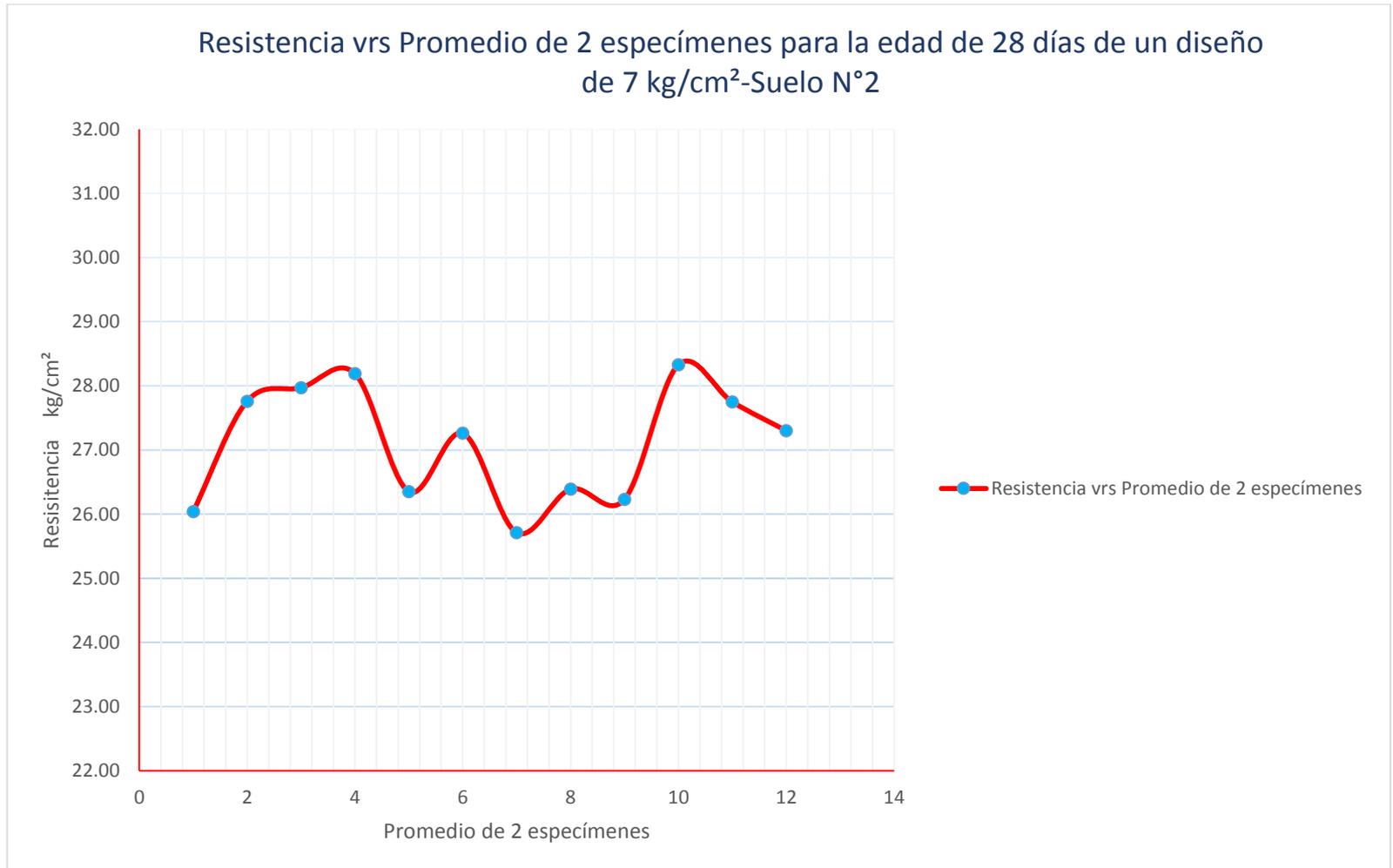
Figura 5.33 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2



Figura 5.34 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2



Figura 5.35 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2



***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION A 14 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto), Suelo N°2.**

*Tabla 5.37 Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 5</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	455.9	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	417.9				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>13.84%</b>	<b>13.84%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-11.79%</b>	<b>-147.35</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.54</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>9</b>			
Agua (Kg)	262.65	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>39</b>			
Suelo (Kg)	1397.35	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>6</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1650.60</b>	RELACION A/C		<b>2.47</b>			

*Tabla 5.38 Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto).*

<b>BACHADA 6</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	428.5	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	411				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>6.54%</b>	<b>6.54%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-4.49%</b>	<b>-56.09</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.80</b>	REVENIMIENTO (in)		<b>8</b>			
Agua (Kg)	353.91	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)		<b>33</b>			
Suelo (Kg)	1306.09	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE		<b>6.5</b>			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1687.46</b>	RELACION A/C		<b>3.33</b>			

Tabla 5.39 Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 7									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	474.2	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	460				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>4.48%</b>	<b>4.48%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-2.43%</b>	<b>-30.42</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	Wlodo+recip	14.84	REVENIMIENTO (in)		9			
Agua (Kg)	379.58	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		39			
Suelo (Kg)	1280.42	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		6.5			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1693.14</b>	RELACION A/C		<b>3.57</b>			

Tabla 5.40 Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 8									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	457.7	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	428.6				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>10.20%</b>	<b>10.20%</b>	<b>2.05%</b>	<b>-8.15%</b>	<b>-101.87</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	Wlodo+recip	14.84	REVENIMIENTO (in)		8			
Agua (Kg)	308.13	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		33			
Suelo (Kg)	1351.87	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		6.7			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1693.14</b>	RELACION A/C		<b>2.90</b>			

Tabla 5.41 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	7	07/04/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.27	3166	17.22	123%	17.78	18.81	20.26	17.22	22.72
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.34	3370	18.33	131%					
	7		3	15.4	30.5	186.27	9.1	3220	17.29	124%	18.92				
	7		4	15.5	30.5	188.69	9.43	3878	20.55	147%	19.74				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.27	3601	19.59	140%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.06	3655	19.88	142%					
N° 6	7	10/04/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.58	4108	22.34	160%	22.14	22.28	20.26	17.22	22.72
	7		2	15.5	30.5	188.69	9.74	4139	21.94	157%	22.43				
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.48	4157	22.61	162%					
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.52	4090	22.25	159%	22.27				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.5	4116	22.39	160%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.56	4072	22.15	158%					
N° 7	7	17/04/2017	1	15.2	30.5	181.46	9.78	3179	17.52	125%	17.47	17.68	20.26	17.22	22.72
	7		2	15.4	30.5	186.27	9.7	3243	17.41	124%	17.93				
	7		3	15.2	30.5	181.46	9.68	3333	18.37	131%					
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.6	3215	17.49	125%	17.65				
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.54	3226	17.32	124%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.52	3306	17.98	128%					
N° 8	7	24/04/2017	1	15.5	30.5	188.69	9.86	4090	21.68	155%	21.82	22.25	20.26	17.22	22.72
	7		2	15.5	30.5	188.69	9.68	4141	21.95	157%	22.67				
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.7	4178	22.72	162%					
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.56	4159	22.62	162%	22.27				
	7		5	15.5	30.5	188.69	9.84	4212	22.32	159%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.66	4086	22.22	159%					

**Tabla 5.42 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2**

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos espécimenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	14/04/2017	7	15.4	30.5	186.27	9.28	5219	28.02	200%	27.59	27.56	28.92	27.01	30.68
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.36	4992	27.15	194%					
	14		9	15.5	30.5	188.69	9.4	5220	27.66	198%	27.58				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.18	5120	27.49	196%					
	14		11	15.3	30.5	183.85	9.3	4966	27.01	193%	27.50				
	14		12	15.5	30.5	188.69	9.48	5279	27.98	200%					
N° 6	14	17/04/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.52	5518	30.01	214%	30.25	30.11			
	14		8	15.4	30.5	186.27	9.62	5677	30.48	218%					
	14		9	15.4	30.5	186.27	9.58	5590	30.01	214%	29.94				
	14		10	15.3	30.5	183.85	9.56	5492	29.87	213%					
	14		11	15.5	30.5	188.69	9.84	5655	29.97	214%	30.14				
	14		12	15.5	30.5	188.69	9.72	5717	30.3	216%					
N° 7	14	24/04/2017	7	15.1	30.5	179.08	9.6	4909	27.41	196%	28.01	27.83			
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.56	5258	28.6	204%					
	14		9	15.2	30.5	181.46	9.64	5140	28.33	202%	28.36				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.88	5288	28.39	203%					
	14		11	15.5	30.5	188.69	9.8	5125	27.16	194%	27.13				
	14		12	15.5	30.5	188.69	9.62	5111	27.09	194%					
N° 8	14	01/05/2017	7	15.4	30.5	186.27	9.56	5687	30.53	218%	30.58	30.19			
	14		8	15.4	30.5	186.27	9.68	5704	30.62	219%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.58	5501	29.92	214%	29.47				
	14		10	15.5	30.5	188.69	9.7	5474	29.01	207%					
	14		11	15.4	30.5	186.27	9.64	5656	30.37	217%	30.53				
	14		12	15.4	30.5	186.27	9.56	5714	30.68	219%					

**Tabla 5.43 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2**

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°2															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	28/04/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.14	6192	34.12	244%	33.73	33.81	35.16	33.34	36.70
	14		14	15.4	30.5	186.27	9.38	6210	33.34	238%					
	14		15	15.3	30.5	183.85	9.38	6178	33.6	240%	33.52				
	14		16	15.2	30.5	181.46	9.18	6067	33.43	239%	34.19				
	14		17	15.3	30.5	183.85	9.26	6313	34.34	245%					
	14		18	15	30.5	176.71	9.22	6016	34.04	243%					
N° 6	14	01/05/2017	13	15.5	30.5	188.69	9.86	6791	35.99	257%	36.13	36.25	35.16	33.34	36.70
	14		14	15.5	30.5	188.69	9.9	6844	36.27	259%					
	14		15	15.3	30.5	183.85	9.7	6636	36.09	258%	36.23				
	14		16	15.4	30.5	186.27	9.64	6772	36.36	260%	36.39				
	14		17	15.3	30.5	183.85	9.62	6677	36.32	259%					
	14		18	15.3	30.5	183.85	9.66	6703	36.46	260%					
N° 7	14	08/05/2017	13	15.4	30.5	186.27	9.46	6384	34.27	245%	34.45	34.55	35.16	33.34	36.70
	14		14	15.3	30.5	183.85	9.7	6365	34.62	247%					
	14		15	15.4	30.5	186.27	9.54	6524	35.03	250%	34.42				
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.7	6379	33.81	242%	34.79				
	14		17	15.4	30.5	186.27	9.46	6635	35.62	254%					
	14		18	15.3	30.5	183.85	9.56	6242	33.95	243%					
N° 8	14	15/05/2017	13	15.5	30.5	188.69	9.82	6794	36.01	257%	35.53	36.02	35.16	33.34	36.70
	14		14	15.4	30.5	186.27	9.62	6527	35.04	250%					
	14		15	15.4	30.5	186.27	9.44	6611	35.49	254%	35.89				
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.76	6847	36.29	259%	36.64				
	14		17	15.4	30.5	186.27	9.46	6812	36.57	261%					
	14		18	15.3	30.5	183.85	9.52	6748	36.7	262%					

Figura 5.36 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

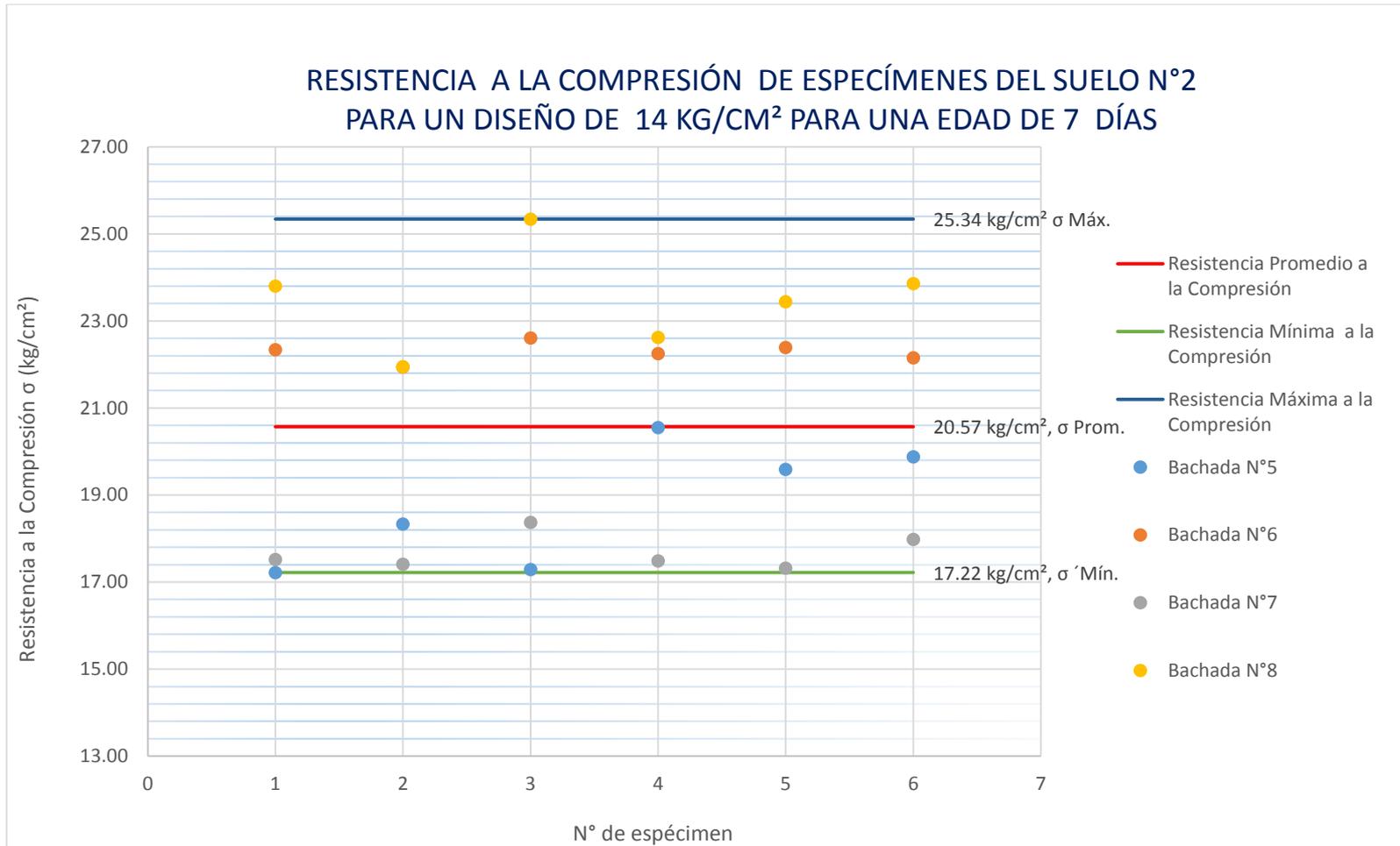


Figura 5.37 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

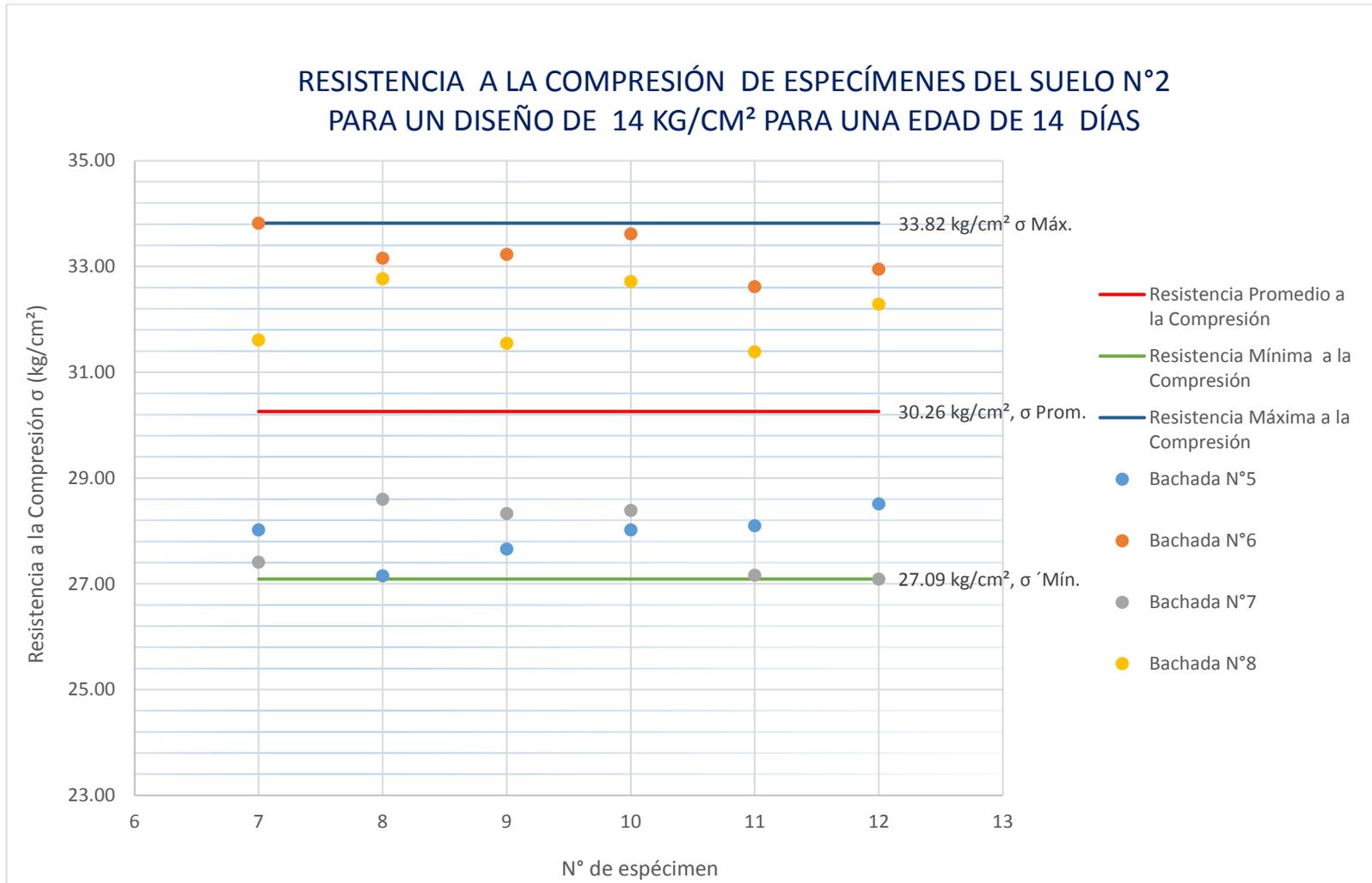


Figura 5.38 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°2

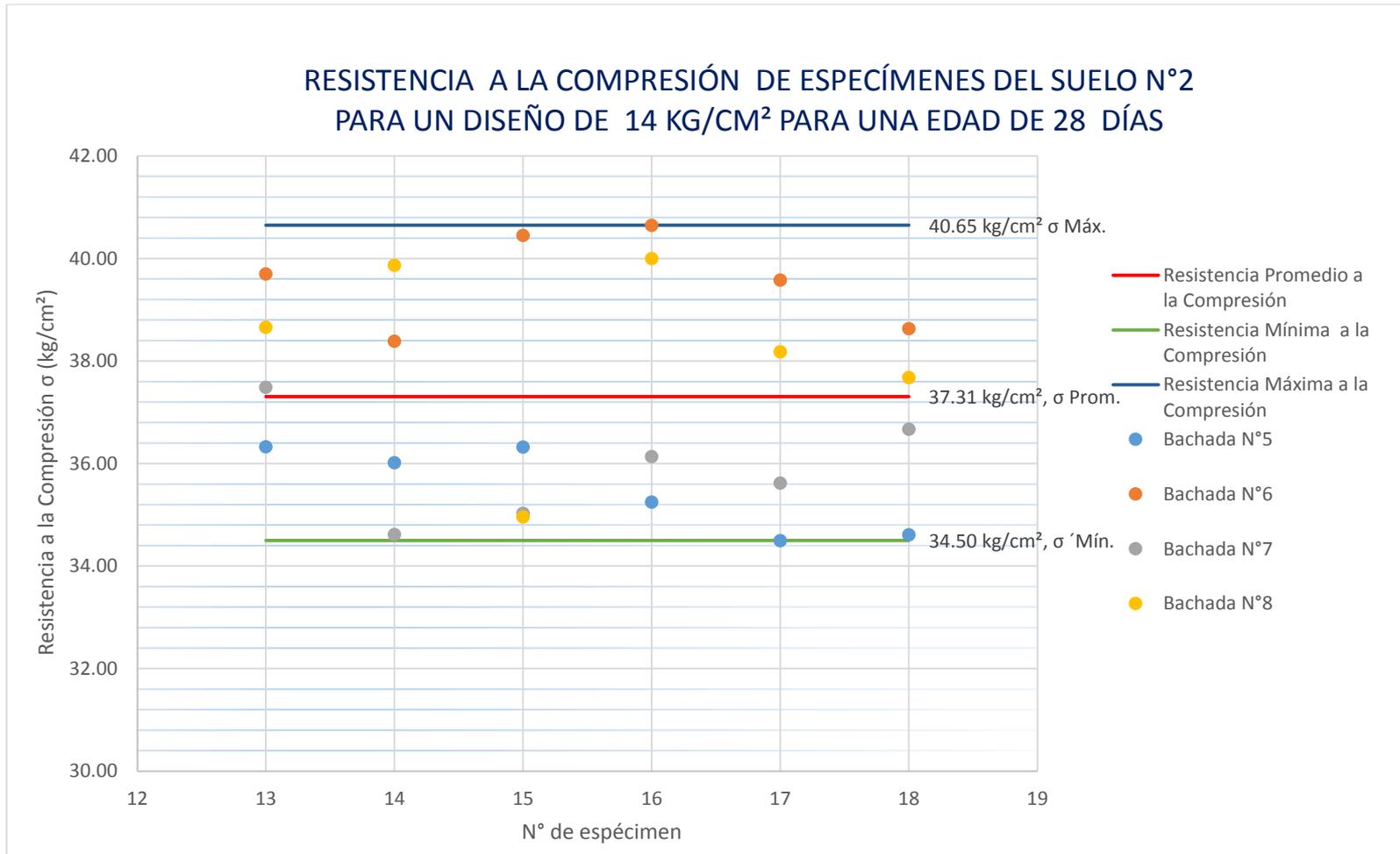


Tabla 5.44 Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	20.57
14	30.26
28	37.31

Figura 5.39 Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°2 (Diseño 7 kg/cm<sup>2</sup>-de MRBC- Lodocreto)

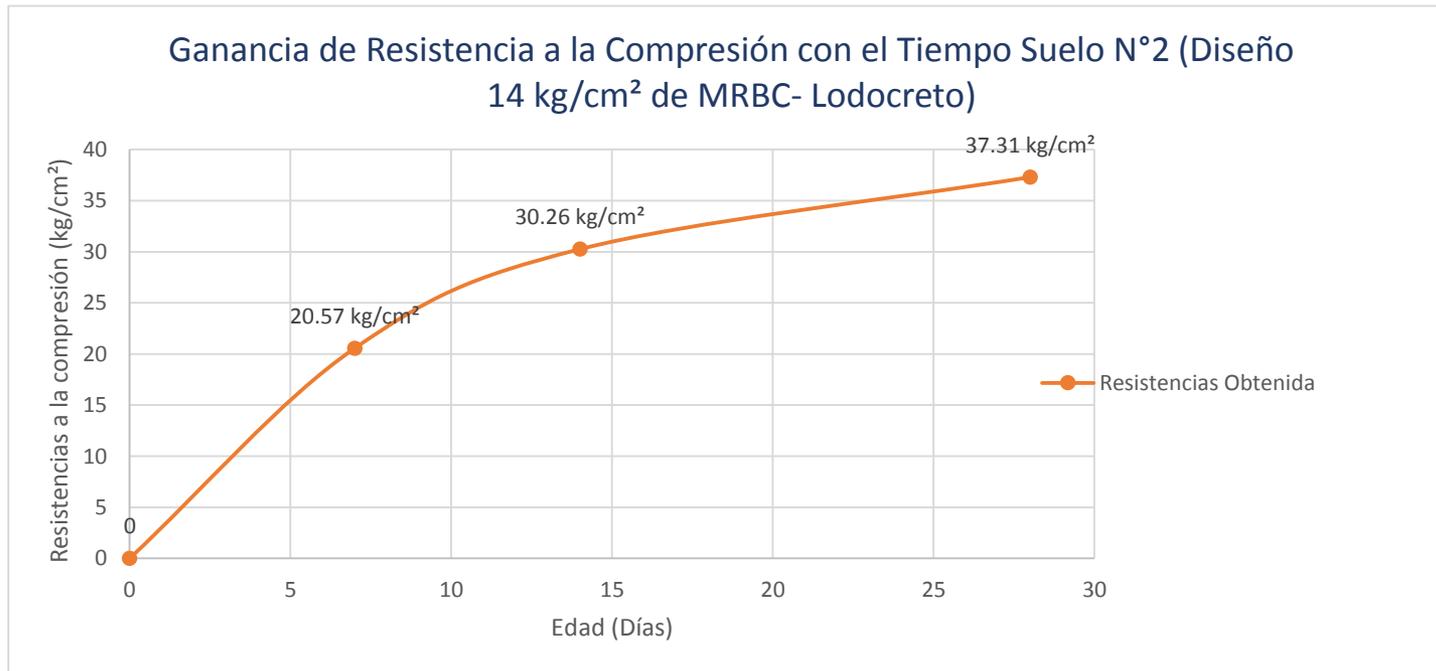


Tabla 5.45 Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

SUELO N°2		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumetrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumetrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°5	1650.60	1681.09
BACHADA N°6	1687.46	
BACHADA N°7	1693.14	
BACHADA N°8	1693.14	

Figura 5.40 Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

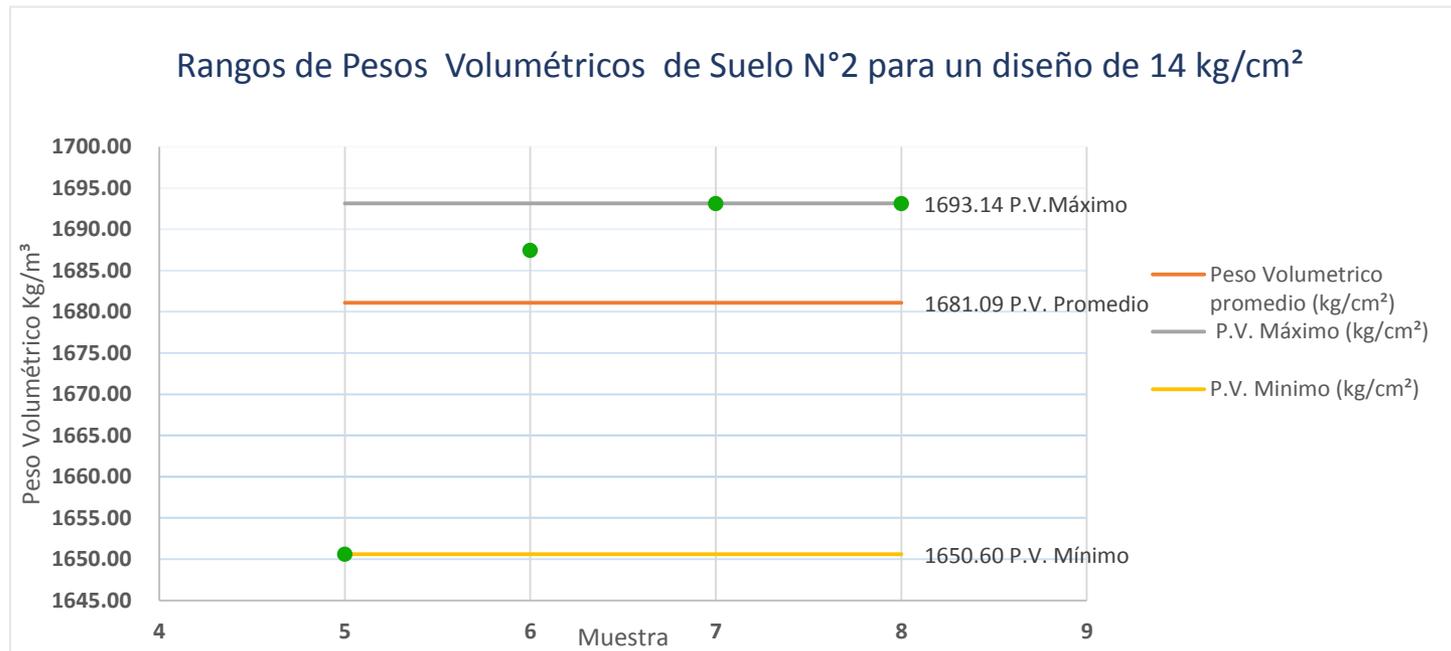


Tabla 5.46 Contenidos de aire para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

SUELO N°2		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°5	6.00 %	6.43 %
BACHADA N°6	6.50 %	
BACHADA N°7	6.50 %	
BACHADA N°8	6.70 %	

Figura 5.41 Contenido de aire para un diseño de 14kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

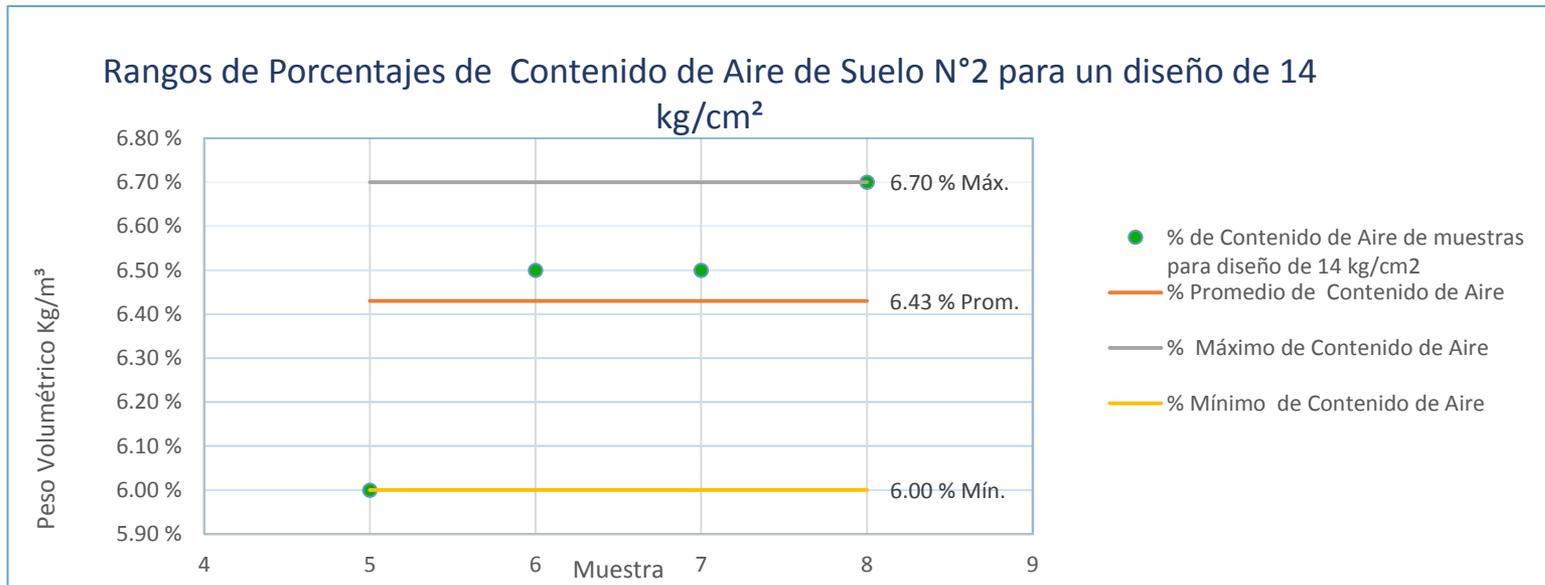


Tabla 5.47 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

SUELO N°2				
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 5	9.00 in	8.50 in	39.0 cms.	36.0 cms.
BACHADA N° 6	8.00 in		33.0 cms.	
BACHADA N° 7	9.00 in		39.0 cms.	
BACHADA N° 8	8.00 in		33.0 cms.	

Tabla 5.48 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°2

Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
9.00 in	39.0 cms.
8.00 in	33.0 cms.
9.00 in	39.0 cms.
8.00 in	33.0 cms.

Figura 5.42 Revenimiento para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

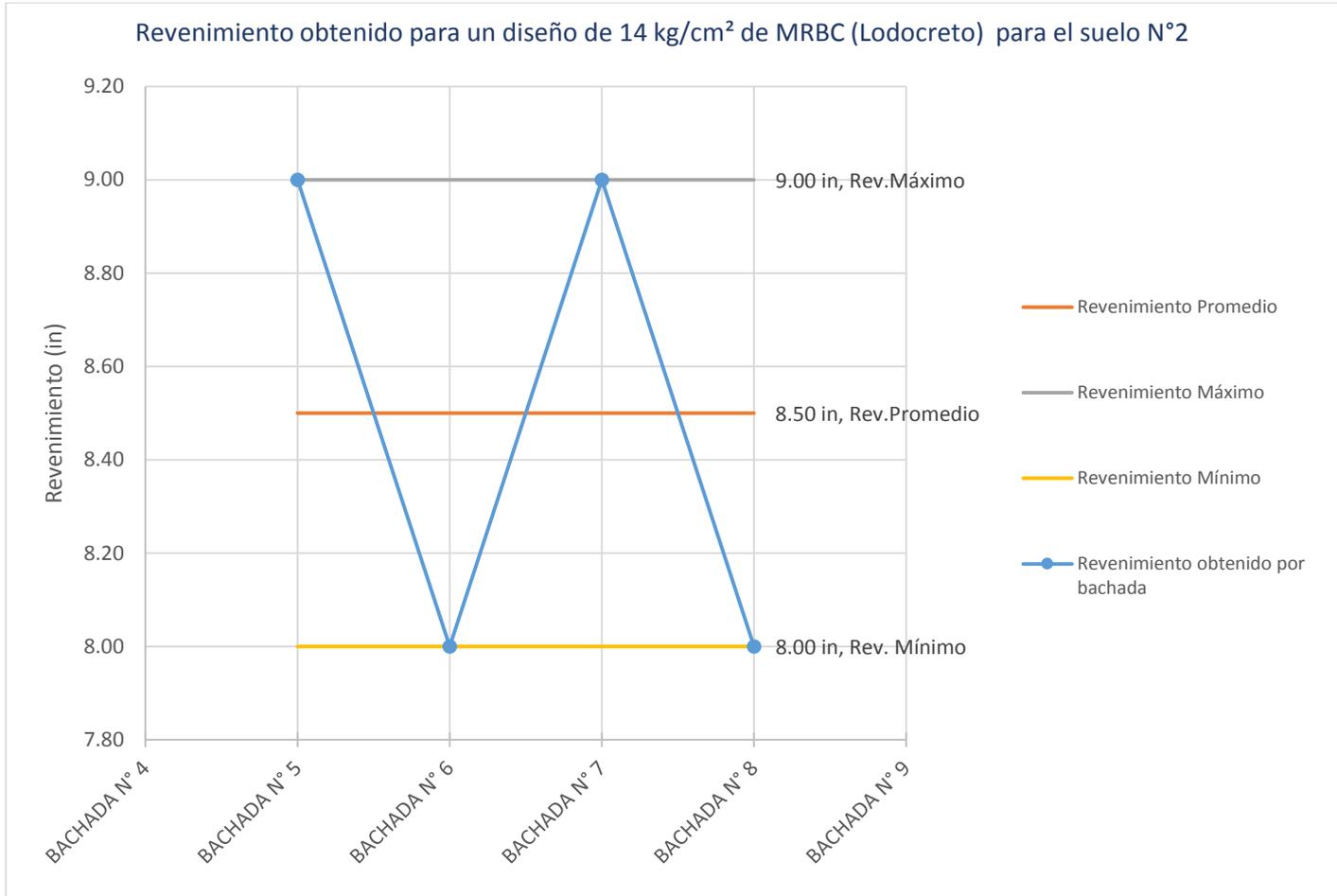


Figura 5.43 Extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

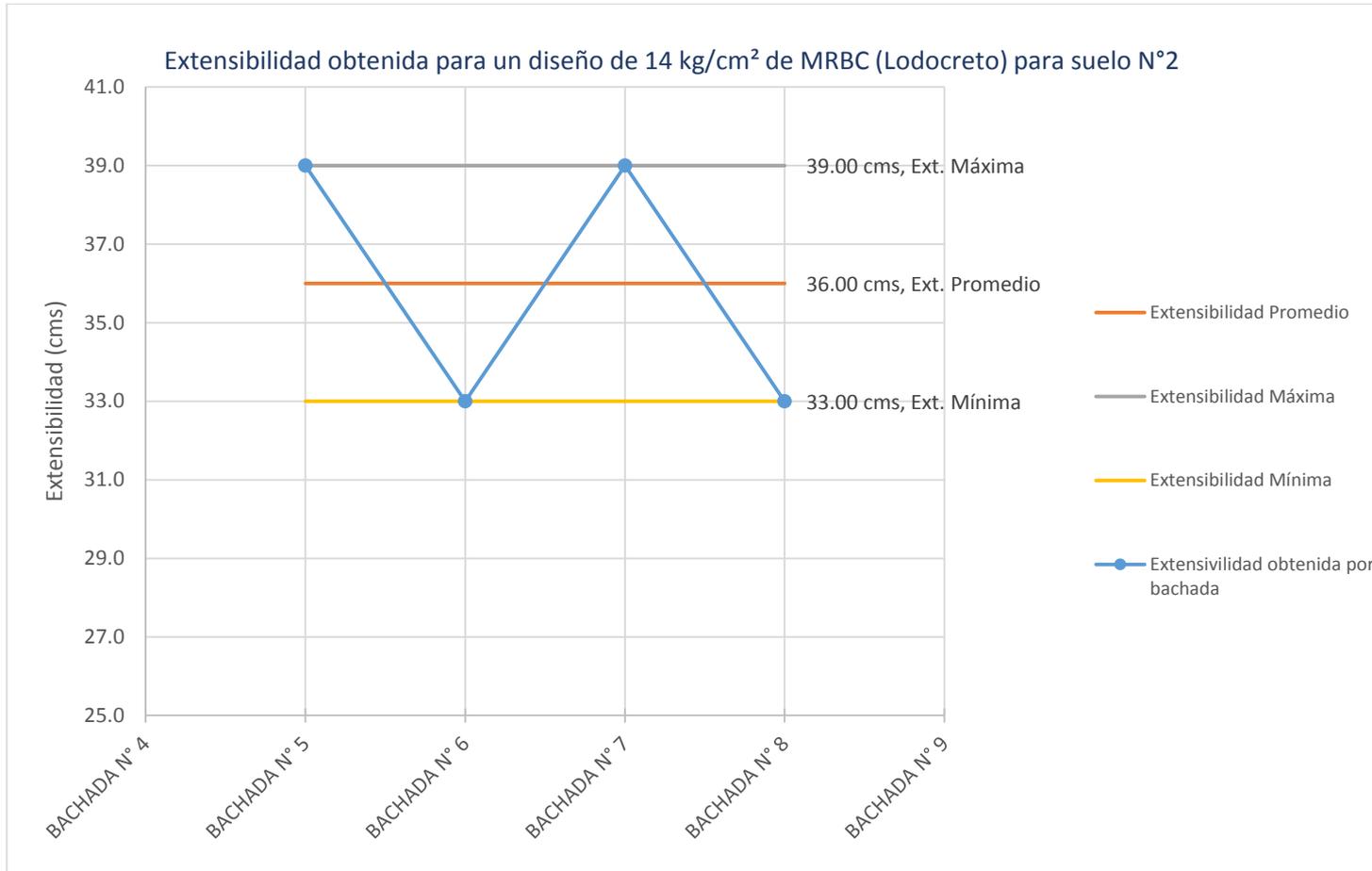


Figura 5.44 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°2

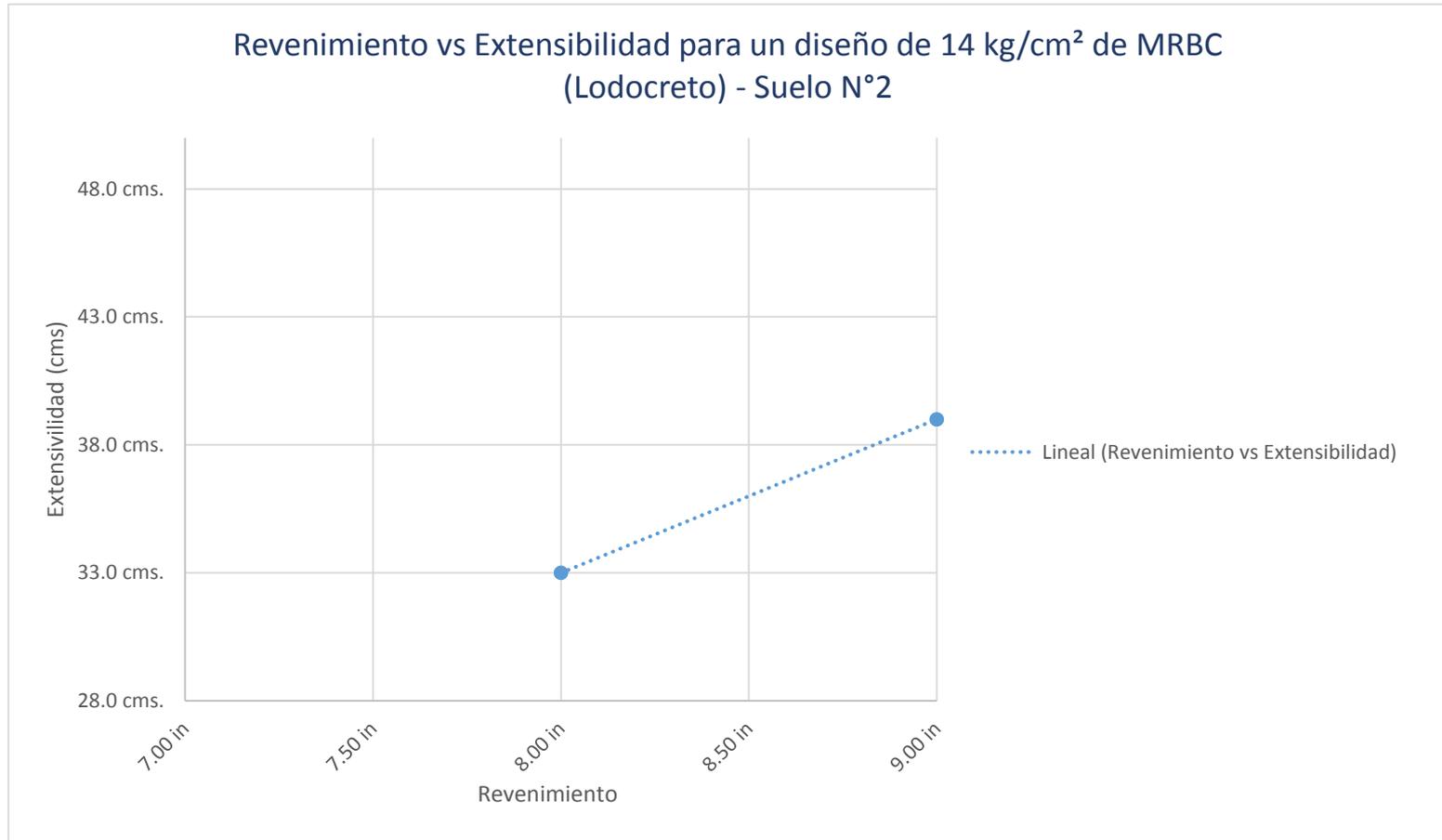


Figura 5.45 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2

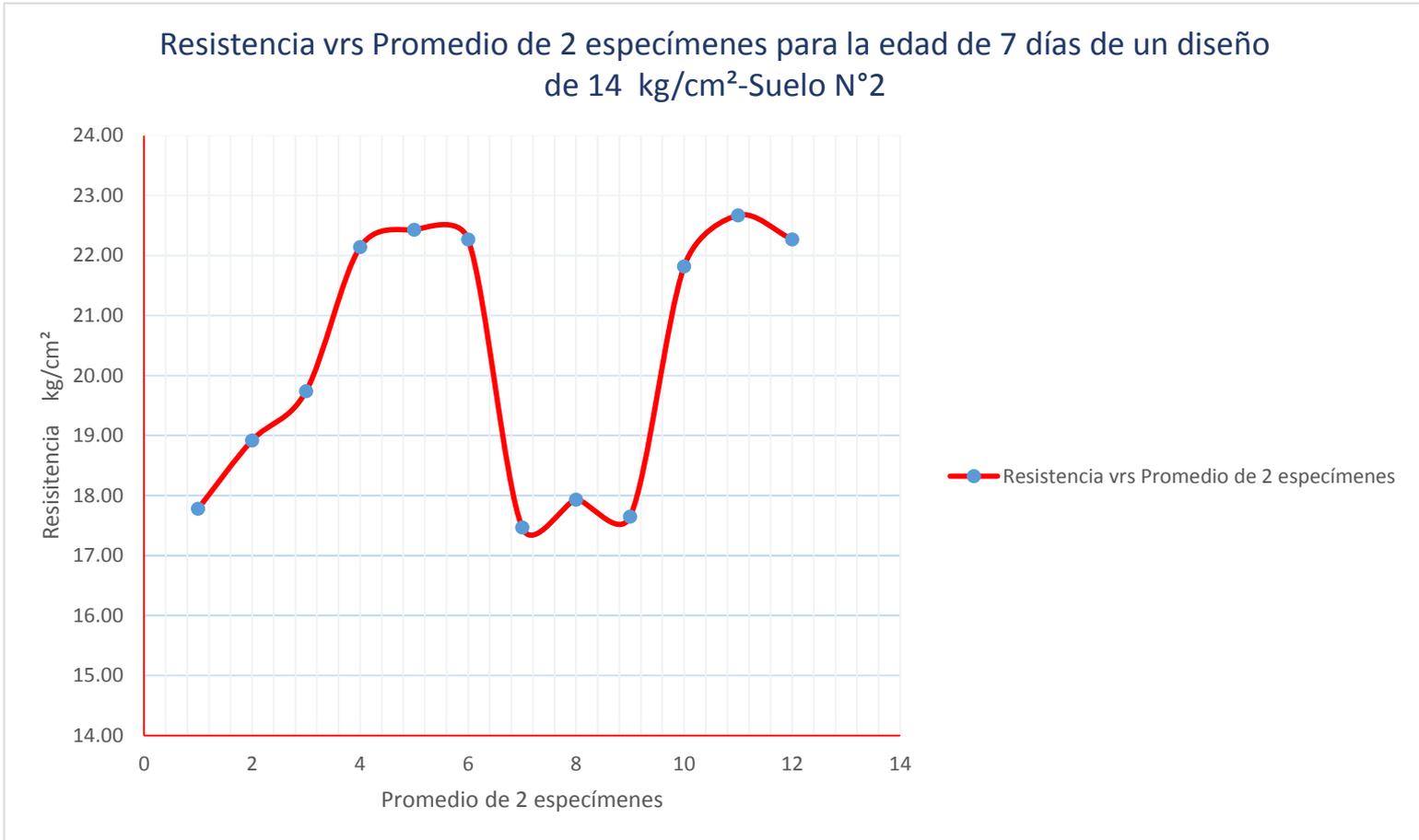


Figura 5.46 Resistencia vs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2



Figura 5.47 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°2



***Banco de Préstamo #3***  
***Colonia Monte Carmelo,***  
***Calle Antigua al Matasano***

***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION 7 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto), Suelo N°3.**

*Tabla 5.49 Datos de diseño de la bachada N°1 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)*

<b>BACHADA 1</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	423.7	% humedad	% absorción	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	366.1				
Suelo	1250	2.30	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		988.69	% de humedad	<b>25.85%</b>	<b>25.85%</b>	8.75%	-	<b>-213.78</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.72	REVENIMIENTO (in)		8			
Agua (Kg)	206.22	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		33			
Suelo (Kg)	1463.78	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3.0			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1676.12</b>	RELACION A/C		<b>2.77</b>			

*Tabla 5.50 Datos de diseño de la bachada N°2 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)*

<b>BACHADA 2</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	450	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	391				
Suelo	1250	2.3	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		988.69	% de humedad	<b>23.82%</b>	<b>23.82%</b>	8.75%	<b>-11.75%</b>	<b>-146.88</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.68	REVENIMIENTO (in)		7.75			
Agua (Kg)	273.13	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		30			
Suelo (Kg)	1396.88	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3.2			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	<b>PV =</b>	<b>1670.45</b>	RELACION A/C		<b>3.67</b>			

Tabla 5.51 Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 3									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	460	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	409.1				
Suelo	1250	2.30	563.06	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		988.69	% de humedad	19.15%	19.15%	8.75%	-10.40%	-130.0
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.64	REVENIMIENTO (in)		8.5			
Agua (Kg)	290.00	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		37			
Suelo (Kg)	1380.00	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3.2			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	PV =	<b>1664.78</b>	RELACION A/C		3.90			

Tabla 5.52 Datos de diseño de la bachada N°3 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 4									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	74.38	2.95	25.21	Wsh+tara=	460.0	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	420	1	420.00	Wsc+tara=	409.5				
Suelo	1250	2.30	543.48	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>		988.69	% de humedad	18.97%	18.97%	8.75%	-10.22%	-127.76
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	74.38	Wlodo+recip	14.86	REVENIMIENTO (in)		9			
Agua (Kg)	292.24	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		40			
Suelo (Kg)	1377.76	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3.7			
<b>TOTAL</b>	<b>1744.38</b>	PV =	<b>1695.97</b>	RELACION A/C		3.93			

Tabla 5.53 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	7	10/05/2017	1	15.5	30.5	188.69	9.46	2136	11.32	162%	12.10	12.75	14.74	11.32	17.74
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.46	2367	12.87	184%					
	7		3	15.5	30.5	188.69	9.62	2372	12.57	180%	12.88				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.44	2425	13.19	188%	13.27				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.62	2415	13.14	188%					
	7		6	15.5	30.5	188.69	9.66	2526	13.39	191%					
N°2	7	12/05/2017	15.3	30.5	183.85	9.2	2821	15.34	14.38	205%	14.40	14.45	14.74	11.32	17.74
	7		15.5	30.5	188.69	9.48	2993	15.86	14.42	206%					
	7		15.3	30.5	183.85	9.32	2227	12.11	14.61	209%	14.91				
	7		15.5	30.5	188.69	9.6	2150	11.39	15.2	217%	14.04				
	7		15.5	30.5	188.69	9.48	2521	13.36	13.91	199%					
	7		15.3	30.5	183.85	9.4	2748	14.95	14.16	202%					
N°3	7	15/05/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.2	3261	17.74	253%	17.55	16.99	14.74	11.32	17.74
	7		2	15.2	30.5	181.46	9.18	3150	17.36	248%					
	7		3	15.2	30.5	181.46	9.16	2816	15.52	222%	15.96				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.5	3052	16.39	234%	17.45				
	7		5	15.1	30.5	179.08	9.2	3176	17.74	253%					
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.36	3197	17.16	245%					
N°4	7	19/05/2017	1	15.5	30.5	188.69	9.7	3098	16.42	235%	15.27	14.75	14.74	11.32	17.74
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.58	2595	14.11	202%					
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.44	2757	15	214%	14.49				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.54	2571	13.98	200%	14.50				
	7		5	15.3	30.5	183.85	9.58	2658	14.46	207%					
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.48	2671	14.53	208%					

**Tabla 5.54 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3**

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos espécimenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	14	17/05/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.52	2567	14.15	202%	13.74	15.20	17.47	13.32	22.45
	14		8	15.1	30.5	179.08	9.56	2385	13.32	190%					
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.46	2825	15.37	220%	16.06				
	14		10	15.1	30.5	179.08	9.48	2998	16.74	239%	15.81				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.49	2957	16.3	233%					
	14		12	15.1	30.5	179.08	9.5	2744	15.32	219%					
N°2	14	19/05/2017	7	15	30.5	176.71	9.58	2785	15.76	225%	16.40	16.92	17.47	13.32	22.45
	14		8	15.5	30.5	188.69	9.58	3215	17.04	243%					
	14		9	15	30.5	176.71	9.34	2875	16.27	232%	16.74				
	14		10	15	30.5	176.71	9.34	3039	17.2	246%	17.62				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.44	3488	19.22	275%					
	14		12	15	30.5	176.71	9.36	2830	16.01	229%					
N°3	14	22/05/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.32	3252	17.69	253%	18.63	18.94	17.47	13.32	22.45
	14		8	15.5	30.5	188.69	9.44	3692	19.57	280%					
	14		9	15.4	30.5	186.27	9.3	3361	18.04	258%	17.91				
	14		10	15.4	30.5	186.27	9.36	3311	17.78	254%	20.27				
	14		11	15.4	30.5	186.27	9.32	4182	22.45	321%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.3	3324	18.08	258%					
N°4	14	26/05/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.82	3460	19.07	272%	18.48	18.81	17.47	13.32	22.45
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.78	3288	17.88	255%					
	14		9	15.1	30.5	179.08	9.58	3392	18.94	271%	19.12				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.48	3501	19.29	276%	18.82				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.8	3490	19.23	275%					
	14		12	15.1	30.5	179.08	9.6	3297	18.41	263%					

**Tabla 5.55 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3**

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N°1	28	31/05/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.66	3873	21.34	305%	20.02	18.17	20.50	16.26	23.59
	28		14	15.1	30.5	179.08	9.44	3347	18.69	267%					
	28		15	15.1	30.5	179.08	9.44	2912	16.26	232%	16.40				
	28		16	15.3	30.5	183.85	9.72	3039	16.53	236%	18.10				
	28		17	15.1	30.5	179.08	9.42	3188	17.8	254%					
	28		18	15.2	30.5	181.46	9.68	3338	18.4	263%					
N°2	28	02/06/2017	13	15	30.5	176.71	9.24	3675	20.8	297%	21.06	21.10	20.50	16.26	23.59
	28		14	15.2	30.5	181.46	9.4	3869	21.32	305%	20.20				
	28		15	15.2	30.5	181.46	9.38	3284	18.1	259%					
	28		16	15.1	30.5	179.08	9.36	3991	22.29	318%	22.03				
	28		17	15.1	30.5	179.08	9.26	3837	21.43	306%					
	28		18	15.2	30.5	181.46	9.26	4105	22.62	323%					
N°3	28	05/06/2017	13	15.5	30.5	188.69	9.54	4436	23.51	336%	21.54	21.83	20.50	16.26	23.59
	28		14	15.5	30.5	188.69	9.34	3692	19.57	280%	21.12				
	28		15	15.3	30.5	183.85	9.34	3733	20.3	290%					
	28		16	15.3	30.5	183.85	9.26	4032	21.93	313%	22.82				
	28		17	15.2	30.5	181.46	9.36	4005	22.07	315%					
	28		18	15.5	30.5	188.69	9.44	4445	23.56	337%					
N°4	28	09/06/2017	13	15.1	30.5	179.08	9.9	3869	21.61	309%	21.26	20.91	20.50	16.26	23.59
	28		14	15.1	30.5	179.08	9.88	3742	20.9	299%	21.88				
	28		15	15	30.5	176.71	9.66	4168	23.59	337%					
	28		16	15	30.5	176.71	9.7	3565	20.17	288%	19.58				
	28		17	15	30.5	176.71	9.42	3465	19.61	280%					
	28		18	15.1	30.5	179.08	9.68	3500	19.54	279%					

Figura 5.48 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3

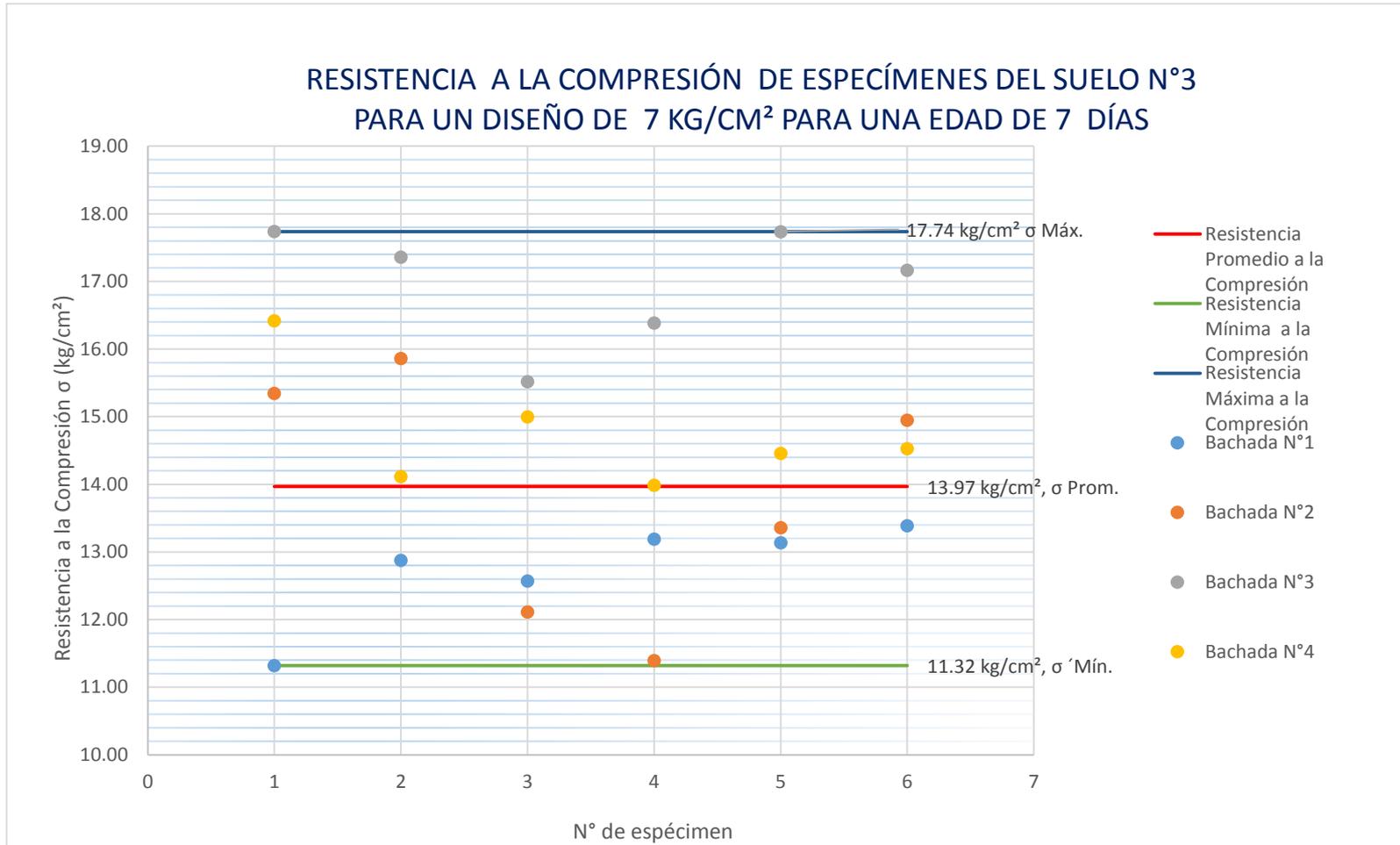


Figura 5.49 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3

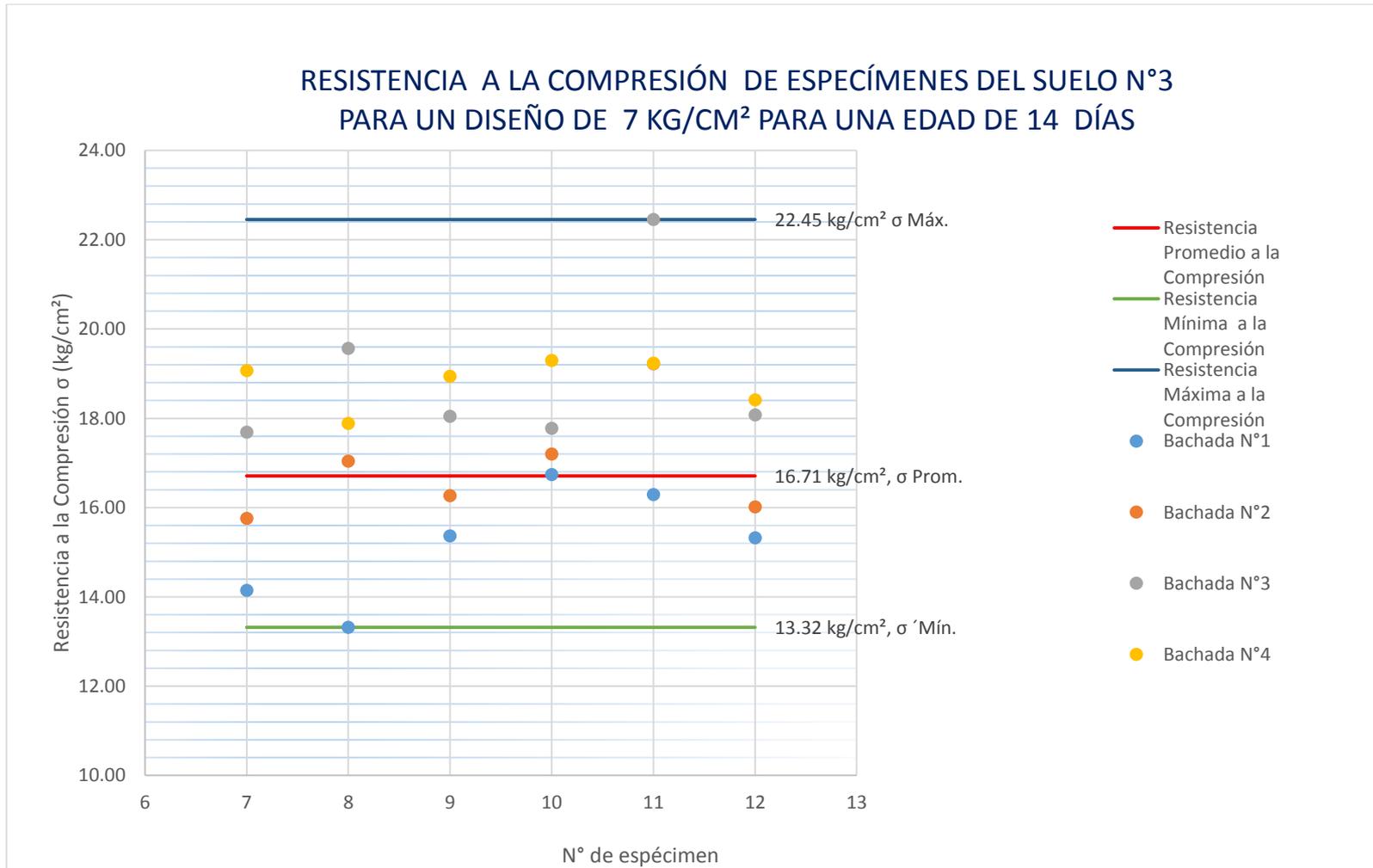


Figura 5.50 Resistencia a la compresión para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3

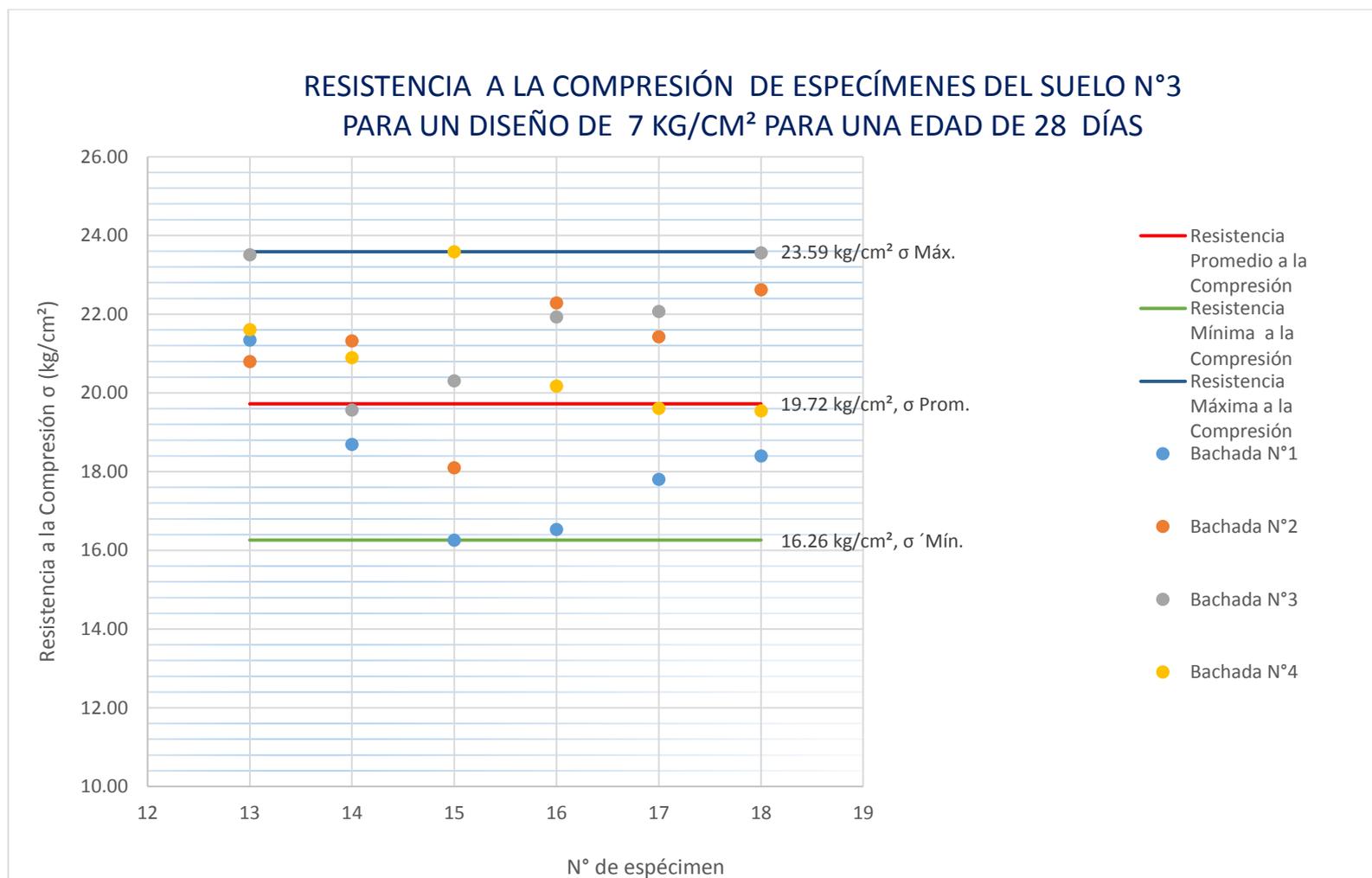


Tabla 5.56 Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> Suelo N°3

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	13.97
14	16.71
28	19.72

Figura 5.51 Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°3 (Diseño 7 kg/cm<sup>2</sup>-de MRBC- Lodocreto)

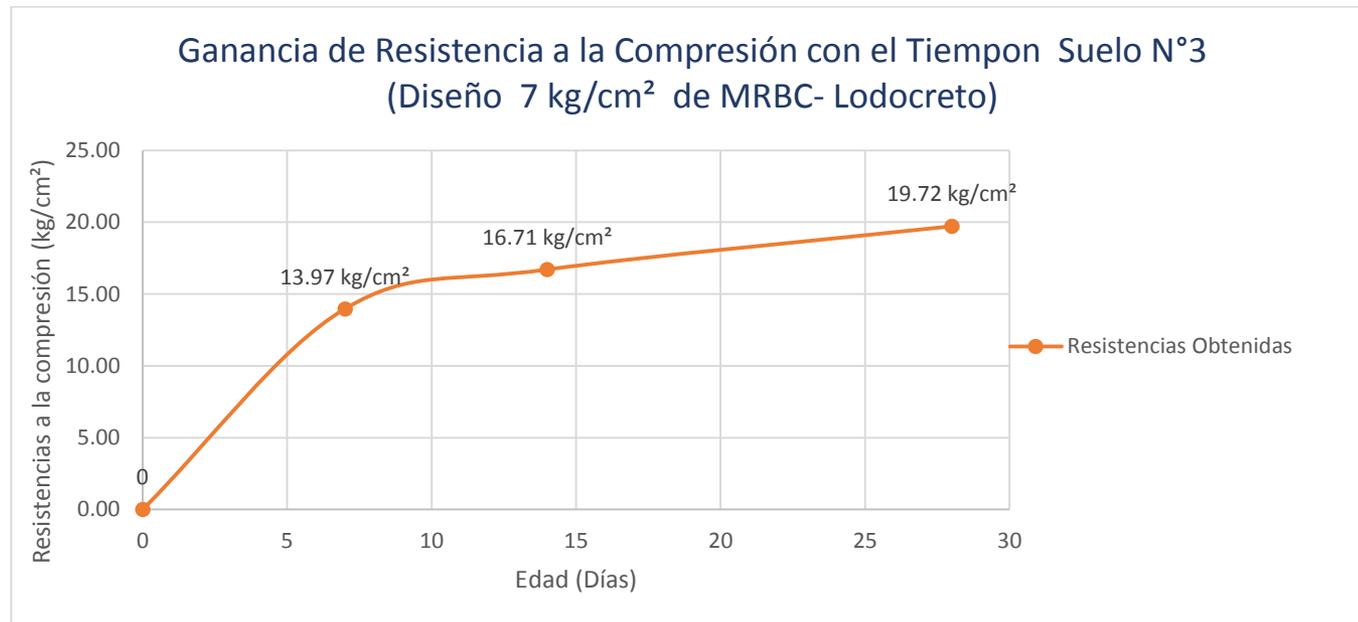


Tabla 5.57 Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumetrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumetrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°1	1676.12	1676.83
BACHADA N°2	1670.45	
BACHADA N°3	1664.78	
BACHADA N°4	1695.97	

Figura 5.52 Peso volumétricos para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

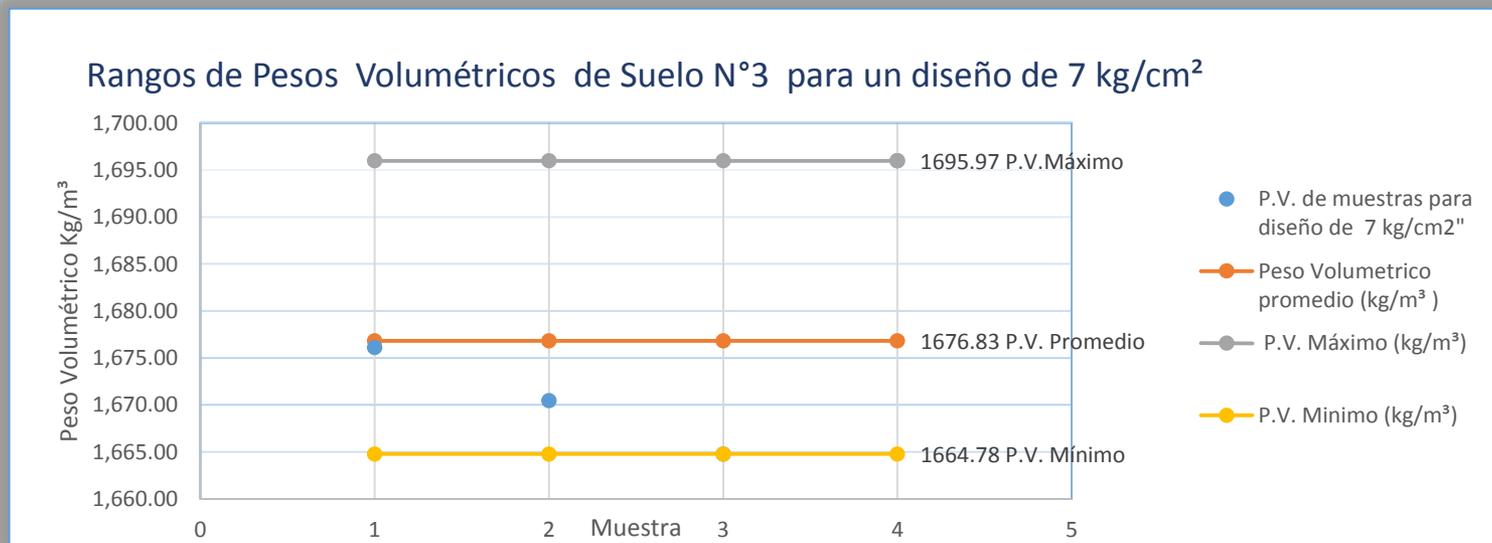


Tabla 5.58 Contenidos de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3		
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°1	3.00 %	3.30 %
BACHADA N°2	3.20 %	
BACHADA N°3	3.20 %	
BACHADA N°4	3.70 %	

Figura 5.53 Contenido de aire para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

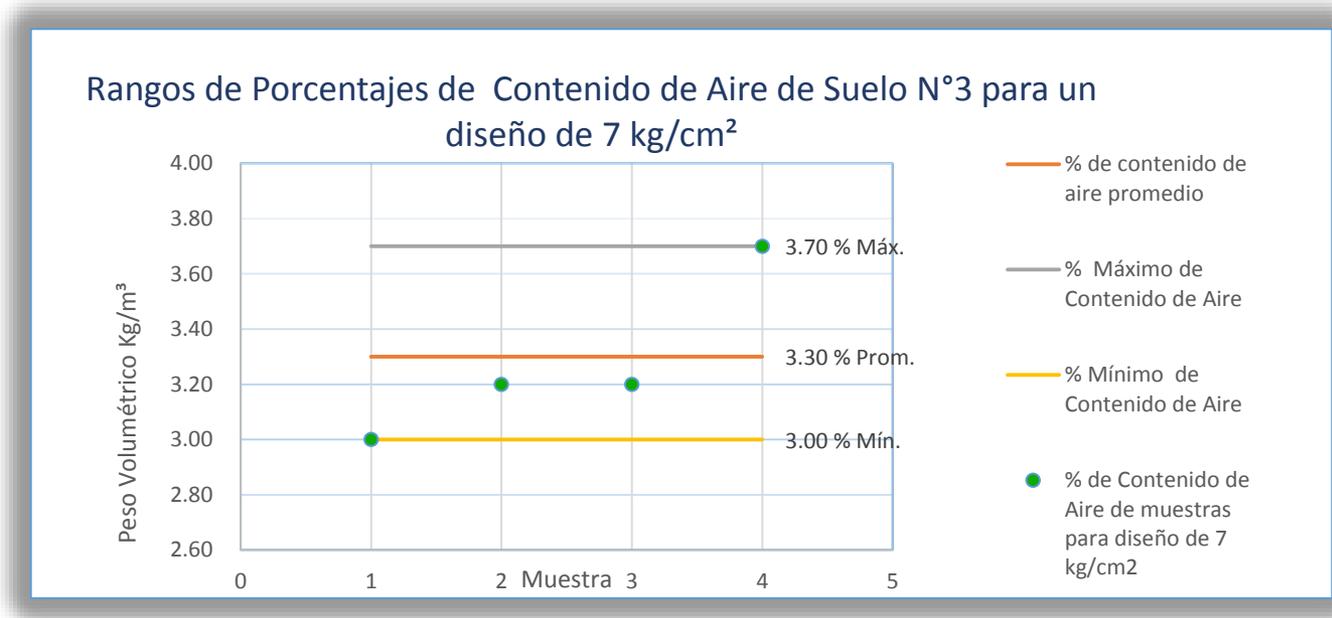


Tabla 5.59 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

SUELO N°3				
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 1	8.00 in	8.31 in	33.0 cms.	35.0 cms.
BACHADA N° 2	7.75 in		30.0 cms.	
BACHADA N° 3	8.50 in		37.0 cms.	
BACHADA N° 4	9.00 in		40.0 cms.	

Tabla 5.60 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3	
Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
8.00 in	33.0 cms.
7.75 in	30.0 cms.
8.50 in	37.0 cms.
9.00 in	40.0 cms.

Figura 5.54 Revenimiento para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

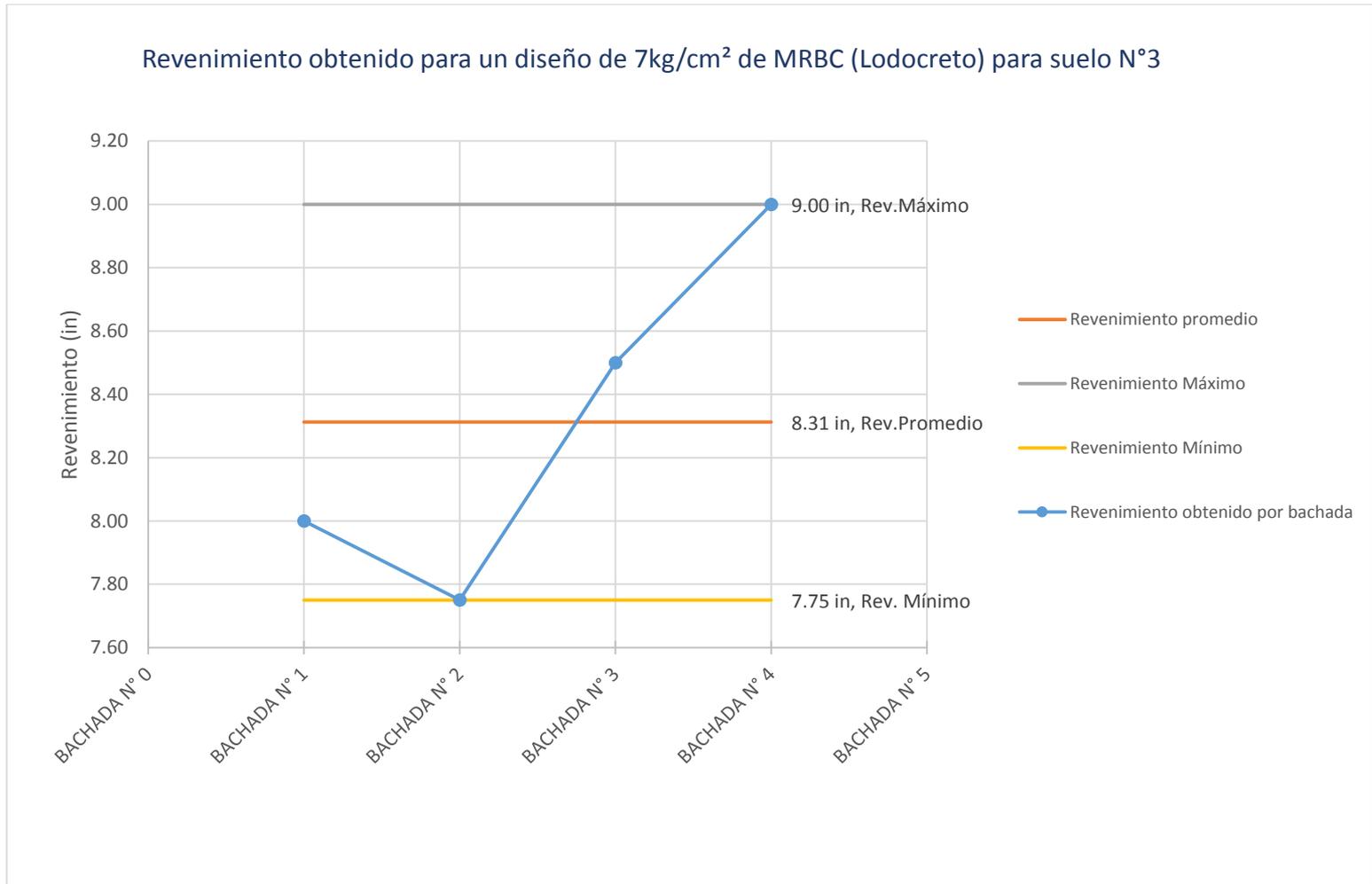


Figura 5.55 Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

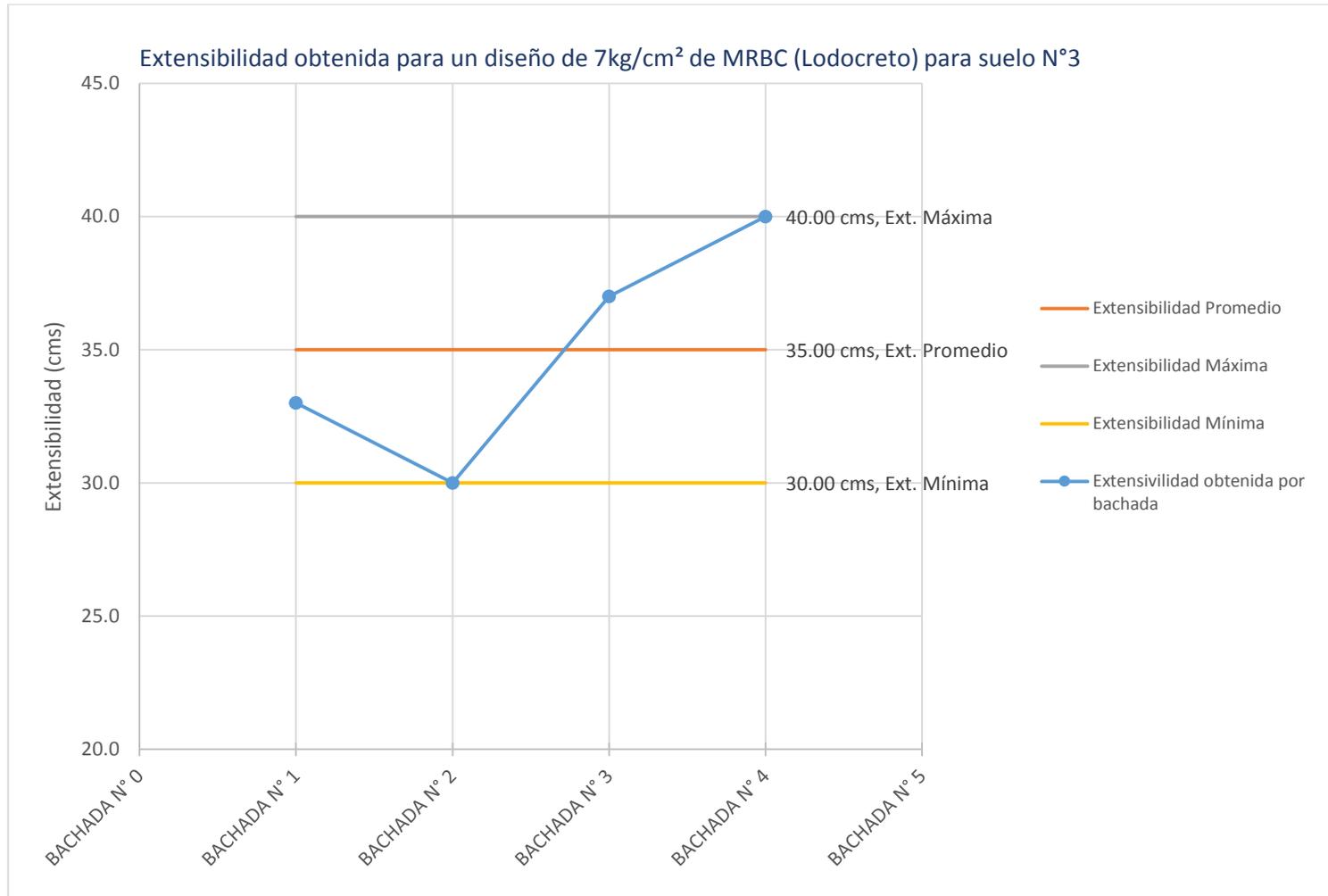


Figura 5.56 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

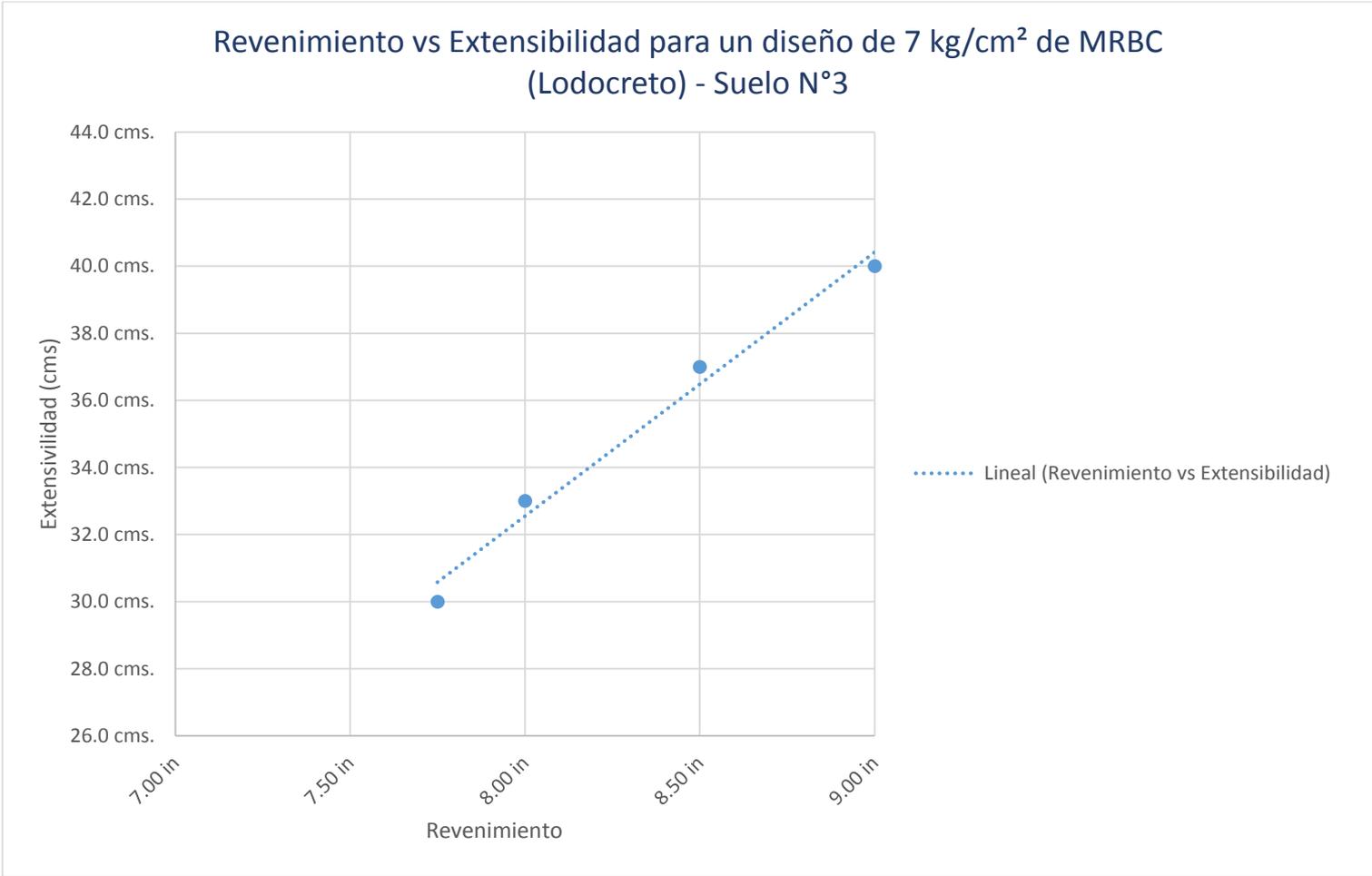


Figura 5.57 Resistencia vs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3



Figura 5.58 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3

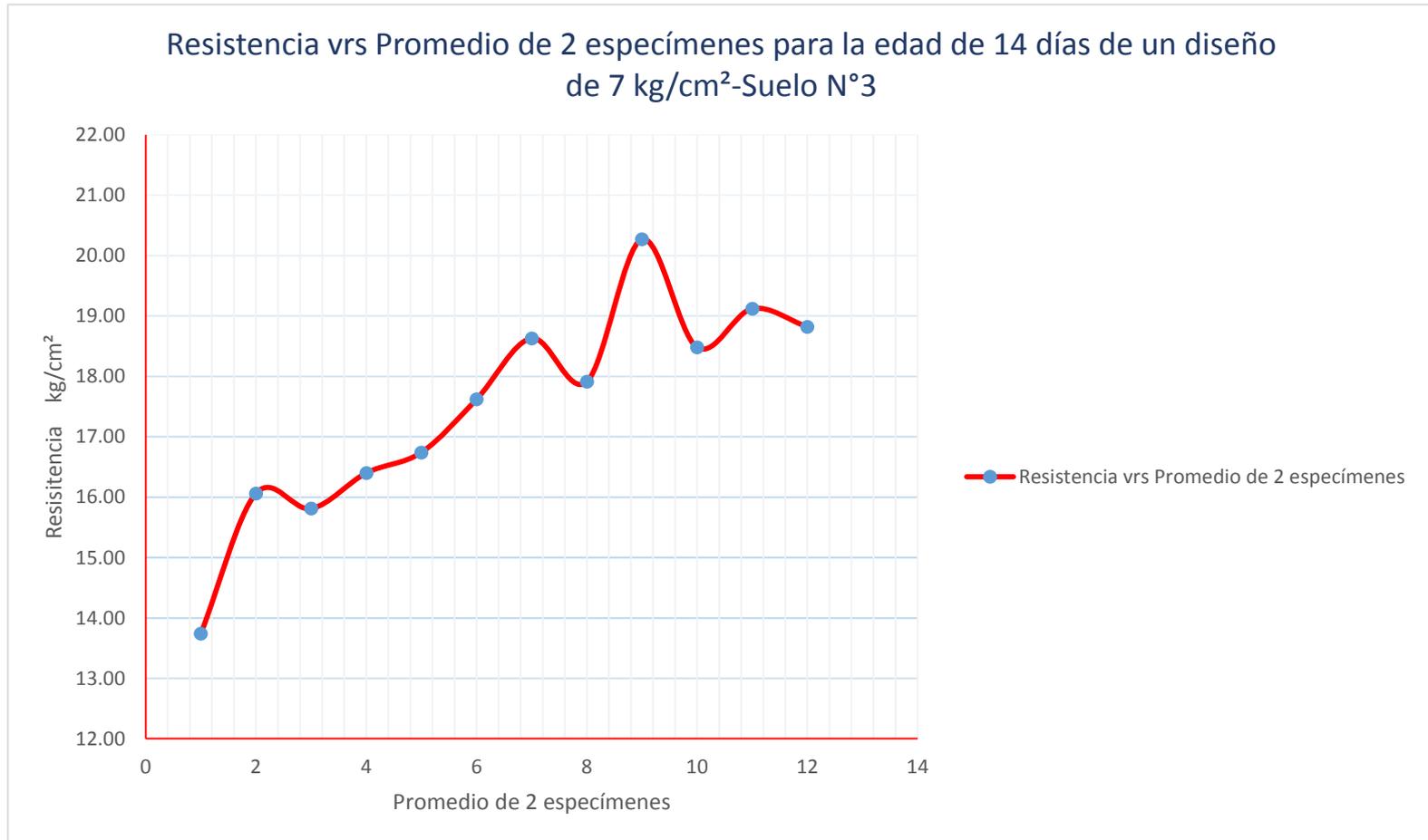


Figura 5.59 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3



***PROPORCIONAMIENTO DE  
MEZCLAS DE PRUEBA Y  
RESISTENCIA A LA  
COMPRESION 14 KG/CM<sup>2</sup> A  
DIFERENTES EDADES***

**Tablas con los datos de diseño de las mezclas para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto), Suelo N°3.**

*Tabla 5.61 Datos de diseño de la bachada N°5 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)*

<b>BACHADA 5</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	460.9	% humedad	% absorción	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	403.2				
Suelo	1250	2.30	543.48	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>989.50</b>	<b>% de humedad</b>	<b>22.20%</b>	<b>22.20%</b>	<b>8.75%</b>	<b>-13.45%</b>	<b>-168.14</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	Wlodo+recip	14.86	REVENIMIENTO (in)		8.75			
Agua (Kg)	241.86	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		38			
Suelo (Kg)	1418.14	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1695.97</b>	RELACION A/C		<b>2.28</b>			

*Tabla 5.62 Datos de diseño de la bachada N°6 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)*

<b>BACHADA 6</b>									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	455.2	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	397.7				
Suelo	1250	2.30	543.48	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>989.50</b>	<b>% de humedad</b>	<b>22.60%</b>	<b>22.60%</b>	<b>8.75%</b>	<b>-13.85%</b>	<b>-173.15</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	Wlodo+recip	14.90	REVENIMIENTO (in)		8			
Agua (Kg)	236.85	Wrecip	2.90	EXTENSIBILIDAD (cm)		32			
Suelo (Kg)	1423.15	Vrecip	0.007052	% DE AIRE		3.9			
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1701.64</b>	RELACION A/C		<b>2.23</b>			

Tabla 5.63 Datos de diseño de la bachada N°7 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 7									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	460	% humedad	% absorción	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	412.70				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>17.56%</b>	<b>17.56%</b>	<b>8.75 %</b>	<b>-8.81%</b>	<b>-110.09</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.76</b>	REVENIMIENTO (in)			<b>8</b>		
Agua (Kg)	299.91	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)			<b>33</b>		
Suelo (Kg)	1360.09	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE			<b>4</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1681.79</b>	RELACION A/C			<b>3.82</b>		

Tabla 5.64 Datos de diseño de la bachada N°8 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de Material Resistencia Baja Controlada (Lodocreto)

BACHADA 8									
MATERIALES		Gs	VOLUMEN (Lts)	CONTENIDO DE HUMEDAD		CORRECCIONES POR HUMEDADES			
Cemento	106.25	2.95	36.02	Wsh+tara=	460.0	% humedad	% absorcion	%Abs-%hum	suelo
Agua	410	1	410.00	Wsc+tara=	410				
Suelo	1250	2.36	529.66	W tara=	143.3				
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>		<b>975.68</b>	<b>% de humedad</b>	<b>18.75%</b>	<b>18.75%</b>	<b>3.09%</b>	<b>-15.66%</b>	<b>-195.72</b>
CANTIDADES PARA 1 M <sup>3</sup>		PESO VOLUMETRICO(Kg/cm <sup>3</sup> )		RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA					
Cemento (Kg)	106.25	<b>Wlodo+recip</b>	<b>14.70</b>	REVENIMIENTO (in)			<b>8.5</b>		
Agua (Kg)	214.28	<b>Wrecip</b>	<b>2.90</b>	EXTENSIBILIDAD (cm)			<b>36</b>		
Suelo (Kg)	1445.72	<b>Vrecip</b>	<b>0.007052</b>	% DE AIRE			<b>3.4</b>		
<b>TOTAL</b>	<b>1766.25</b>	<b>PV =</b>	<b>1673.28</b>	RELACION A/C			<b>2.02</b>		

Tabla 5.65 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 7 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	7	22/05/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.38	2925	15.91	114%	15.96	16.10	18.18	15.15	22.60
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.4	2943	16.01	114%					
	7		3	15.4	30.5	186.27	9.56	2984	16.02	114%	15.88				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.38	2930	15.73	112%					
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.34	3057	16.41	117%	16.46				
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.26	3075	16.51	118%					
N° 6	7	26/05/2017	1	15.4	30.5	186.27	9.36	2848	15.29	109%	15.22	16.10	18.18	15.15	22.60
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.3	2785	15.15	108%					
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.26	3034	16.5	118%	16.36				
	7		4	15.3	30.5	183.85	9.28	2980	16.21	116%					
	7		5	15.3	30.4	183.85	9.32	2975	16.18	116%	16.71				
	7		6	15.4	30.5	186.27	9.56	3210	17.23	123%					
N° 7	7	29/05/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.4	3876	21.08	151%	21.17	20.07	18.18	15.15	22.60
	7		2	15.4	30.5	186.27	9.28	3959	21.25	152%					
	7		3	15.3	30.5	183.85	9.38	4109	22.35	160%	22.48				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.54	4209	22.6	161%					
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.52	3123	16.77	120%	16.57				
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.38	3009	16.37	117%					
N° 8	7	31/05/2017	1	15.3	30.5	183.85	9.34	3964	21.56	154%	21.48	20.44	18.18	15.15	22.60
	7		2	15.3	30.5	183.85	9.28	3932	21.39	153%					
	7		3	15.4	30.5	186.27	9.5	3968	21.3	152%	20.85				
	7		4	15.4	30.5	186.27	9.56	3800	20.4	146%					
	7		5	15.4	30.5	186.27	9.62	3289	17.66	126%	19.00				
	7		6	15.3	30.5	183.85	9.3	3737	20.33	145%					

**Tabla 5.66 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3**

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 14 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	29/05/2017	7	15.2	30.5	181.46	9.38	4232	23.32	167%	23.73	24.24	25.05	22.11	29.48
	14		8	15.4	30.5	186.27	9.54	4495	24.13	172%					
	14		9	15.2	30.5	181.46	9.34	4894	26.97	193%	25.77				
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.3	4458	24.57	176%	23.22				
	14		11	15.4	30.5	186.27	9.58	4118	22.11	158%					
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.26	4413	24.32	174%					
N° 6	14	06/02/2017	7	15.4	30.5	186.27	9.54	4504	24.18	173%	24.74	24.04	25.05	22.11	29.48
	14		8	15.4	30.3	186.27	9.42	4712	25.3	181%	24.44				
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.5	4549	24.74	177%					
	14		10	15.4	30.4	186.27	9.56	4495	24.13	172%	22.95				
	14		11	15.4	30.4	186.27	9.24	4127	22.16	158%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.38	4363	23.73	170%					
N° 7	14	06/05/2017	7	15.4	30.5	186.27	9.62	5121	27.49	196%	26.87	25.93	25.05	22.11	29.48
	14		8	15.2	30.5	181.46	9.36	4762	26.24	187%	25.56				
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.26	4640	25.24	180%					
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.34	4694	25.87	185%	25.37				
	14		11	15.4	30.5	186.27	9.54	4740	25.45	182%					
	14		12	15.3	30.5	183.85	9.4	4649	25.29	181%					
N° 8	14	06/07/2017	7	15.3	30.5	183.85	9.6	4853	26.4	189%	27.94	26.00	25.05	22.11	29.48
	14		8	15.3	30.5	183.85	9.64	5420	29.48	211%	25.78				
	14		9	15.3	30.5	183.85	9.42	4730	25.73	184%					
	14		10	15.2	30.5	181.46	9.4	4685	25.82	184%	24.28				
	14		11	15.2	30.5	181.46	9.38	4195	23.12	165%					
	14		12	15.2	30.5	181.46	9.32	4617	25.44	182%					

**Tabla 5.67 Resultados a la resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el Suelo N°3**

Diseño para 14 kg/cm <sup>2</sup> - Edad 28 días - Suelo N°3															
Bachada	Edad (días)	Fecha de Ensayo	N° de espéc.	Dimensiones			Peso (Kg)	Carga (Kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Ganancia de Resistencia % F'c	Prom. De dos especímenes	Promedio de bachada (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Min. (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Máx. (Kg/cm <sup>2</sup> )
				Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )									
N° 5	14	06/12/2017	13	15.3	30.5	183.85	9.46	5612	30.52	218%	29.54	28.14	29.02	24.83	31.62
	14		14	15.5	30.5	188.69	9.52	5388	28.55	204%	27.35				
	14		15	15.3	30.5	183.85	9.3	5184	28.2	201%					
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.34	5000	26.5	189%	27.52				
	14		17	15.5	30.5	188.69	9.52	5356	28.38	203%					
	14		18	15.5	30.5	188.69	9.48	5030	26.66	190%					
N° 6	14	16/06/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.48	5429	29.92	214%	29.86	28.97	29.02	24.83	31.62
	14		14	15.3	30.5	183.85	9.38	5478	29.8	213%	31.03				
	14		15	15.4	30.5	186.27	9.6	5678	30.48	218%					
	14		16	15.2	30.5	181.46	9.44	5728	31.57	226%	26.01				
	14		17	15.3	30.5	183.85	9.58	4998	27.18	194%					
	14		18	15.3	30.5	183.85	9.36	4565	24.83	177%					
N° 7	14	19/06/2017	13	15.5	30.5	188.69	9.58	5697	30.19	216%	29.71	29.78	29.02	24.83	31.62
	14		14	15.4	30.5	186.27	9.36	5443	29.22	209%	29.45				
	14		15	15.4	30.5	186.27	9.36	5334	28.64	205%					
	14		16	15.5	30.5	188.69	9.48	5710	30.26	216%	30.18				
	14		17	15.4	30.5	186.27	9.32	5890	31.62	226%					
	14		18	15.4	30.5	186.27	9.26	5352	28.73	205%					
N° 8	14	21/07/2017	13	15.2	30.5	181.46	9.42	5356	29.52	211%	28.65	29.19	29.02	24.83	31.62
	14		14	15.3	30.5	183.85	9.28	5107	27.78	198%	29.70				
	14		15	15.2	30.5	181.46	9.22	5048	27.82	199%					
	14		16	15.4	30.5	186.27	9.5	5883	31.58	226%	29.21				
	14		17	15.1	30.5	179.08	9.38	5456	30.47	218%					
	14		18	15.3	30.5	183.85	9.3	5139	27.95	200%					

Figura 5.60 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 7 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3

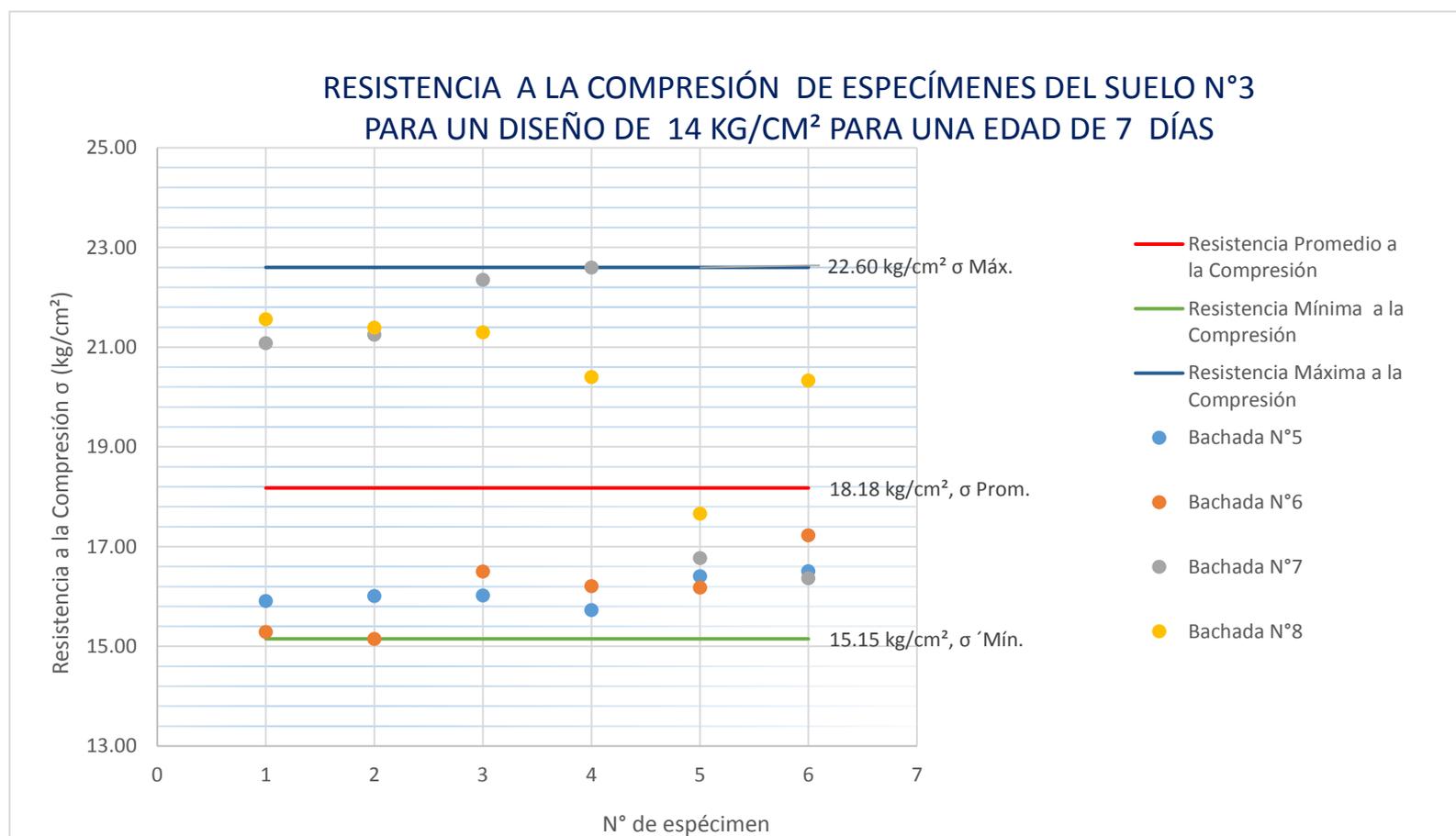


Figura 5.61 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 14 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3

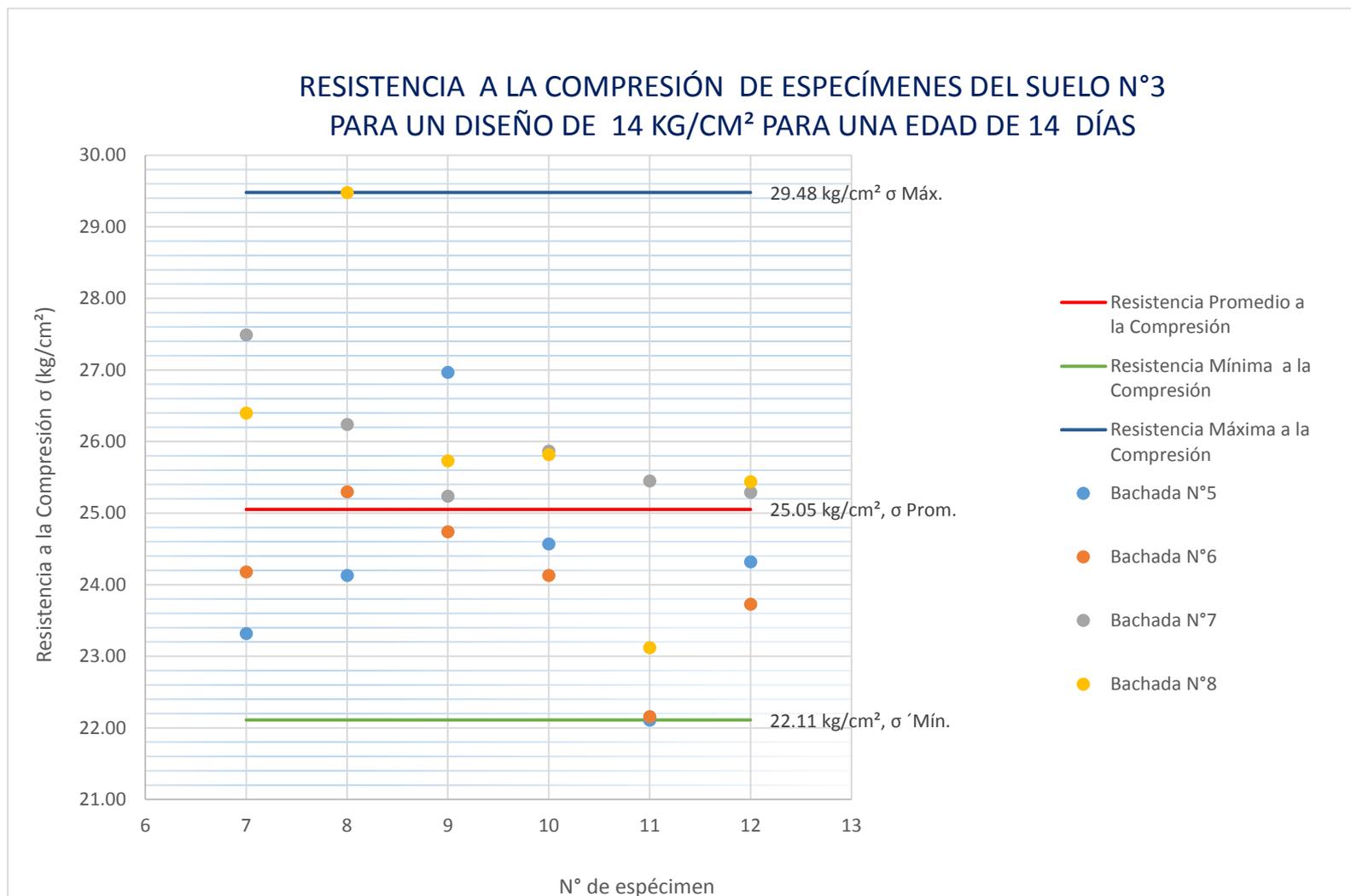


Figura 5.62 Resistencia a la compresión para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de MRBC (Lodocreto) para el suelo N°3.

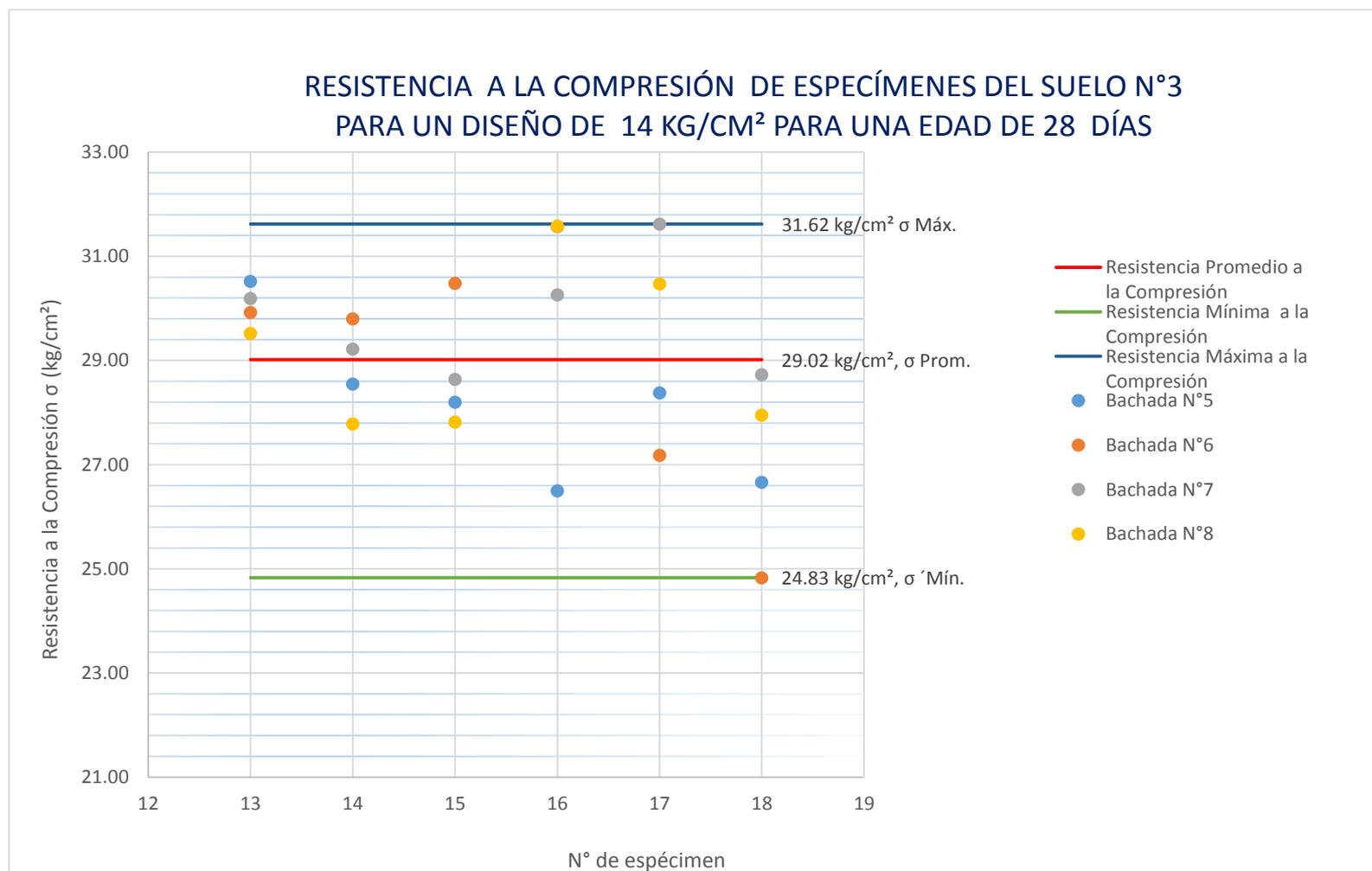


Tabla 5.68 Resistencia a la compresión promedio para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> Suelo N°3

Edad(días)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
7	18.18
14	25.05
28	29.02

Figura 5.63 Ganancia de Resistencia a la Compresión con el Tiempo Suelo N°3 (Diseño 14 kg/cm<sup>2</sup>-de MRBC- Lodocreto)

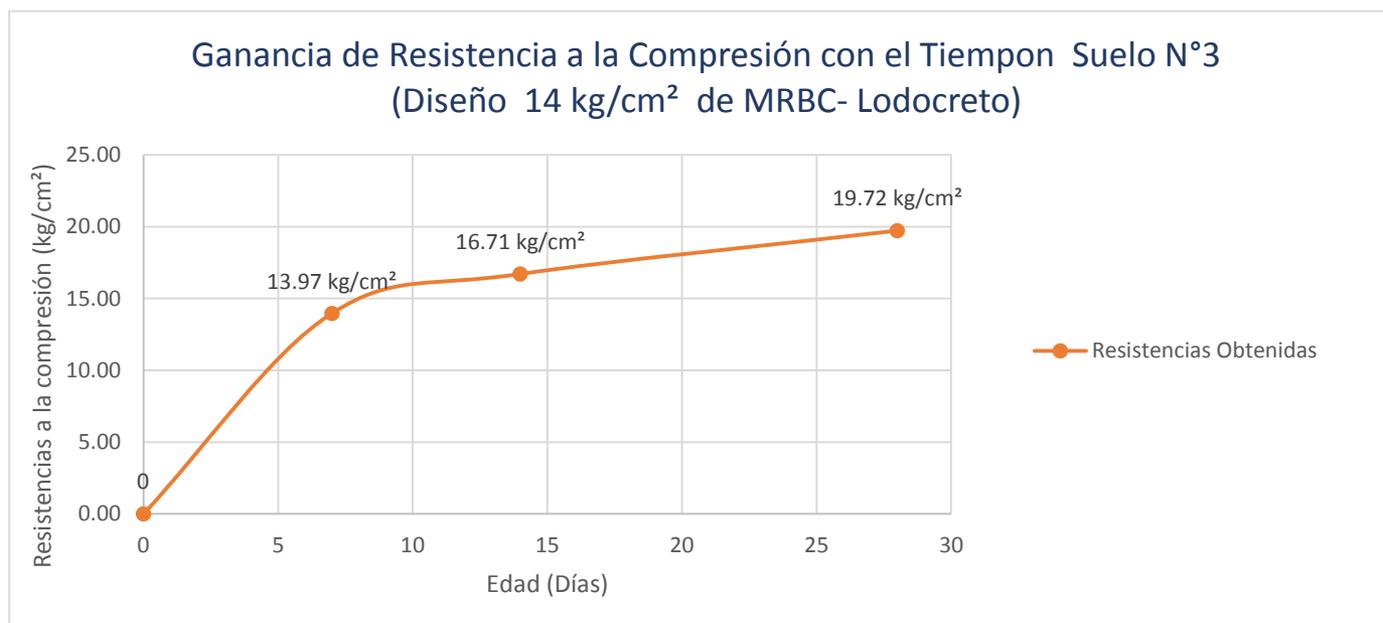


Tabla 5.69 Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Peso Volumétrico (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumétrico Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
BACHADA N°5	1695.97	1688.17
BACHADA N°6	1701.64	
BACHADA N°7	1681.79	
BACHADA N°8	1673.28	

Figura 5.64 Peso volumétricos para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

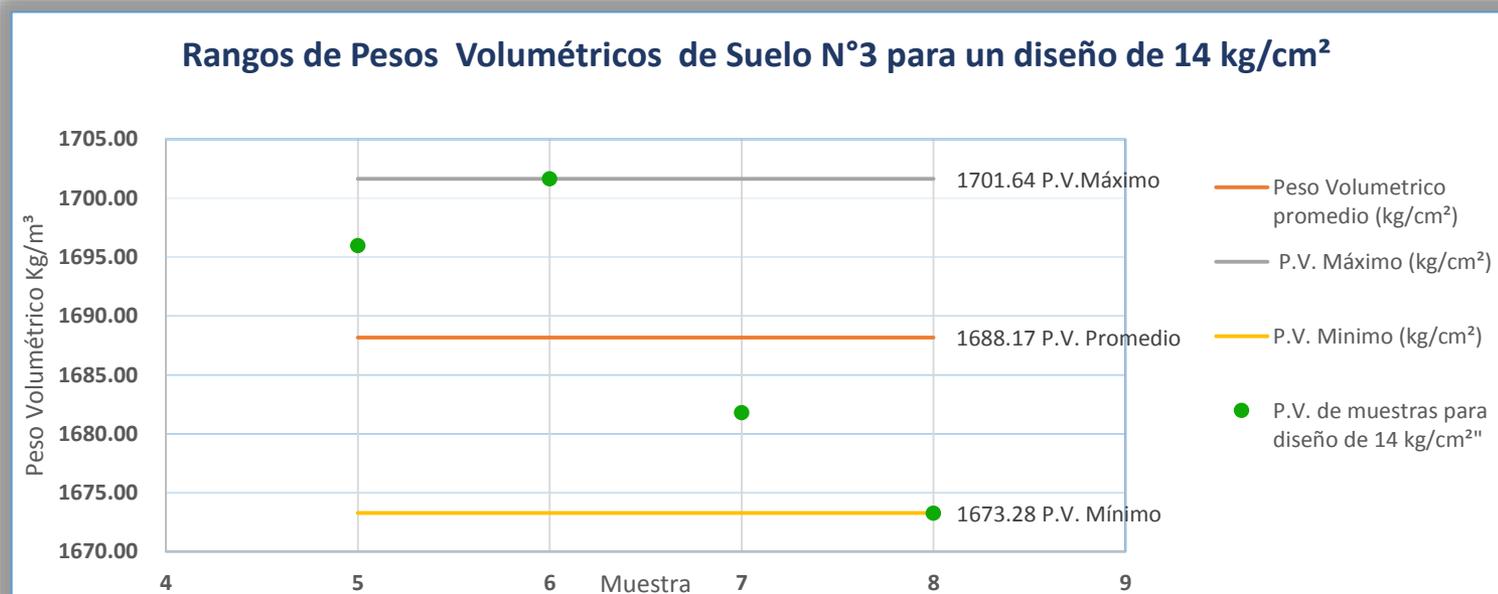


Tabla 5.70 Contenidos de aire para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3		
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Contenido de aire (%)	Contenido de aire Promedio (%)
BACHADA N°5	3.00 %	3.58 %
BACHADA N°6	3.90 %	
BACHADA N°7	4.00 %	
BACHADA N°8	3.40 %	

Figura 5.65 Contenido de aire para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

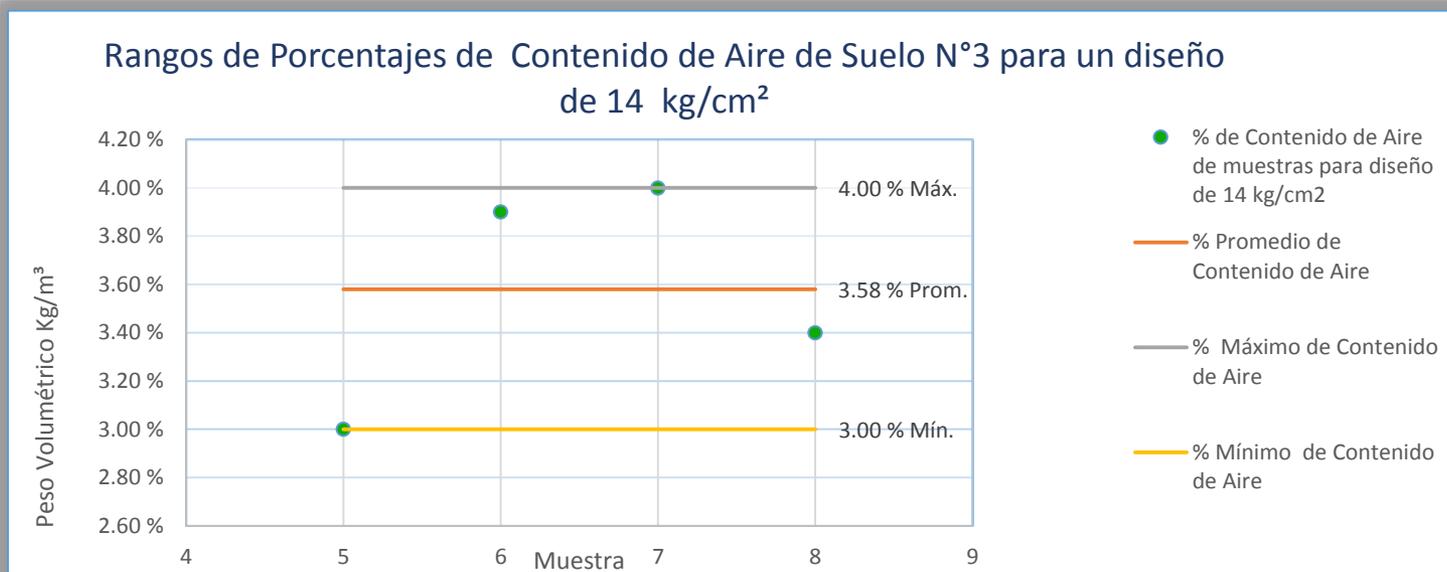


Tabla 5.71 Revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

SUELO N°3				
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Revenimiento (in)	Revenimiento Promedio (in)	Extensibilidad(cms.)	Extensibilidad promedio (cms.)
BACHADA N° 5	8.75 in	8.31 in	38.0 cms.	34.8 cms.
BACHADA N° 6	8.00 in		32.0 cms.	
BACHADA N° 7	8.00 in		33.0 cms.	
BACHADA N° 8	8.50 in		36.0 cms.	

Tabla 5.72 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del suelo N°3

SUELO N°3	
Revenimiento (in)	Extensibilidad (cms.)
8.75 in	38.0 cms.
8.00 in	32.0 cms.
8.00 in	33.0 cms.
8.50 in	36.0 cms.

Figura 5.66 Revenimiento para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

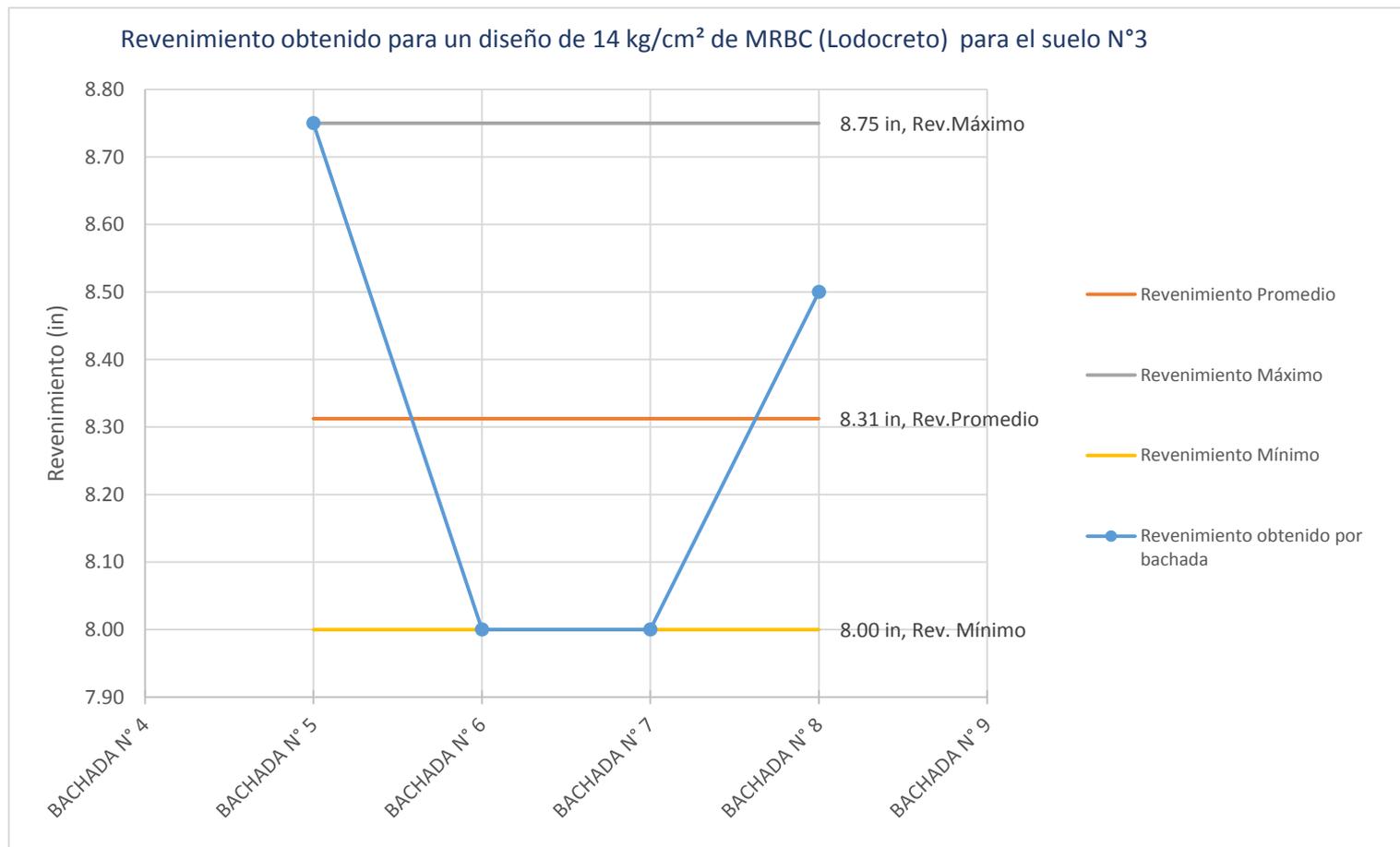


Figura 5.67 Extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

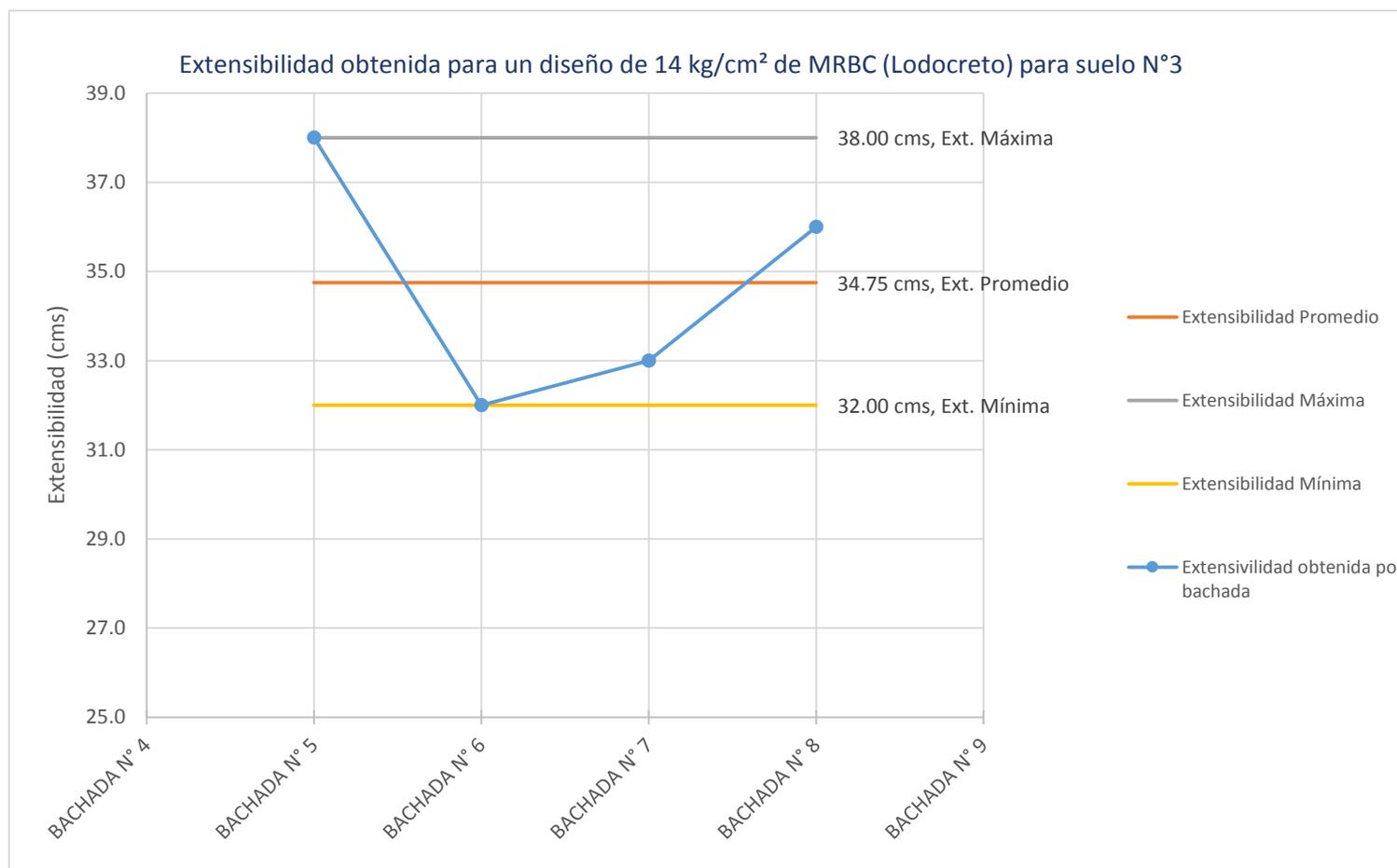


Figura 5.68 Correlación entre revenimiento y extensibilidad para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> de MRBC (Lodocreto) del Suelo N°3

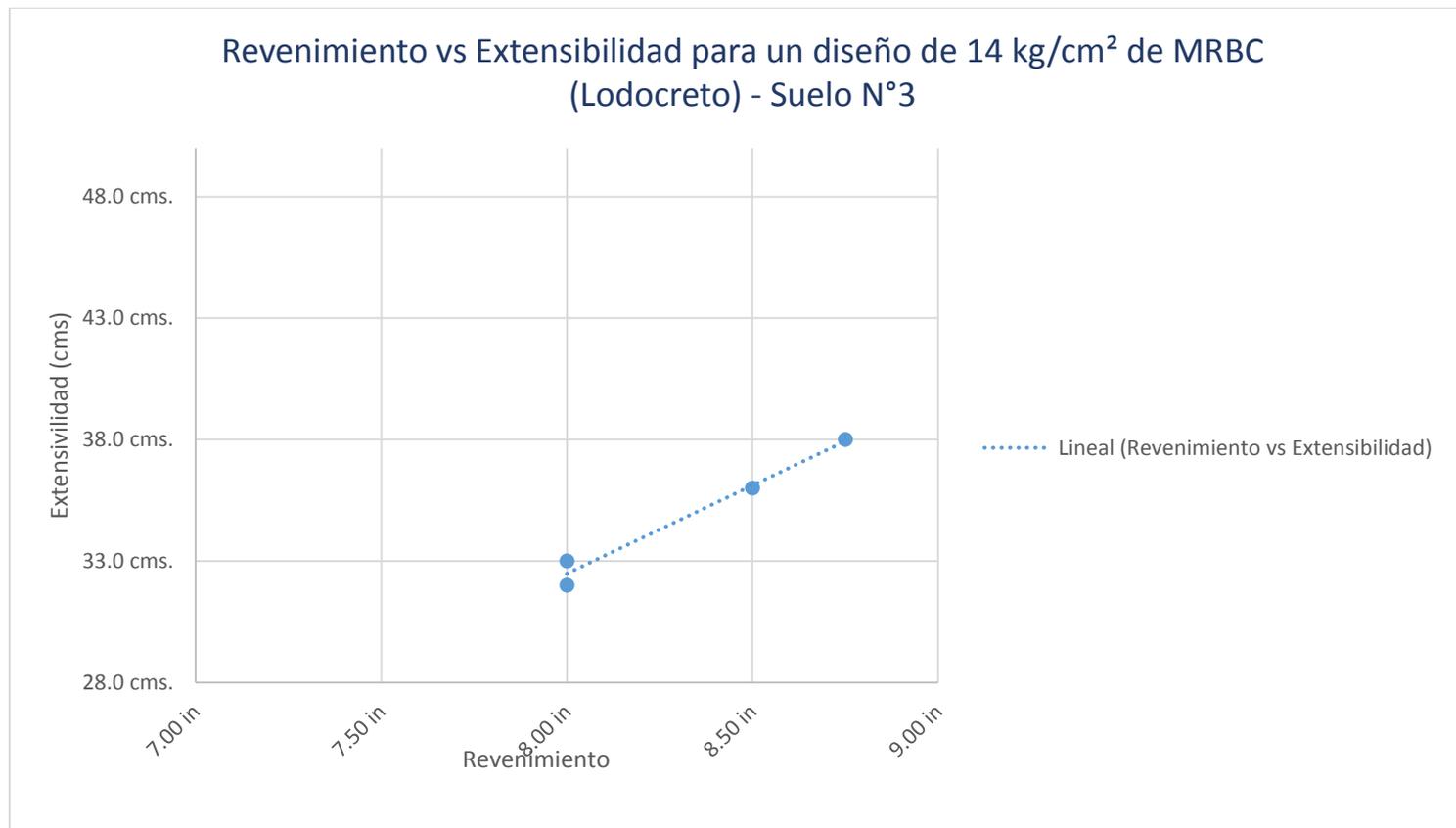


Figura 5.69 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 7 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3

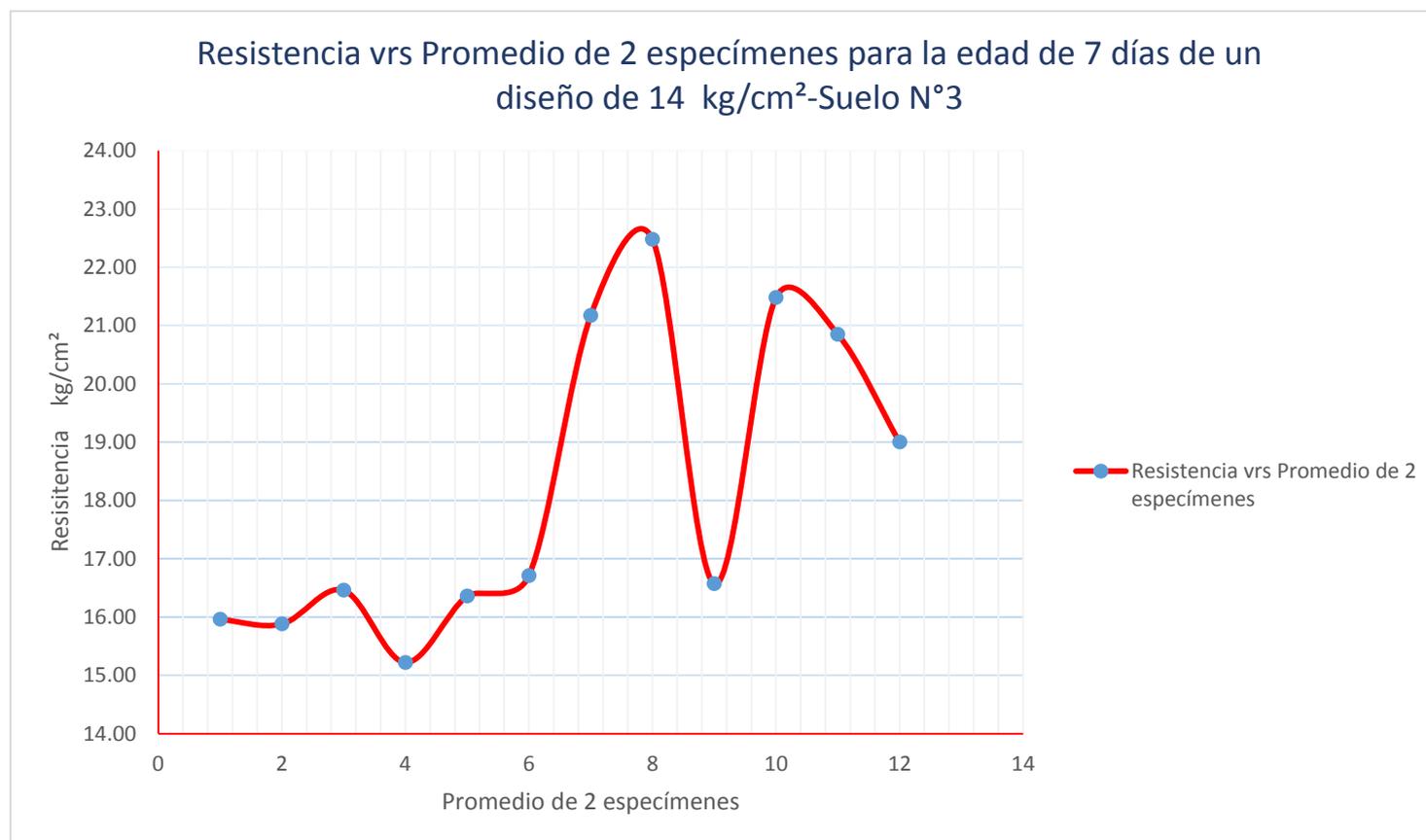


Figura 5.70 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 14 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3



Figura 5.71 Resistencia vrs Promedio de 2 especímenes para la edad de 28 días de un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>-Suelo N°3



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.73 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	7 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	1	10.74	11.41	11.29
	2	12.66		
	3	10.81		
	4	11.27		
	5	12.03		
	6	10.92		
BACHADA N°2	1	11.42	11.17	
	2	9.71		
	3	11.63		
	4	12.71		
	5	10.67		
	6	10.85		
BACHADA N°3	1	11.90	11.64	
	2	11.52		
	3	10.61		
	4	10.89		
	5	14.17		
	6	10.77		
BACHADA N°4	1	10.15	10.94	
	2	11.69		
	3	10.30		
	4	12.78		
	5	9.83		
	6	10.86		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.74 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	14 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	7	11.45	14.51	14.01
	8	15.07		
	9	15.60		
	10	14.67		
	11	14.84		
	12	15.40		
BACHADA N°2	7	15.34	14.24	
	8	10.92		
	9	14.68		
	10	14.59		
	11	14.90		
	12	15.02		
BACHADA N°3	7	14.58	13.10	
	8	14.70		
	9	11.27		
	10	11.31		
	11	15.27		
	12	11.46		
BACHADA N°4	7	14.80	14.18	
	8	13.02		
	9	15.27		
	10	15.74		
	11	15.17		
	12	11.10		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.75 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	28 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	13	18.80	18.23	17.77
	14	17.81		
	15	17.89		
	16	18.72		
	17	18.99		
	18	17.19		
BACHADA N°2	13	17.48	18.16	
	14	18.37		
	15	18.49		
	16	17.09		
	17	17.80		
	18	19.70		
BACHADA N°3	13	17.59	17.39	
	14	17.31		
	15	17.60		
	16	17.43		
	17	17.20		
	18	17.23		
BACHADA N°4	13	17.42	17.32	
	14	17.15		
	15	17.19		
	16	17.67		
	17	17.54		
	18	16.92		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.76 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	7 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	1	11.32	12.97	14.47
	2	12.87		
	3	12.57		
	4	14.11		
	5	13.54		
	6	13.39		
BACHADA N°6	1	19.61	18.93	
	2	17.46		
	3	19.29		
	4	18.36		
	5	18.89		
	6	19.96		
BACHADA N°7	1	15.22	15.57	
	2	16.54		
	3	14.26		
	4	16.97		
	5	16.10		
	6	14.33		
BACHADA N°8	1	11.77	13.42	
	2	13.63		
	3	13.63		
	4	12.96		
	5	13.27		
	6	15.24		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.77 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	14 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	7	23.49	25.88	23.76
	8	27.61		
	9	23.88		
	10	27.49		
	11	29.11		
	12	23.67		
BACHADA N°6	7	25.05	24.06	
	8	23.27		
	9	20.38		
	10	26.26		
	11	24.54		
	12	24.89		
BACHADA N°7	7	21.35	21.07	
	8	19.72		
	9	21.87		
	10	20.28		
	11	21.25		
	12	21.93		
BACHADA N°8	7	17.98	19.81	
	8	19.07		
	9	19.53		
	10	19.48		
	11	23.12		
	12	19.66		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 1**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad.**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.78 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #1*

SUELO N°1			EDAD	28 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	13	26.82	26.92	25.77
	14	26.82		
	15	25.13		
	16	26.95		
	17	28.98		
	18	26.79		
BACHADA N°6	13	28.00	26.81	
	14	29.68		
	15	23.58		
	16	25.24		
	17	27.44		
	18	26.92		
BACHADA N°7	13	25.04	25.77	
	14	26.57		
	15	24.60		
	16	25.30		
	17	27.28		
	18	25.82		
BACHADA N°8	13	22.69	21.31	
	14	20.96		
	15	19.42		
	16	21.95		
	17	21.32		
	18	21.54		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.79 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2			EDAD	7 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	1	14.61	14.88	14.66
	2	14.57		
	3	14.92		
	4	14.31		
	5	14.67		
	6	16.19		
BACHADA N°2	1	14.38	14.45	
	2	14.42		
	3	14.61		
	4	15.20		
	5	13.91		
	6	14.16		
BACHADA N°3	1	14.68	14.69	
	2	14.99		
	3	14.70		
	4	14.44		
	5	14.53		
	6	14.77		
BACHADA N°4	1	13.96	14.61	
	2	14.91		
	3	13.77		
	4	15.97		
	5	14.57		
	6	14.45		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.80 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2		EDAD		14 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	7	20.09	20.24	20.24
	8	19.97		
	9	20.35		
	10	20.30		
	11	20.23		
	12	20.52		
BACHADA N°2	7	20.05	20.08	
	8	20.13		
	9	20.01		
	10	19.49		
	11	19.97		
	12	20.84		
BACHADA N°3	7	19.78	20.00	
	8	20.28		
	9	19.13		
	10	20.40		
	11	21.11		
	12	19.27		
BACHADA N°4	7	20.67	20.62	
	8	20.73		
	9	19.66		
	10	20.84		
	11	20.77		
	12	21.07		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157  
TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.81 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2			EDAD	28 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	13	24.64	27.25	27.33
	14	27.43		
	15	28.02		
	16	27.49		
	17	29.72		
	18	26.22		
BACHADA N°2	13	28.46	27.27	
	14	27.92		
	15	26.59		
	16	26.11		
	17	26.67		
	18	27.85		
BACHADA N°3	13	26.45	27.01	
	14	26.02		
	15	27.45		
	16	27.65		
	17	27.15		
	18	27.35		
BACHADA N°4	13	28.22	27.79	
	14	28.43		
	15	27.57		
	16	27.92		
	17	26.47		
	18	28.13		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.82 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2			EDAD	7 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	1	17.22	18.81	20.57
	2	18.33		
	3	17.29		
	4	20.55		
	5	19.59		
	6	19.88		
BACHADA N°6	1	22.34	22.28	
	2	21.94		
	3	22.61		
	4	22.25		
	5	22.39		
	6	22.15		
BACHADA N°7	1	17.52	17.68	
	2	17.41		
	3	18.37		
	4	17.49		
	5	17.32		
	6	17.98		
BACHADA N°8	1	23.80	23.50	
	2	21.95		
	3	25.34		
	4	22.62		
	5	23.44		
	6	23.86		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.83 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2			EDAD	14 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	7	28.02	27.91	30.26
	8	27.15		
	9	27.66		
	10	28.02		
	11	28.10		
	12	28.51		
BACHADA N°6	7	33.82	33.23	
	8	33.16		
	9	33.23		
	10	33.62		
	11	32.62		
	12	32.95		
BACHADA N°7	7	27.41	27.83	
	8	28.60		
	9	28.33		
	10	28.39		
	11	27.16		
	12	27.09		
BACHADA N°8	7	31.61	32.06	
	8	32.77		
	9	31.55		
	10	32.72		
	11	31.39		
	12	32.29		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 2**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.84 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #2*

SUELO N°2			EDAD	28 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	13	36.33	35.51	37.31
	14	36.02		
	15	36.32		
	16	35.25		
	17	34.50		
	18	34.61		
BACHADA N°6	13	39.70	39.57	
	14	38.39		
	15	40.45		
	16	40.65		
	17	39.58		
	18	38.63		
BACHADA N°7	13	37.49	35.93	
	14	34.62		
	15	35.03		
	16	36.14		
	17	35.62		
	18	36.67		
BACHADA N°8	13	38.66	38.23	
	14	39.87		
	15	34.96		
	16	40.00		
	17	38.18		
	18	37.68		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.85 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

SUELO N°3			EDAD	7 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	1	11.32	12.75	13.97
	2	12.87		
	3	12.57		
	4	13.19		
	5	13.14		
	6	13.39		
BACHADA N°2	1	15.34	13.84	
	2	15.86		
	3	12.11		
	4	11.39		
	5	13.36		
	6	14.95		
BACHADA N°3	1	17.74	16.98	
	2	17.36		
	3	15.52		
	4	16.39		
	5	17.74		
	6	17.16		
BACHADA N°4	1	16.42	14.75	
	2	14.11		
	3	15.00		
	4	13.98		
	5	14.46		
	6	14.53		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
"ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA"



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano**

**CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.86 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

SUELO N°3			EDAD	14 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	7	14.15	15.20	16.71
	8	13.32		
	9	15.37		
	10	16.74		
	11	16.30		
	12	15.32		
BACHADA N°2	7	15.76	16.92	
	8	17.04		
	9	16.27		
	10	17.20		
	11	19.22		
	12	16.01		
BACHADA N°3	7	17.69	18.93	
	8	19.57		
	9	18.04		
	10	17.78		
	11	22.45		
	12	18.08		
BACHADA N°4	7	19.07	18.81	
	8	17.88		
	9	18.94		
	10	19.29		
	11	19.23		
	12	18.41		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:22**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.87 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

SUELO N°3			EDAD	28 DÍAS
PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°1	13	21.34	18.17	19.72
	14	18.69		
	15	16.26		
	16	16.53		
	17	17.80		
	18	18.40		
BACHADA N°2	13	20.80	21.09	
	14	21.32		
	15	18.10		
	16	22.29		
	17	21.43		
	18	22.62		
BACHADA N°3	13	23.51	21.82	
	14	19.57		
	15	20.30		
	16	21.93		
	17	22.07		
	18	23.56		
BACHADA N°4	13	21.61	20.90	
	14	20.90		
	15	23.59		
	16	20.17		
	17	19.61		
	18	19.54		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.88 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 7 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

SUELO N°3		EDAD		7 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	1	15.91	16.10	18.18
	2	16.01		
	3	16.02		
	4	15.73		
	5	16.41		
	6	16.51		
BACHADA N°6	1	15.29	16.09	
	2	15.15		
	3	16.50		
	4	16.21		
	5	16.18		
	6	17.23		
BACHADA N°7	1	21.08	20.07	
	2	21.25		
	3	22.35		
	4	22.60		
	5	16.77		
	6	16.37		
BACHADA N°8	1	21.56	20.44	
	2	21.39		
	3	21.30		
	4	20.40		
	5	17.66		
	6	20.33		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA (LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.89 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 14 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

SUELO N°3			EDAD	14 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	$\sigma$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	7	23.32	24.24	25.05
	8	24.13		
	9	26.97		
	10	24.57		
	11	22.11		
	12	24.32		
BACHADA N°6	7	24.18	24.04	
	8	25.30		
	9	24.74		
	10	24.13		
	11	22.16		
	12	23.73		
BACHADA N°7	7	27.49	25.93	
	8	26.24		
	9	25.24		
	10	25.87		
	11	25.45		
	12	25.29		
BACHADA N°8	7	26.40	26.00	
	8	29.48		
	9	25.73		
	10	25.82		
	11	23.12		
	12	25.44		

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
“ING. MARIO ÁNGEL GUZMÁN URBINA”



**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECIMENES DE MRBC  
ASTM C-39**

**TESIS: DISEÑO DE MEZCLAS DE MATERIALES DE RESISTENCIA BAJA CONTROLADA  
(LODOCRETO), UTILIZANDO BANCOS DE PRÉSTAMOS DE LA ZONA CENTRAL DE EL  
SALVADOR PARA SU APLICABILIDAD VIAL.**

**Suelo # 3**

**DOSIFICACIÓN 1:15**

**UBICACIÓN: Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano  
CEMENTO PAV PLUS ASTM C1157**

**TIPO DE SUELO: ARENA LIMOSA (SM)**

*Tabla 5.90 Resumen de resultados de resistencia a la compresión de cilindros a los 28 días de edad y para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>, suelo #3*

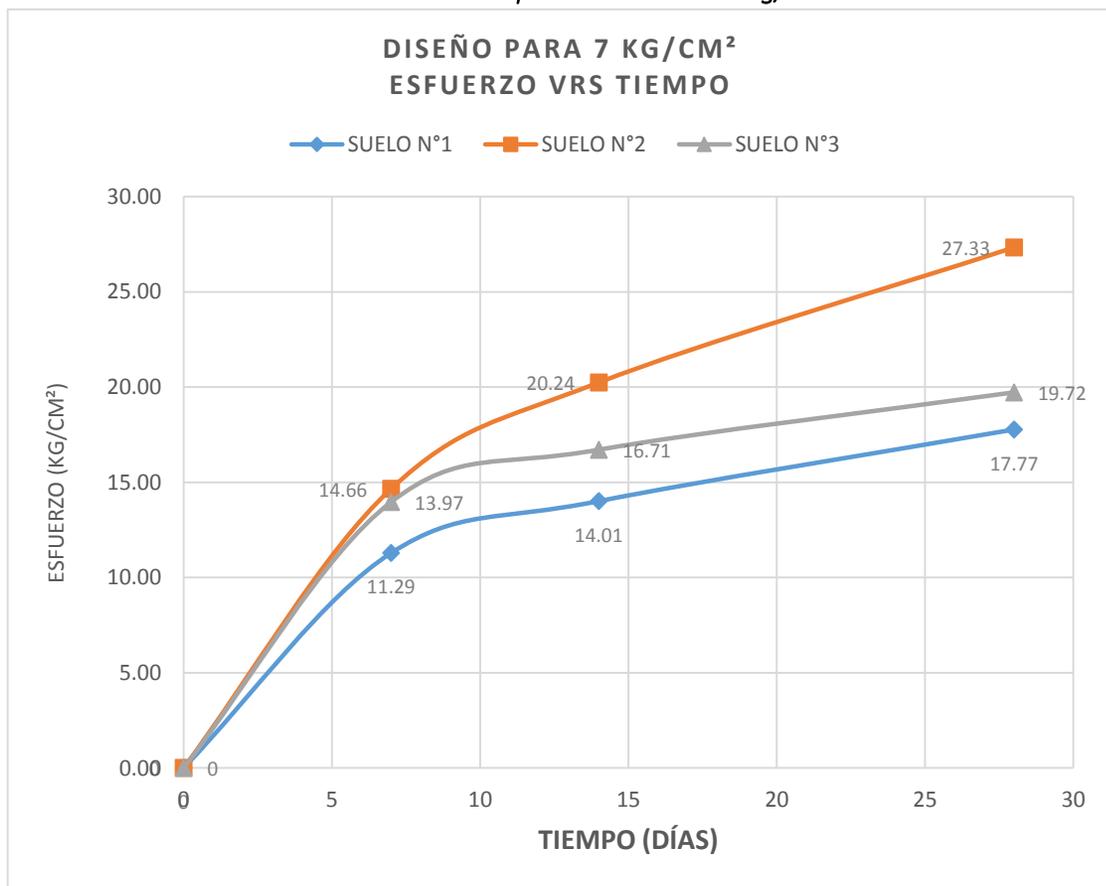
SUELO N°3			EDAD	28 DÍAS
PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	N° ESPECIMENES	σ(Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	σ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )
BACHADA N°5	13	30.52	28.14	29.02
	14	28.55		
	15	28.20		
	16	26.50		
	17	28.38		
	18	26.66		
BACHADA N°6	13	29.92	28.96	
	14	29.80		
	15	30.48		
	16	31.57		
	17	27.18		
	18	24.83		
BACHADA N°7	13	30.19	29.78	
	14	29.22		
	15	28.64		
	16	30.26		
	17	31.62		
	18	28.73		
BACHADA N°8	13	29.52	29.19	
	14	27.78		
	15	27.82		
	16	31.58		
	17	30.47		
	18	27.95		

Gráfica de comparación de las resistencias a la compresión de los tres tipos de suelo para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 7,14 y 28 días.

Tabla 5.91 Tabla comparativa entre los diferentes promedio de resistencia a la compresión.

Diseño para 7 kg/cm <sup>2</sup>			
Edad (Días)	Suelo 1 $\sigma$ Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Suelo 2 $\sigma$ Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Suelo 3 $\sigma$ Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	11.29	14.66	13.97
14	14.01	20.24	16.71
28	17.77	27.33	19.72

Figura 5.72 Comparación de promedios de resistencia a la compresión de los diferentes tipos de suelo para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>



Gráfica de comparación de las resistencias a la compresión de los tres tipos de suelo para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 7,14 y 28 días.

Tabla 5.92 Tabla comparativa entre los diferentes promedio de resistencia a la compresión

Diseño para 14kg/cm <sup>2</sup>			
Edad (Días)	Suelo 1 $\sigma$ Prom. (kg/cm <sup>2</sup> )	Suelo 2 $\sigma$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )	Suelo 3 $\sigma$ Prom (kg/cm <sup>2</sup> )
7	14.47	20.57	18.18
14	23.76	30.26	25.05
28	25.77	37.31	29.02

Figura 5.73 Comparación de promedios de resistencia a la compresión de los diferentes tipos de suelo para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>



Figura 5.74 Comparación de Resistencias a 7 días para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

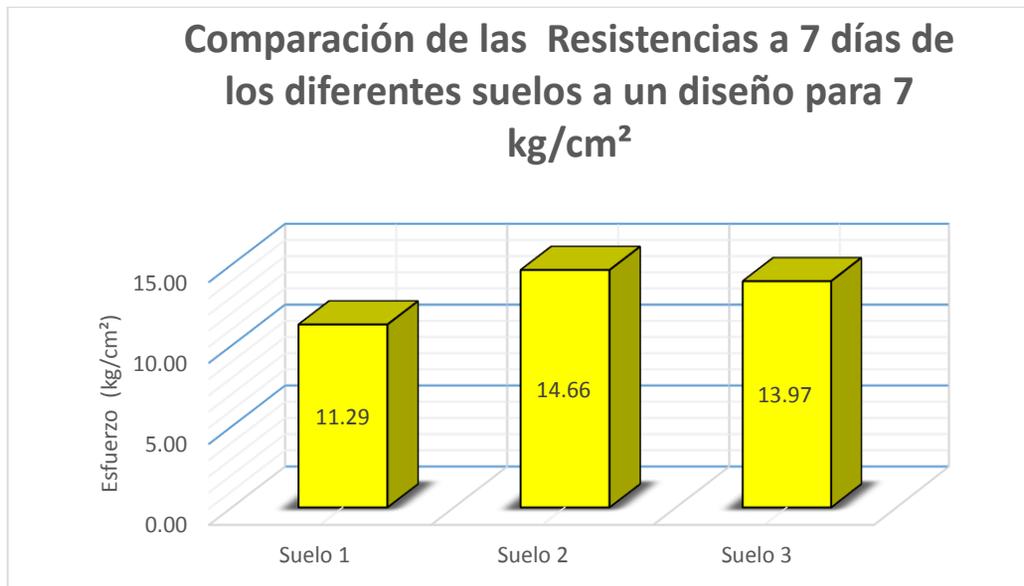


Figura 5.75 Comparación de Resistencias a 14 días para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

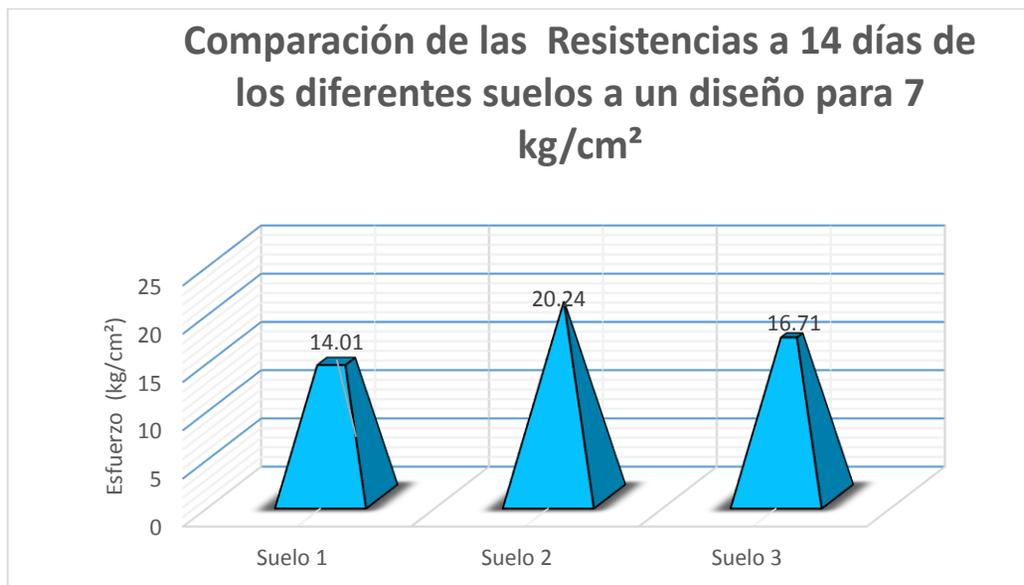


Figura 5.76 Comparación de Resistencias a 28 días para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

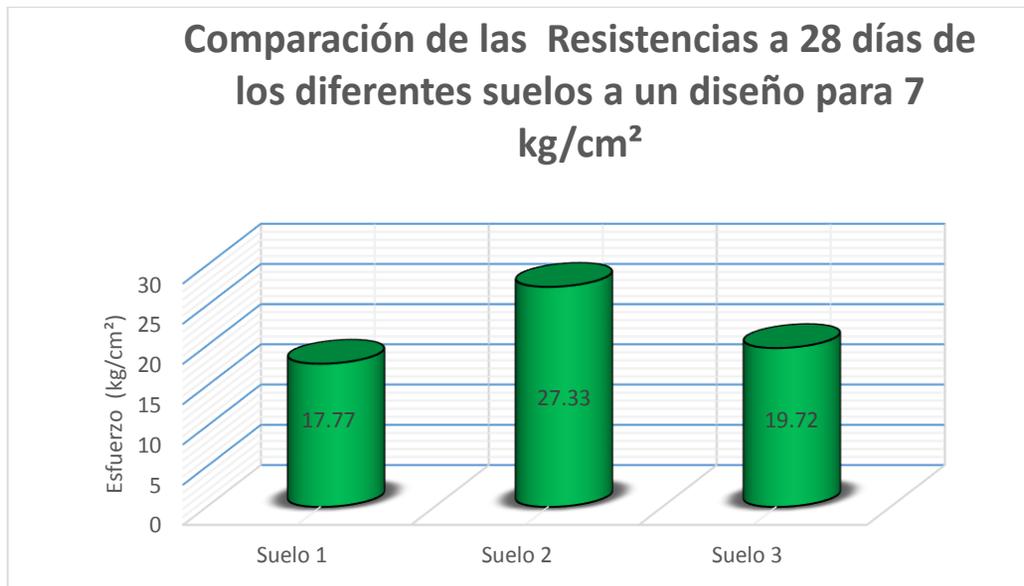


Figura 5.77 Comparación de Resistencias a 7 días para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>

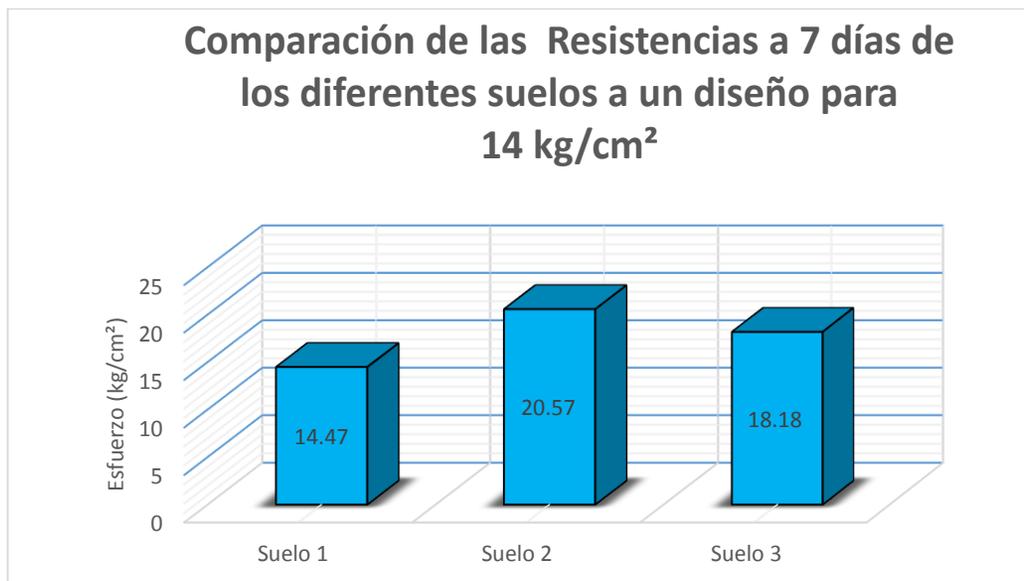


Figura 5.78 Comparación de Resistencias a 14 días para un diseño de  $14 \text{ kg/cm}^2$

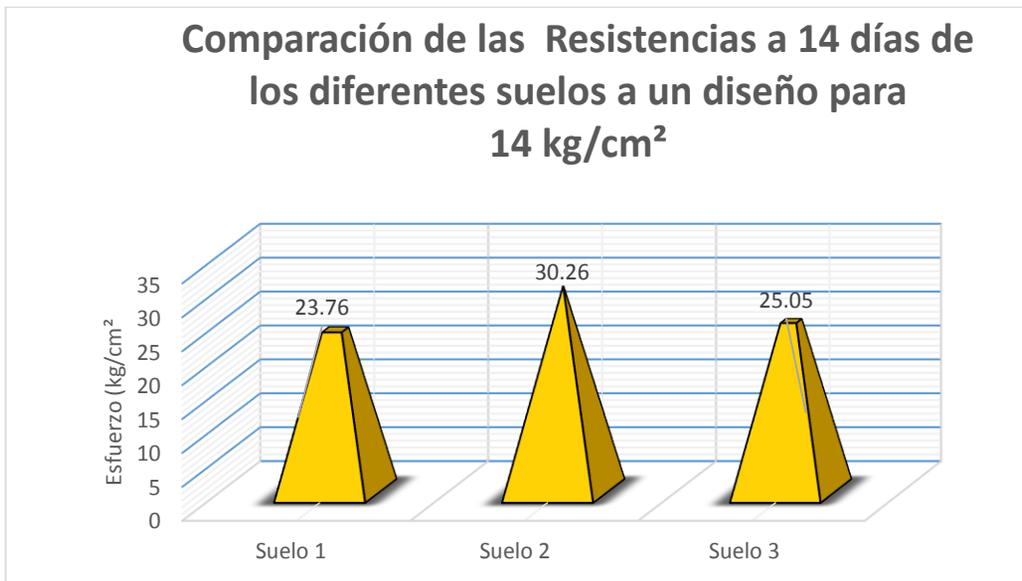
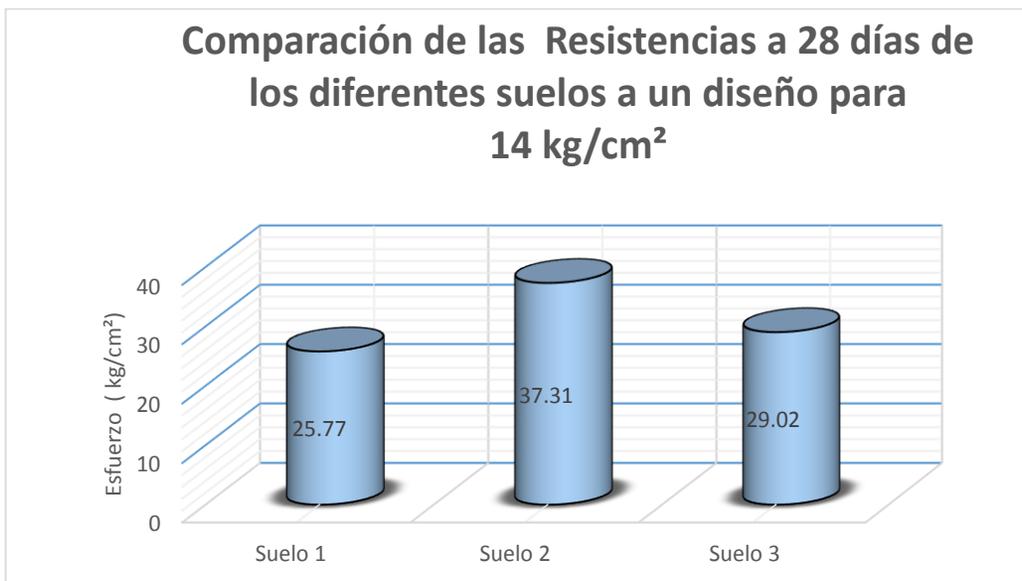


Figura 5.79 Comparación de Resistencias a 28 días para un diseño de  $14 \text{ kg/cm}^2$



**Análisis de Consistencia (ASTM D6103) de las Diferentes Mezclas de los Suelo en Análisis según ACI 229 R<sup>74</sup>**

*Tabla 5.93 Clasificación de la Fluidez de las Mezclas de MRBC*

ACI 229 R-99	
CLASIFICACIÓN	RANGO
Baja fluidez	Menos de 15cms (6 pulgadas)
Fluidez normal	15 cms a 20 cms (6 a 8 pulgadas)
Alta fluidez	mayor de 20 cms (8 pulgadas)

*Tabla 5.94 Clasificación de la Fluidez de las Mezclas de MRBC de los diferentes suelos analizados*

Descripción	Diseño para 7 Kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación	Diseño para 14 Kg/cm <sup>2</sup>	Clasificación
	Consistencia( cms)		Consistencia( cms)	
<b>Suelo 1</b>	33 cms	Alta fluidez	38 cms	Alta fluidez
<b>Suelo 2</b>	33 cms	Alta fluidez	36 cms	Alta fluidez
<b>Suelo 3</b>	35 cms	Alta fluidez	35 cms	Alta fluidez

<sup>74</sup> ACI 229R Controlled Low-Strength Materials

## Permeabilidad

La permeabilidad de la mayoría de los MRBC excavable es similar a la de rellenos granulares compactados. Los valores típicos están en el rango de  $10E-4$  a  $10E-5$  cm. /s. Las mezclas de MRBC con resistencias más altas y el volumen de las dosis más alto pueden lograr permeabilidades tan bajas de hasta  $10E-7$  cm/s. La permeabilidad aumenta cuando los materiales cementantes son reducidos y se aumenta el agregado.

### Calculo de la Permeabilidad

*Tabla 5.95 Permeabilidad de Suelo N°1*

t (min)	t (seg)	h1	h2	h1/h2	a	A	L	K	Kprom(cm/s)
50.59	3035.4	1.35	1.34	1.007462687	0.79	100.29	16	3.069E-07	3.01E-07
51.72	3103.2	1.34	1.33	1.007518797	0.79	100.29	16	3.025E-07	
50.86	3051.6	1.33	1.32	1.007575758	0.79	100.29	16	3.099E-07	
55.68	3340.8	1.32	1.31	1.007633588	0.79	100.29	16	2.852E-07	

*Tabla 5.96 Permeabilidad de Suelo N°2*

t (min)	t (seg)	h1	h2	h1/h2	a	A	L	K	Kprom(cm/s)
38.42	2305.2	1.35	1.34	1.007462687	0.79	100.29	16	4.041E-07	4.03E-07
38.61	2316.6	1.34	1.33	1.007518797	0.79	100.29	16	4.052E-07	
38.19	2291.4	1.33	1.32	1.007575758	0.79	100.29	16	4.127E-07	
40.85	2451	1.32	1.31	1.007633588	0.79	100.29	16	3.888E-07	

*Tabla 5.97 Permeabilidad de Suelo N°3*

t (min)	t (seg)	h1	h2	h1/h2	a	A	L	K	Kprom(cm/s)
28.5	1710	1.35	1.34	1.007462687	0.79	100.29	16	5.448E-07	3.70E-07
43.57	2614.2	1.34	1.33	1.007518797	0.79	100.29	16	3.59E-07	
46.83	2809.8	1.33	1.32	1.007575758	0.79	100.29	16	3.366E-07	
65.77	3946.2	1.32	1.31	1.007633588	0.79	100.29	16	2.415E-07	

**Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión (ASTM C469/C469M-10)<sup>75</sup>**

Este método de prueba abarca la determinación de: El módulo de elasticidad secante o Modulo de Young y la relación de Poisson de los cilindros de concreto fabricados y de los corazones de concreto extraídos con broca de diamante cuando están sometidos a esfuerzos de compresión longitudinal. Este método de prueba proporciona la relación esfuerzo–deformación y una relación de deformación lateral y longitudinal para concreto endurecido a cualquier edad y condición de curado especificada. Los valores del módulo de elasticidad y de la relación de Poisson aplicables dentro del rango de esfuerzos de trabajo (0 a 60% de la resistencia última del concreto), se usan en el dimensionamiento de elementos estructurales reforzados y no reforzado para establecer la cantidad de refuerzo, y para calcular los esfuerzos para las deformaciones observadas.

El Equipo de prueba es un equipo de prueba capaz de aplicar una carga a la velocidad y magnitud. El equipo debe cumplir los requisitos indicados. La cabeza esférica y los bloques de soporte deberán cumplir con lo indicado en la sección equipo en el método de prueba C39/C39M.

Entre el equipo utilizado para la ejecución de este ensayo se encuentra el compresómetro que consiste de dos anillos, uno de los se encuentra rígidamente acoplado al espécimen y el otro está acoplado a dos puntos diametralmente

---

<sup>75</sup> ASTM C469/C469M-10-- Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión

opuestos de manera que pueda rotar libremente. En uno de los puntos del anillo libre, a la mitad entre los dos puntos de soporte, usar un vástago pivote, para mantener una distancia constante entre los dos anillos. En el punto opuesto del anillo libre, el cambio en distancia entre los anillos (esto es, el cambio en la lectura en el transductor) es igual a la suma de los desplazamientos debidos a la deformación del espécimen y al desplazamiento debido a la rotación del anillo cercano al vástago pivote.

En cuanto a los especímenes de prueba pueden ser cilindros fabricados se prepararan de acuerdo a los requisitos para especímenes de prueba sometidos a compresión según las Prácticas C192/ C192M o C31/ C31M. Lleve a cabo el curado de los especímenes como se especifique y ensaye para la edad requerida para el módulo de elasticidad. Ensaye los especímenes en un tiempo no mayor a una hora después de ser removidos del cuarto de curado. Los especímenes que han sido extraídos de un cuarto húmedo, mantendrán su humedad cubriéndolos con una tela húmeda, mientras esperan a ser ensayados. Medir el diámetro del espécimen de prueba con un vernier con aproximación de 0.2 mm [0.01 pulg.]. Promediando dos diámetros medidos en ángulos rectos uno al otro cerca del centro de la longitud del espécimen. Este diámetro promedio se usa para calcular el área de la sección transversal. Mida y reporte la longitud de un espécimen colado, incluyendo el cabeceo con aproximación de 2 mm [0.1 pulg.]. Mida la longitud de un espécimen extraído con barreno de acuerdo al método de

prueba C174/ C174M; reportar la longitud de un espécimen, incluyendo el cabeceo, con una aproximación de 2 mm [0.1 pulg.].

### **Procedimiento**

- Mantener la temperatura ambiente y la humedad tan constante como sea posible durante la prueba. Registre en el reporte cualquier fluctuación inusual de humedad y temperatura.
- Usar los especímenes testigo para determinar la resistencia a la compresión según lo indicado en el método de prueba C39/ C39M antes del ensaye de módulo de elasticidad.
- Coloque el espécimen, con el equipo de medición de deformación acoplado, en el plato inferior o bloque de soporte del equipo de prueba. Alinear cuidadosamente el eje del espécimen con el centro del bloque de soporte superior. Anotar la lectura de los transductores. A medida que el bloque esférico se pone en contacto con el espécimen, rote cuidadosamente a mano la parte móvil del bloque para obtener un contacto uniforme.

*Figura 5.80 Colocación de los anillos y de los deformímetros*



- Cargar el espécimen por lo menos dos veces. No registre ningún dato durante la primera carga. Base los cálculos en el promedio de los resultados de cargas subsecuentes. La primera carga es principalmente para lograr el asentamiento de los transductores y durante la cual se observa el desempeño de estos corrigiendo cualquier comportamiento inusual antes de la segunda carga. La obtención de cada conjunto de lecturas es como sigue: aplique la carga de manera continua y sin impacto. Ajustar las máquinas de ensayo tipo hélice o tornillo de manera que la cabeza móvil tenga una velocidad de 1 mm/min [0.05 pulg./min], cuando la prueba este corriendo. Para equipos operados hidráulicamente, aplique la carga a una velocidad constante en el rango de  $250 \pm 50$  kPa/s [ $35 \pm 7$  psi/s]. Registrar, sin interrupción de carga, el valor de la carga aplicada y de la deformación longitudinal en el punto (1), cuando la deformación longitudinal es 50 millonésimas y (2) cuando la carga aplicada es el 40 % de la carga última o de rotura. La deformación longitudinal

está definida como la deformación longitudinal total dividida entre la longitud efectiva del equipo de medición. Si se va a determinar la relación de Poisson, entonces registre la deformación transversal en los mismos puntos.

- Si se desea obtener una curva esfuerzo - deformación, deberán tomarse dos o más lecturas en puntos intermedios sin interrumpir la carga; o utilice algún instrumento que realice un registro continuo. Inmediatamente después de alcanzar la carga máxima, excepto en la carga final, reduzca la carga hasta cero a la misma velocidad a la cual fue aplicada.

*Figura 5.81 Espécimen colocado en máquina para realizar el ensayo*



## CÁLCULOS

Calcular el módulo de elasticidad lo más cercano a 200 MPa [50,000 psi] como sigue:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)} = \frac{(9.62 - 2.55)}{(0.000256 - 0.000050)}$$

$$E = 34,310.26 \text{ Kg/cm}^2$$

Donde:

E= Modulo de elasticidad kg/cm<sup>2</sup>

S<sub>1</sub>= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria  $\varepsilon_1=0.000050$ .

S<sub>2</sub>=Esfuerzo correspondiente al 40% de la resistencia ultima.

$\varepsilon_2$ = Deformación unitaria longitudinal correspondiente al esfuerzo S<sub>2</sub>.

Calcular la relación de Poisson, lo más cercano posible a 0.01, como sigue:

$$\mu = \frac{(e_{t2} - e_{t1})}{(\varepsilon_2 - 0.000050)} = \frac{(0.000085 - 0)}{(0.000256 - 0.000050)}$$

$$\mu = 0.4126$$

$e_{t2}$ = Es la deformación transversal unitaria a la altura media del espécimen, producida por el esfuerzo S<sub>2</sub>

$e_{t1}$ =es la deformación transversal unitaria a la altura media del espécimen, producida por el esfuerzo S<sub>1</sub>.

**Ejemplo cálculo para un suelo**

**RESUMEN DE DATOS PARA SUELO DE BANCO N°3**

Suelo N°3

Precisión deformimetro H (mm) =0.0025

Área (cm<sup>2</sup>) = 183.85

Precisión deformimetro V (mm) =0.0020

Carga de ruptura (Kg) = 4420

D (cm) =15.30

Esfuerzo ultimo (Kg/cm<sup>2</sup>) = 24.04

L (cm) =30.50

0.40  $\sigma_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) = 9.62

*Tabla 5.98 Ejemplo de cálculo de Relación de Poisson y el Modulo de Elasticidad Estático*

N°	Carga (Kn)	Lecturas V	$\delta$ (mm)	Esfuerzo Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo Mpa (N/mm <sup>2</sup> )	Deformación unitaria (mm/mm)	Lecturas H	$\delta$ (mm)	Deformación unitaria (mm/mm)
1	0	0	0.0000	0.00	0	0	0	0.0000	0
2	3	4	0.0100	1.66	0.16	3.32779E-05	0	0.0000	0
3	6	9	0.0225	3.33	0.33	7.48752E-05	0	0.0000	0
4	9	18	0.0450	4.99	0.49	0.00014975	1	0.0020	1.30719E-05
5	12	20	0.0500	6.65	0.65	0.000166389	3	0.0060	3.92157E-05
6	15	25	0.0625	8.32	0.82	0.000207987	4	0.0080	5.22876E-05
7	18	33	0.0825	9.98	0.98	0.000274542	7	0.0140	9.15033E-05
8	21	40	0.1000	11.64	1.14	0.000332779	8	0.0160	0.000104575
9	24	53	0.1325	13.31	1.31	0.000440932	10	0.0200	0.000130719
10	27	60	0.1500	14.97	1.47	0.000499168	12	0.0240	0.000156863
11	30	90	0.2250	16.63	1.63	0.000748752	13	0.0260	0.000169935

Figura 5.82 Deformaciones de espécimen

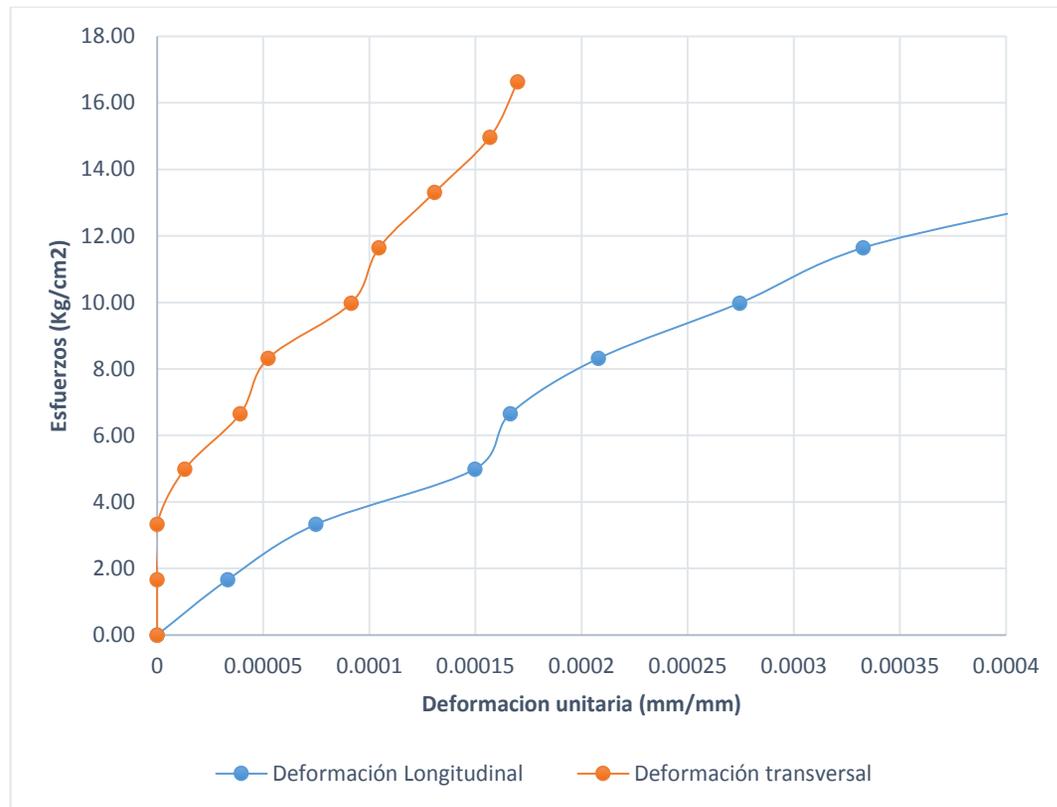
RESUMEN DE RESULTADOS DE MODULOS DE POISSON A RESISTENCIAS A 7KG/CM<sup>2</sup>

Tabla 5.99 Resultados de Módulo de Poisson para los diferentes suelos

SUELO	Módulo de Poisson
N°1	0.43
N°2	0.35
N°3	0.41

Tabla 5.100 Valores típicos de la Relación de Poisson ( $\mu$ )

MATERIAL	RANGO	TÍPICO
Concreto Hidráulico	0.10-0.20	0.15
Concreto asfáltico	0.15-0.45	0.35
Base tratada con asfalto	0.15-0.45	0.35
<b>Base tratada con cemento</b>		
Suelo granular	0.10-0.20	0.15
Suelo fino	0.15-0.35	0.25
Concreto pobre	0.10-0.20	0.15
Base y subbase granular	0.30-0.40	0.35
Suelo de subrasante	0.30-0.50	0.40

### 5.2.1. Representatividad de los Resultados

Los resultados que se obtienen en cualquier tipo de ensayo se ven sujetos a variaciones. Para poder determinar hasta cuanto son permitidas dichas variaciones, hay varios métodos estadísticos, conocidos éstos como medidas de tendencia central que indican la uniformidad de los resultados.

La medida más común de tendencia central, de un conjunto de datos es el promedio, es decir, la suma de los valores obtenidos, divididos por el número de datos, y se expresa de la siguiente manera

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Para determinar el grado de uniformidad se utiliza la desviación estándar ( $\sigma$ ), la cual es empleada para medir la dispersión de los datos respecto al promedio, se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Desviación estándar} = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n}}$$

El coeficiente de variación, se define como el resultado de dividir la desviación estándar entre el promedio:

$$Cv = \frac{\sigma}{X}$$

El coeficiente de variación es adimensional, y se expresa en porcentaje. Da una comparación válida entre el conjunto de datos de distintos órdenes de magnitud y permite establecer el grado de representatividad de los resultados, para tal efecto se puede utilizar la tabla 5.28

*Tabla 5.101 Grado de representatividad de los resultados*

Coeficiente de variación (Cv)	Representatividad de los resultados
$0 < Cv < 10$	Alta
$10 < Cv < 20$	Bastante
$20 < Cv < 30$	Representativo
$30 < Cv < 40$	Dudosa
$> 40$	No se puede concluir

El coeficiente de variación fue calculado para todos los resultados obtenidos de los ensayos de los cilindros, de los cuales la mayor parte de los resultados (de Cv) se encontraban en el intervalo  $0 < C_v < 10$ , en el caso del suelo #2 que fue el que mayor representatividad obtuvo, sin embargo el suelo #1 y suelo #3 sus coeficientes de variación se encontraban en el intervalo de  $10 < C_v < 20$ , en su gran mayoría.

De lo expresado en la tabla 5.28 se puede decir que los resultados obtenidos se encuentran en el intervalo de alta representatividad y bastante representativos.

*Tabla 5.102 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #1 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>*

PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 1</b>	7	11.29	1.02	9%	<b>ALTA</b>
	14	14.01	1.67	12%	<b>BASTANTE</b>
	28	17.77	0.69	4%	<b>ALTA</b>

*Tabla 5.103 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #1 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>*

PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 1</b>	7	14.47	2.54	18%	<b>BASTANTE</b>
	14	23.76	2.95	12%	<b>BASTANTE</b>
	28	25.77	2.64	10%	<b>BASTANTE</b>

Tabla 5.104 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #2 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 2</b>	7	14.66	0.54	4%	<b>ALTA</b>
	14	20.24	0.52	3%	<b>ALTA</b>
	28	27.33	1.03	4%	<b>ALTA</b>

Tabla 5.105 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #2 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>

PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 2</b>	7	20.57	2.55	12%	<b>BASTANTE</b>
	14	30.26	2.48	8%	<b>ALTA</b>
	28	37.30625	2.01	5%	<b>ALTA</b>

Tabla 5.106 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #3 para un diseño de 7 kg/cm<sup>2</sup>

PARA 7 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 3</b>	7	13.97	1.89	14%	BASTANTE
	14	16.71	1.95	12%	BASTANTE
	28	19.72	2.05	10%	BASTANTE

Tabla 5.107 Grado de Representatividad de Resultados del Suelo #3 para un diseño de 14 kg/cm<sup>2</sup>

PARA 14 Kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	$\sigma$ Promedio General (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'$ (DESVIACIÓN ESTANDAR)	CV(%)	REPRESENTATIVIDAD DE RESULTADOS
<b>SUELO 3</b>	7	18.18	2.56	14%	BASTANTE
	14	25.05	1.63	7%	ALTA
	28	29.02	1.7	6%	ALTA

**RESUMEN DE RESULTADOS  
DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO  
DE RESISTENCIA A LA  
COMPRESIÓN DE LOS MRBC**

## BANCO DE PRESTAMO N°1 CAÑA DE TARRO

Tabla 5.108 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 7 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°1						
	7.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO		11.29 kg/cm <sup>2</sup>	161%	14.01 kg/cm <sup>2</sup>	200%	17.77 kg/cm <sup>2</sup>	254%
DESVIACIÓN ESTANDAR		1.02 kg/cm <sup>2</sup>		1.67 kg/cm <sup>2</sup>		0.69 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN		9%		12%		4%	
VALOR MÍNIMO		9.71 kg/cm <sup>2</sup>	139%	10.92 kg/cm <sup>2</sup>	156%	16.92 kg/cm <sup>2</sup>	242%
VALOR MÁXIMO		14.17 kg/cm <sup>2</sup>	202%	15.74 kg/cm <sup>2</sup>	225%	19.70 kg/cm <sup>2</sup>	281%
TAMAÑO DE LA MUESTRA		24		24		24	

Tabla 5.109 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 14 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°1						
	14.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES		7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO		14.47 kg/cm <sup>2</sup>	103%	23.76 kg/cm <sup>2</sup>	170%	25.77 kg/cm <sup>2</sup>	184%
DESVIACIÓN ESTANDAR		2.54 kg/cm <sup>2</sup>		2.95 kg/cm <sup>2</sup>		2.64 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN		18%		12%		10%	
VALOR MÍNIMO		11.32 kg/cm <sup>2</sup>	81%	17.98 kg/cm <sup>2</sup>	128%	19.42 kg/cm <sup>2</sup>	139%
VALOR MÁXIMO		19.96 kg/cm <sup>2</sup>	143%	29.11 kg/cm <sup>2</sup>	208%	29.68 kg/cm <sup>2</sup>	212%
TAMAÑO DE LA MUESTRA		24		24		24	

## BANCO DE PRESTAMO N°2 FRANCISCO TOBAR

Tabla 5.110 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 7 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°2					
7.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES	7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO	14.66 kg/cm <sup>2</sup>	209%	20.24 kg/cm <sup>2</sup>	289%	27.33 kg/cm <sup>2</sup>	390%
DESVIACIÓN ESTANDAR	0.54 kg/cm <sup>2</sup>		0.52 kg/cm <sup>2</sup>		1.03 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	4%		3%		4%	
VALOR MÍNIMO	13.77 kg/cm <sup>2</sup>	197%	19.13 kg/cm <sup>2</sup>	273%	24.64 kg/cm <sup>2</sup>	352%
VALOR MÁXIMO	16.19 kg/cm <sup>2</sup>	231%	21.11 kg/cm <sup>2</sup>	302%	29.72 kg/cm <sup>2</sup>	425%
TAMAÑO DE LA MUESTRA	24		24		24	

Tabla 5.111 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 14 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°2					
14.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES	7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO	20.57 kg/cm <sup>2</sup>	147%	30.26 kg/cm <sup>2</sup>	216%	37.31 kg/cm <sup>2</sup>	266%
DESVIACIÓN ESTANDAR	2.55 kg/cm <sup>2</sup>		2.48 kg/cm <sup>2</sup>		2.01 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	12%		8%		5%	
VALOR MÍNIMO	17.22 kg/cm <sup>2</sup>	123%	27.09 kg/cm <sup>2</sup>	194%	34.50 kg/cm <sup>2</sup>	246%
VALOR MÁXIMO	25.34 kg/cm <sup>2</sup>	181%	33.82 kg/cm <sup>2</sup>	242%	40.65 kg/cm <sup>2</sup>	290%
TAMAÑO DE LA MUESTRA	24		24		24	

## BANCO DE PRESTAMO N°3 CALLE ANTIGUA AL MATAZANO

Tabla 5.112 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 7 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 7 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°3					
7.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES	7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO	13.97 kg/cm <sup>2</sup>	200%	16.71 kg/cm <sup>2</sup>	239%	19.72 kg/cm <sup>2</sup>	282%
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.89 kg/cm <sup>2</sup>		1.95 kg/cm <sup>2</sup>		2.05 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	14%		12%		10%	
VALOR MÍNIMO	11.32 kg/cm <sup>2</sup>	162%	13.32 kg/cm <sup>2</sup>	190%	16.26 kg/cm <sup>2</sup>	232%
VALOR MÁXIMO	17.74 kg/cm <sup>2</sup>	253%	22.45 kg/cm <sup>2</sup>	321%	23.59 kg/cm <sup>2</sup>	337%
TAMAÑO DE LA MUESTRA	24		24		24	

Tabla 5.113 RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC DE 14 kg/cm<sup>2</sup>

DISEÑO	RESUMEN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS MRBC(LODOCRETO) DE 14 kg/cm <sup>2</sup> DEL BANCO DE PRESTAMO N°3					
14.00 kg/cm <sup>2</sup>	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO	EDAD (DÍAS)	GANANACIA DE RES. RESPECTO AL DISEÑO
EDADES	7 días	7 días	14 días	14 días	28 días	28 días
PROMEDIO	18.18 kg/cm <sup>2</sup>	130%	25.05 kg/cm <sup>2</sup>	179%	29.02 kg/cm <sup>2</sup>	207%
DESVIACIÓN ESTANDAR	2.56 kg/cm <sup>2</sup>		1.63 kg/cm <sup>2</sup>		1.70 kg/cm <sup>2</sup>	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	14%		7%		6%	
VALOR MÍNIMO	15.15 kg/cm <sup>2</sup>	108%	22.11 kg/cm <sup>2</sup>	158%	24.83 kg/cm <sup>2</sup>	177%
VALOR MÁXIMO	22.60 kg/cm <sup>2</sup>	161%	29.48 kg/cm <sup>2</sup>	211%	31.62 kg/cm <sup>2</sup>	226%
TAMAÑO DE LA MUESTRA	24		24		24	

### 5.3. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Se calculó el precio unitario del Lodocreto del Banco de Préstamo N°2, que fue el que presentó las mejores características técnicas, así podemos analizar el precio actual, con otro después de una revisión del diseño.

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIO BANCO DE PRESTAMO #2							
CONCEPTO:		LICITACION:					
Lodocreto Premezclado hecho con concretera manual			UNIDAD ANALIZADA		PRECIO TOTAL INCLUYE IVA		
			1.00	M <sup>3</sup>		\$ 71.53	
			<b>MATERIALES</b>				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	RENDIMIENTO	SUB-TOTAL	TOTAL
1.00	Tierra Blanca (limo arenoso)	1.35	M <sup>3</sup>	\$ 7.00		\$ 9.45	
2.00	Agua Potable	0.30	M <sup>3</sup>	\$ 4.50		\$ 1.35	
3.00	Cemento Tipo HE, Norma ASTM C-1157	2.50	Bolsa	\$ 7.80		\$ 19.50	
4.00	Gasolina Regular	1.23	Galón	\$ 3.00		\$ 3.68	
							<b>\$33.98</b>
			<b>TRANSPORTE</b>				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	RENDIMIENTO	SUB-TOTAL	TOTAL
						\$ -	
							<b>\$0.00</b>
			<b>MANO DE OBRA</b>				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U./LAUDO	RENDIMIENTO	SUB-TOTAL	TOTAL
1.00	Auxiliar de construcción	12.00	Hora	\$ 2.40		\$ 28.80	
						\$ -	
							<b>\$28.80</b>
			<b>HERRAMIENTA</b>				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	RENDIMIENTO	SUB-TOTAL	TOTAL
							<b>\$0.00</b>
			<b>EQUIPO</b>				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	P.U./RENTA	RENDIMIENTO	SUB-TOTAL	TOTAL
1.00	Concretera de una bolsa	0.35	dia	\$ 25.00	100.00%	\$ 8.75	
							<b>\$8.75</b>
					<b>COSTO DIRECTO</b>		<b>\$71.53</b>
					INDIRECTOS %	0.00%	<b>\$0.00</b>
					<b>SUB TOTAL</b>		<b>\$71.53</b>
					IVA		<b>\$0.00</b>
					<b>PRECIO TOTAL INCLUYE IVA</b>		<b>\$71.53</b>

## **CAPITULO VI**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. CONCLUSIONES

- ✓ Los bancos de préstamos empleados en la elaboración de MRBC se clasificaron como suelos granulares (Arenas Limosas) y materiales no plásticos.
- ✓ La cantidad de agua necesaria para la elaboración de MRBC se estableció en el diseño y se corregía antes de realizarse cada batchada para obtener una trabajabilidad deseada y controlada, ya que los materiales presentaban humedades diferentes cada día.
- ✓ El tiempo de mezclado durante la elaboración de los MRBC, en la mezcladora de una bolsa de cemento estaba comprendido entre 5 y 10 minutos, contados estos a partir de la incorporación de todos los elementos que conforman la mezcla (Agua, Suelo y Cemento), y en algunas ocasiones el tiempo era mayor, cuando el suelo que se empleaba para su elaboración contenía más material fino en el caso de suelo 1 y suelo 3, de tal manera, que se garantizó la obtención de una mezcla homogénea.
- ✓ El tiempo de desmoldar los especímenes de prueba fue en su mayoría de 72 horas, situación que está en función del tipo de suelo que se está empleando, la dosificación, así como también, la temperatura y ambiente en que estos se elaboran, entre otras.
- ✓ Debido a los espacios vacíos que poseen los suelos de carácter granular (Arenas Limosa) estos presentan contenidos de aire relativamente mayores en las mezclas que aquellos elaborados a base de suelos Limosos, por tal

motivo el suelo #2 presento los porcentajes más alto de contenido de aire, en comparación que los suelos 1 y 3 que tiene importantes cantidad de limos.

- ✓ Los resultados de las resistencias a la compresión de los especímenes ensayados a la edad de 7 días, para el Diseño 7 kg/cm<sup>2</sup> fueron:

N°	Banco de Préstamo	Tipo de suelo	Resistencia (kg./cm <sup>2</sup> ) obtenida a los 7 días, promedio de 20 unidades
1	Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad	SM	11.29
2	Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate	SM	14.66
3	Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano	SM	13.97

- ✓ Los resultados de las resistencias a la compresión de los especímenes ensayados a la edad de 7 días, para el Diseño 14 kg/cm<sup>2</sup> fueron:

N°	Banco de Préstamo	Tipo de suelo	Resistencia (kg./cm <sup>2</sup> ) obtenida a los 14 días, promedio de 20 unidades
1	Caña de Tarro, Ciudad Arce La Libertad	SM	14.47
2	Francisco Tobar, Colonia Rio Zarco Km 34 1/2 Carretera a Sonsonate	SM	20.57
3	Colonia Monte Carmelo, Calle Antigua al Matasano	SM	18.18

- ✓ Con los datos obtenidos de los ensayos de permeabilidad podemos concluir, que el suelo proveniente del banco de préstamo n°2, presenta la mayor permeabilidad.

- ✓ Todos los suelos de los tres bancos de préstamo analizados, presentan una fluidez alta, arriba de 20 cms de consistencia según norma ASTM D6103 y ACI 229 R.
- ✓ Los Módulos de Poisson encontrados de los tres suelos, nos muestran que son materiales idóneos para bases y sub bases de pavimentos según tabla 5.27, que muestra que los mejores módulos para este uso en particular están entre 0.30 – 0.40, el que mejor característica presento fue el suelo 2, con un módulo de 0.35, en referencia con los módulos de los suelos 1 y 3 que fue de 0.43 y 0.41.
- ✓ El suelo que mejor representatividad de resultado tuvo fue el suelo 2.
- ✓ Las mejores resistencias para los diseños a 7 kg/cm<sup>2</sup> y 14 kg/cm<sup>2</sup> a las diferentes edades de 7, 14 y 28 días, las presentó el suelo 2, debido a que presenta mejores características granulométricas, ya que es clasificado según AASHTO M 145 como un suelo A-2-4, tipificado como un material que presenta excelentes características en la construcción de Excelente a bueno, en comparación con los suelos 1 y 3 que se clasifican como suelos A-4 con una condición de Regular a Bueno.
- ✓ Como conclusión final, el suelo que presenta las mejores características para su uso óptimo en el área vial y el que mejor se comportó fue el suelo 2, en segundo lugar el suelo 3 y en tercer lugar el suelo 1.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda, que los acopios en la planta procesadora, estén fuera de zonas donde hayan árboles, o que los acopios estén protegidos, para no correr el riesgo de que se contaminen orgánicamente y disminuyan su calidad.
- ✓ Se recomienda mantener los acopios de los diferentes bancos, debidamente separados para evitar, que los suelos se mezclen y no se tenga certeza del origen de los suelos a la hora de su mezcla y análisis de control de calidad.
- ✓ Se recomienda revisar el diseño proporcionado y ocupado para la producción de los MRBC, ya que observando los resultados de los ensayos de control de calidad realizado en esta investigación, se puede constatar que las cantidades de cemento que brinda este diseño, están sobredimensionadas, por lo tanto se incurre en mayor uso de cemento, por consiguiente se eleva el costo en la producción.

# **GLOSARIO**

- **Agregado fino:** son arenas naturales o manufacturadas, con tamaños de partículas pasantes de la malla N° 4 (4.75mm) y retenidas en la malla N° 100 (150  $\mu$ m).
- **Agregado grueso:** Son materiales, cuyas partículas se retienen en la malla N° 16 (1.18 mm) y pueden variar hasta 152 mm.
- **Asentamientos:** es una disminución de tamaño en la dirección vertical, producida por una disminución en su volumen (por carga excesiva de un elemento, por contracciones, etc.).
- **Auto compactable:** característica que presentan algunos materiales de acomodarse sin la necesidad de un agente externo.
- **Bancos de préstamo:** nombre que se le asigna al sitio o lugar del cual se extrae material selecto (suelo sano) para la elaboración del MRBC.
- **Bachada:** Se conoce así a un proceso en el que se mezclan diferentes cantidades de materiales, en este caso, cemento, suelo, agua, mezclando los materiales hasta obtener una mezcla homogénea como producto final, a la que llamamos "bachada".
- **Bombeable (Bombeabilidad):** Se define una MBRC bombeable como aquella que puede ser conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y descargarlo directamente en el área de trabajo. Esta MBRC debe presentar una consistencia plástica y debe ser colocada sin perder sus características físicas.
- **Cenizas volcánicas:** material producido en los altos hornos (hornos de altas temperaturas) por el efecto de la combustión del carbono.

- **Calicatas:** Consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos o convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos en campo tienen la ventaja de que permiten acceder directamente al terreno, pudiéndose observar las variaciones litológicas, estructuras, discontinuidades, etc., así como tomar muestras de gran tamaño para la realización de ensayos y análisis.
- **Colado:** Es la actividad de colocar el mezcla en las cimbras o encofrados.
- **Contracción:** Aumento o disminución del volumen de concreto, provocando cambios en la forma y tamaño del elemento, por efecto de variaciones térmicas, cambios de humedad o por el efecto del agregado o aditivos utilizados.
- **Consistencia de la mezcla:** Es una medida de la trabajabilidad referida a la movilidad y la compactación del concreto, en términos de la apariencia que exhibe al ser manipulada y expresada de acuerdo resultados de prueba de revenimiento.
- **Cohesividad:** Es la mayor o menor acción de atracción de las partículas de un suelo, producido por la acción de la fricción interna de sus partículas.
- **Curado:** El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto y rellenos fluidos a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado (colado) y el acabado, de manera que el concreto y los rellenos fluidos puedan desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada.

- **Descapote:** efecto de eliminación de la materia orgánica presente en los estratos superiores de suelo.
- **Desenmoldado:** proceso o acción de remover los especímenes de prueba de los moldes confinantes en los cuales fueron colados.
- **Dosificación:** acción en la cual se determina la cantidad necesaria de materiales a utilizar para la elaboración de una mezcla.
- **Exudación:** Forma particular de segregación, donde el agua tiende a migrar a la superficie y crea una capa delgada, débil y porosa sin resistencia y deficiente durabilidad.
- **Elementos testigos:** elementos elaborados con el objeto de la verificación o comprobación de la calidad de una mezcla.
- **Edad de prueba:** fecha destinada al ensaye de los especímenes testigos para la determinación o verificación de la calidad de una mezcla.
- **Fraguado de la mezcla:** Es la condición alcanzada cuando ha perdido la plasticidad en un grado arbitrario, esta condición es medida en términos de resistencia a la penetración o deformación.
- **Homogeneidad:** mezcla totalmente uniforme y presentan iguales propiedades y composición en todo el sistema.
- **Lechada:** mezcla de agua con cemento, la cual posee una consistencia fluida, utilizada generalmente para facilitar la circulación del MRBC (y concretos) por tuberías destinadas al transporte de este.

- **Material cementante:** nombre que también se le asigna a los cementos y la cal.
- **Muestreo:** acción de obtener muestras representativas de un suelo, para poder determinar en un laboratorio las propiedades de este, para usos en la construcción.
- **Mezclas autocompactables:** Se definen como aquellas que tienen la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibradas, aun en elementos estrechos y densamente armados.
- **Mezclado:** Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos.
- **Obra civil:** obra física destinada a satisfacer necesidades del hombre.
- **Proporcionamiento volumétrico:** efecto de realizar dosificaciones de una mezcla mediante los volúmenes de sus componentes.
- **Reexcavación:** Se le denomina así a la acción de remover el material de relleno que se colocó en una excavación de zanjas o cavidades por medios mecánicos o convencionales.
- **Relleno Fluido:** clasificación que designa el ACI para mezclas elaboradas a base de suelo, cemento y agua, cuyo revenimiento se encuentra en el intervalo de 6 a 8 pulgadas.
- **Resistencia del MRBC ( $f'_c$ ):** capacidad que posee el MRBC para soportar las cargas a las cuales estará sometido, cuando esta sea puesta en servicio.

- **Relación agua/cemento (a/c):** La razón de la cantidad de agua en peso, excluyendo aquella que absorben los agregados, a la cantidad en peso de cemento.
- **Revoltura:** efecto mediante el cual se le proporciona un mezclado mecánico adecuado a los elementos o componentes de una mezcla.
- **Sangrado:** Es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos.
- **Sedimentación:** fenómeno físico, el cual consiste en el desplazamiento vertical (hacia abajo) de las partículas que componen un suelo, efecto en el cual las partículas de mayor tamaño llegan al fondo antes que aquellas cuyo tamaño es menor que las primeras.
- **Segregación:** La separación involuntaria de los constituyentes del concreto o las partículas de agregado, provocando una falta de uniformidad en su distribución.
- **Trabajabilidad:** Se considera como aquella propiedad del concreto o los rellenos fluidos mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna. Esta aceptación comprende conceptos tales como moldeabilidad, cohesión y compactación.
- **Vibrado:** Es el método comúnmente utilizado para consolidar la mezcla, el cual crea con la vibración una destrucción temporal de la fricción interna entre las partículas de agregado, y la mezcla se comporta como líquido, este proceso es utilizado para que los vacíos grandes de aire suban a la superficie.

# **BIBLIOGRAFIA**

### **Trabajo de Graduación**

- Ing. Manuel Alexander Arriola Sánchez, “Determinación de los parámetros de resistencia en mezclas de lodocreto utilizando suelos plásticos estabilizados y materiales granulares”. Universidad de El Salvador.
- Tesis “Usos de rellenos fluidos en la construcción”, Rivera Pérez, Eduardo Marín, Universidad de San Carlos de Guatemala /2008.
- Aplicación de los parámetros de control ACI, en mezclas de rellenos fluidos de resistencia controlada (lodocreto), variando porcentajes y tipos de cementos, José Salvador Granados Mejía, Trabajo de Graduación UES. 2003.

### **Revistas Técnicas**

- Jaramillo Porto, Diego; "Relleno Fluido. El nuevo material que reemplaza las bases granulares"; ASOCRETO, pp .64-68, Bogotá.
- Jofré, Carlos; "Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada"; Revista RUTASW 67,pp. 5-21,julio-Agosto, 1998; Madrid (España).
- Jaramillo Porto, Diego; "Relleno Fluido. Características, propiedades, experiencias"; Asociación Colombiana de productores de concreto: ASOCRETO, En: Seminario hablemos en concreto sobre pavimentos; pp. 1-21, 1999, Bogotá.
- CODEP-SOCORSALTDA.; "Fabricación de elementos para la industria de la construcción"; Representantes del aditivo Darafill, pp. 1-9, Bogotá.

- CEMEX; "Relleno fluido"; En: Revista Construcción y Tecnología W 147, Volumen 13, pp. 1-4, México.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Revista ISCYC N° 208 septiembre 2005.
- Simposio Colombiano sobre Ingeniería de pavimentos; pp. 17-1al 17-14; julio 4 al 16, 1999, Medellín.
- González, Carlos Hernán; "Caracterización del relleno fluido usado como alternativa de remplazo de bases y sub-bases granulares"; Concretos Diamante - Samper; En: XII Simposio Colombiano sobre Ingeniería de pavimentos; pp. 17-1al 17-14;julio 4 al 16, 1999, Medellín
- Revista Morteros fluidos ó de densidad controlada. Ing. Aníbal Martínez Villa.
- Revista ISCYC N° 39 septiembre 2005.
- CEMEX; "Relleno fluido"; En: Revista Construcción y Tecnología W 147, Volumen 13, pp. 1-4, México.
- Rodríguez, José; "Aplicación en vías urbanas. Hormigón ligero para relleno de zanjas": GRASE, S.A.;pp. 179-181, Madrid.

### **Comités**

- Comité ACI229R —Materiales de baja resistencia controlada

- Comité ACI 325 “Guía para el Diseño de Bases y Hombros para Pavimentos de Concreto”.

## **Normas**

- NTC. Proyecto de norma técnica Colombiana "Especificaciones del relleno fluido", pp. 1-8, Bogotá.
- AASHTO M-145 “Clasificación de suelos”
- ASTM C-33 “Especificación Normalizada de Agregados para Concreto”
- ASTM C-94 “Specifications for Ready-Mixed Concrete”
- ASTM C143 “Método de ensayo estándar para revenimiento del concreto de cemento hidráulico”
- ASTM C-150 “Especificaciones estándar para Cemento Portland”
- ASTM C231 Contenido de aire del concreto por el método de Presión.
- ASTM D420 —Guía estándar para caracterización en sitio con propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción”
- ASTM C469/C469M-10). Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del Concreto a compresión.
- ASTM (C593) “Standard Specification for Fly Ash and Other Pozzolans for Use With Lime for Soil Stabilization” traducción al español “Especificación Estándar para Cenizas volantes y Pozolanas para Uso con Cal para la Estabilización del Suelo”.

- ASTM C-595 “Especificaciones estándar para mezclas de cementos Hidráulicos”
- ASTM C-618 “Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”.
- ASTM C-796 “Test Method of Testing Foaming Agents for Use in Producing Cellular Concrete Using Preformed Foam”.
- ASTM D 854-02 Determinación de la Gravedad Específica de los Sólidos.
- ASTM C-869 “Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete”.
- ASTM C939 / C939M “Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)” traducido al español como “flujo de Grout para Concreto de Agregado Precolocado (Método del Cono de Flujo)”
- ASTM STP 1331 “The Design and Application of Controlled Low-Strength Materials (Flowable Fill)” traducido al español “El Diseño y Aplicación de Materiales de Baja Resistencia Controlados”
- ASTM D4832 Preparación y Ensayo de Especímenes Cilíndricos de MRBC
- ASTM D 6103 “Método de ensayo estándar para consistencia de flujo en material de baja resistencia controlada (MBRC)”

**Otras Fuentes**

- Instituto Salvadoreño del Cemento y el Concreto (ISCYC) “Relleno Fluidos de Resistencia Controlada RFRC (Iodocreto) experiencia e investigación en El Salvador” escrito por el Ing. Carlos Quintanilla
- American Stone-Mix, Inc. Physical Properties of FLO-ASH. Product Brochure, Towson, Maryland.
- Carreteras Calles Y Aeropistas, Raúl Valle De Rodas
- Ministerio de Obras públicas, Unidad de Investigación y Desarrollo vial.
- Asociación Americana del Estado de Autopistas Y Oficiales del Transporte
- Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido, Ana Laura Viera Estrada.
- Geología y Geotecnia “Permeabilidad de Suelos”, Mg. Ing. Silvia Angelone.
- Prácticas de Laboratorio de Mecánica de Suelos I, Ing. Abraham Polanco Rodríguez.

# **ANEXOS**

# **Materiales fluidos de baja resistencia controlada para rellenos**



## 1. Introducción

Denominamos "*materiales de baja resistencia controlada*", en adelante MBRC, a los morteros u hormigones con resistencias a compresión a 28 días comprendidas entre 0,3 y 8 MPa, pensados para su utilización como relleno de zanjas, huecos, trincheras y otros tipos de cavidades. También pueden ser usados como rellenos estructurales, aislantes, bases y subbases de firmes, relleno de todo tipo de conducciones, control de la erosión, etc.

Su fabricación y puesta en obra son similares a las de los morteros y hormigones convencionales, mientras que sus propiedades en servicio se asemejan más, según la resistencia exigida, a las de un suelo estabilizado, un suelocemento o una gravacemento, proporcionando por tanto una capacidad de soporte, para las capas superiores, mucho mayor a la que se obtiene con los materiales granulares utilizados habitualmente en estos trabajos. Es por ello por lo que estos MBRC pueden servir también como bases de aceras o pavimentos sometidos a intensidad de tráfico moderada, e incluso como hormigones de limpieza.

En un gran número de obras, una causa importante de los deterioros (Figura 1) y en muchos casos de un acortamiento sensible de su vida útil, la constituyen los rellenos localizados de zonas con una o dos dimensiones de tamaño reducido, como son las zanjas, trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de paso, galerías subterráneas fuera de servicio, etc.

En el caso de rellenos constituidos por suelos procedentes de la propia excavación o por materiales granulares de aportación, el cumplimiento de las prescripciones técnicas para estas unidades de obra debería permitir obtener las características anteriores. Sin embargo, en la práctica ésta no es la situación más frecuente. Así, en los firmes urbanos, provocan muchos problemas las numerosas calas para instalación o reparación

de servicios, por la poca calidad con la que se suelen rellenar. A ello contribuyen distintos factores, entre los que se pueden destacar los siguientes:

- Una **compactación incorrecta** debido a un excesivo espesor de tongada, al empleo de equipos de compactación inadecuados y a la evaluación subjetiva del grado de compactación, dada la habitual ausencia de ensayos. Este problema se ve agravado en zanjas estrechas (por ejemplo, de ancho inferior a 1,25 m), que obligan al empleo de equipos de compactación de escasa potencia desplazados manualmente y en las que, por otra parte, es frecuente que se deje un espacio excesivamente reducido entre la conducción y las paredes de la zanja (Figura 2);
- La posible existencia de **desplomes laterales** que pueden producirse una vez abierta la zanja, creando huecos en las paredes de la misma, en los que el material granular que entra no es posible compactarlo por encontrarse fuera de la acción del medio de compactación, creando así huecos bajo el firme existente.
- El empleo de **materiales de relleno inadecuados**, tanto por su composición como por su granulometría o su contenido de humedad, en general, difíciles de compactar. Es habitual ver acopiado junto a las zanjas el material procedente de la excavación, que luego es vuelto a colocar en las mismas sin ningún proceso de selección (Figura 3).

Una compactación incorrecta se traduce posteriormente en asientos que perjudican la regularidad del firme o en la aparición de huecos bajo el mismo. Los problemas se agravan en el caso de calas realizadas en firmes ya ejecutados, pues los cortes que se practican en el mismo reducen la transmisión de cargas y con ello la capacidad de reparto de tensiones. Por causas similares, en las obras de carreteras también es frecuente la presencia de deterioros sobre las pequeñas obras de paso o en las aproximaciones a los estribos de los puentes.



Figura 1a. Hundimiento de calzada y acera provocados por una ejecución inadecuada de los rellenos



Figura 1b. Socavón bajo la acera provocado por una ejecución inadecuada de los rellenos de las zanjas

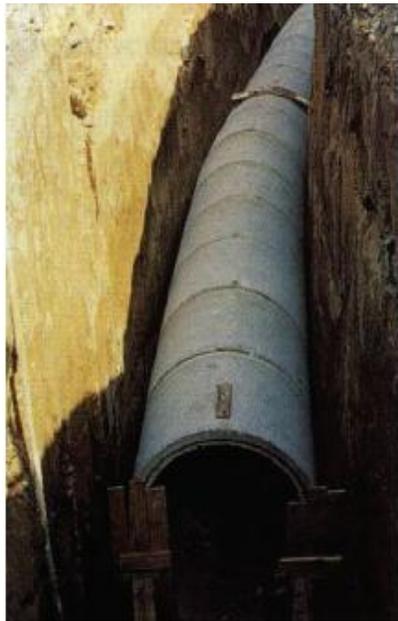


Figura 2. Espacio insuficiente entre la conducción y las paredes de la zanja, haciendo imposible la compactación por debajo del plano medio



Figura 3. Relleno de una zanja con material sin seleccionar



Figura 4. Socavón en la calzada

Las consecuencias de todo lo anterior se traducen en:

- Un acortamiento notable de la vida de la obra;
- Posibles roturas súbitas por formación de huecos bajo el firme (Figura 4);
- Asientos a corto o largo plazo, pudiendo ser necesario un refuerzo o incluso a una reconstrucción;
- Irregularidades superficiales (Figura 5), que van a conllevar una conducción menos segura, unos costes de operación más elevados, por la disminución de la velocidad, así como posibles daños a los vehículos y mayor consumo de combustible por frenadas y aceleraciones;
- Elevados y continuos costes de conservación y mayor afección a los usuarios;
- Otros problemas como el mal aspecto del pavimento o la posibilidad de formación de charcos, con peligro de salpicaduras.

Las soluciones a los problemas anteriores pueden ser de dos clases. La primera pasa por un cumplimiento escrupuloso del

Artículo 332 "Rellenos localizados" del Pliego de prescripciones técnicas generales PG-3 del Ministerio de Fomento. La segunda solución, mucho más eficaz desde un punto de vista técnico, económico y medioambiental, consiste en el empleo de morteros u hormigones:

- **Líquidos y autocompactantes**, de forma que penetren con facilidad en todos los espacios a rellenar, y que no precisen ninguna compactación posterior;
- **De baja resistencia**, a fin de disminuir costes, poder ser reexcavados con facilidad, en caso necesario y no crear zonas con una rigidez excesiva, en comparación con las adyacentes.

Esta última condición, junto con la de ser autonivelantes, es una de las características básicas de este tipo de rellenos. Por ello suelen conocerse también como materiales de baja resistencia controlada (MBRC). El rango de resistencias a compresión en el que suelen moverse oscila en general entre 0,3 y 8 MPa.

En muchas ocasiones interesa además que estos rellenos tengan también una densidad reducida. Ello se consigue mediante la incorporación de aireantes a la mezcla o bien



Figura 5. Bache en la calzada originado por un relleno incorrecto

de agentes espumantes. Con ello se obtienen los llamados materiales de baja resistencia y baja densidad controladas (MBRC - BD). En el caso de utilizarse un espumante, es usual denominarlos morteros u hormigones espumados (foamed concretes). En ambos casos, la gran proporción de aire resultante (superior al 25% y pudiendo llegar a ser mucho más elevada) es la principal responsable de los bajos valores de densidad y resistencia y, por otra parte, las burbujas actúan asimismo como "rodamientos", incrementando ampliamente la trabajabilidad. Es frecuente, por ello, que se empleen incluso en aplicaciones en las que la densidad no es un factor determinante.

## 2. Contribución a la sostenibilidad

### 2.1. Ventajas medioambientales

En la mayoría de los casos, será suficiente el empleo de morteros u hormigones con resistencias características a compresión a 28 días comprendidas entre 0,3 y 8 MPa, representando por tanto estos materiales una posibilidad importante para el empleo de áridos reciclados, tanto gruesos como finos, procedentes, no sólo de la demolición de hormigón estructural, sino también de residuos de construcción y demolición (RCD's), con altos contenidos en material cerámico, vidrio u otros.

Estos hormigones pueden fabricarse in situ mediante hormigoneras móviles en el caso de suministro en seco (ensacado o a granel), o en centrales de hormigón preparado, transportándose a obra en el volumen necesario mediante camiones hormigonera. Por tanto, la gran disponibilidad, el fácil suministro a obra y la posibilidad de empleo de materiales locales, redundan en un menor coste de transporte y en una menor afección de éste al medioambiente, lo que supone una clara ventaja medioambiental.

Además, permiten la utilización de cementos con un alto contenido de adición, que, como en el caso de las escorias siderúrgicas y las cenizas volantes, son subproductos de otras industrias.

### 2.2. Ventajas técnicas

La elevada trabajabilidad y baja resistencia les proporcionan una serie de ventajas técnicas que a continuación se citan:

- **Puesta en obra cómoda y sin complicaciones.** Pueden colocarse mediante canaleta (Figura 6), bomba, cinta o cubilote, no necesitando, al ser de elevada consistencia, de vibración externa para su puesta en obra, rellenando con facilidad todos los huecos, cavidades laterales y zonas de difícil acceso y evitando la generación de ruidos producidos por los equipos de vibración, lo cual es importante, sobre todo en zonas urbanas.
- **No sufren asentamientos.** En los MBRC no se crean huecos durante su puesta en obra ni tampoco asientan o se producen roderas al paso de las cargas.
- **Pueden ser excavados fácilmente,** debido a su baja resistencia, mediante métodos manuales.
- **Probabilidad mucho más reducida de aparición de socavones.** Los MBRC son menos permeables y más resistentes a la erosión que los rellenos granulares.
- **Gran versatilidad.** Las fórmulas de trabajo pueden adaptarse a las necesidades concretas de la obra, modificando la resistencia a compresión, la consistencia, los tiempos de fraguado y la densidad, entre otros.
- **Pueden ejecutarse en cualquier época del año.** Si en el fondo de la zanja o hueco hay agua acumulada, ésta es desplazada por el MBRC, reduciendo la necesidad de bombas de achique.
- **Aumentan la seguridad de los operarios.** Éstos no necesitan penetrar en las zanjas para extender o compactar los materiales de relleno.
- **Se disminuye la cantidad de maquinaria para la puesta en obra,** al no precisarse palas cargadoras, rodillos, pisonos, etc.
- **No es necesaria la formación de acopios.** En las obras urbanas no siempre es posible tener cierta cantidad del material acopiado. Con los MBRC, al no ocuparse tanto espacio en las aceras, se mejora la seguridad de los peatones.



Figura 6. Relleno de una zanja con MBRC mediante vertido directo desde camión. A la derecha se aprecia el MBRC alcanzando la cota inferior

- **Garantías de homogeneidad mucho mayores** que las de los rellenos granulares (incluso los ejecutados correctamente), por la naturaleza de los materiales utilizados, el menor número de operaciones y la independencia del grado de compactación alcanzado.
- **Requieren menos controles.** No es necesario comprobar la densidad alcanzada en cada una de las tongadas.
- **Menores tiempos de ejecución** y apertura más rápida al tráfico.
- **Resistencia y durabilidad.** La capacidad de soporte y rigidez de los MBRC es superior a la de los rellenos granulares bien compactados.
- **Su aspecto es muy diferente al del terreno circundante,** con lo que se disminuye la probabilidad de una rotura accidental en el caso de una excavación posterior.

### 2.3. Ventajas económicas

Dada su resistencia y durabilidad, la vida útil de los MBRC es mayor que la de los rellenos granulares, siendo además muy reducidos los costes de conservación y explotación durante dicho periodo. No ocurre así con los rellenos granulares ejecutados de manera incorrecta, que van a conllevar elevados y continuos costes de conservación e incluso de reconstrucción, produciendo por tanto una mayor afección a los usuarios.

Otras ventajas económicas derivadas del uso de los MBRC son las siguientes:

- **Reducen los costes de excavación.** Las zanjas pueden ser más estrechas, al no requerir un sobrecancho para acomodar los equipos de compactación. Por otra parte, en el caso de calas en firmes en servicio no es necesario realizar cortes suplementarios en los mismos si se producen desplomes



Figura 7. Con el empleo de MBRC no es preciso volver a recortar los bordes de la cala, en caso de desplomes laterales



Figura 8. Relleno de una zanja estrecha para una canalización de gas natural

de las paredes laterales de las zanjas (Figura 7). Como caso límite puede mencionarse su utilización en zanjas de 12 a 15 cm de anchura (Figura 8) para el alojamiento de conducciones de polietileno de 4 cm de diámetro de la red de gas natural;

- **Posibilidad de empleo de conducciones de menor resistencia**, tanto por la menor anchura de las zanjas como por el mayor factor de apoyo de los MBRC. Con ello se disminuye la carga sobre la tubería;
- **El coste del material**. Debido a su baja resistencia, los MBRC pueden competir con el coste de un relleno granular puesto en obra (incluyendo en éste la maquinaria de extendido y compactación, así como los medios auxiliares necesarios), considerando que los rellenos cumplen todas las exigencias, tanto de calidad de los materiales como de densidad de cada tongada, controles necesarios para ello, etc.

### 3. Propiedades de los MBRC

Los MBRC pueden considerarse un híbrido entre los suelos y los hormigones. Su fabricación y puesta en obra son similares a la de estos últimos, mientras que sus propiedades en servicio se asemejan más a las de un suelo.

#### 3.1. Propiedades en estado plástico

##### 3.1.1. Trabajabilidad

Como ya se ha mencionado, se trata quizás de la mayor ventaja que ofrecen estos materiales. Son mezclas cuya fluidez permite rellenar cualquier hueco y se compactan por sí solas, sin requerir la intervención de otros equipos.

Hay que tener en cuenta, no obstante, que por su fluidez los MBRC ejercen una presión hidrostática. Ello, en ocasiones, conlleva el tener que trabajar por tongadas, las cuales se dejan endurecer antes de colocar la siguiente, por ejemplo, si se está trabajando entre encofrados, o si puede haber peligro de que se produzca flotación de tuberías.

Existen diferentes métodos para evaluar la fluidez o trabajabilidad de los MBRC.

Si se emplea el cono de Abrams (Figura 9) puede establecerse la siguiente clasificación:

- mezclas de fluidez baja: asentamiento < 15 cm;
- mezclas de fluidez media: asentamiento entre 15 y 20 cm;
- mezclas de fluidez alta: asentamiento > 20 cm.

Si se utilizan MBRC autocompactantes, la clasificación puede basarse en el Anejo 17 de la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08.



Figura 9. Medida de la consistencia de un mortero ligero con cono de Abrams

##### 3.1.2. Segregación

Se deben utilizar mezclas con un contenido adecuado de finos que garanticen la ausencia de segregación. También puede recurrirse al empleo de aditivos superplastificantes y cohesionantes.

##### 3.1.3. Asentamiento

Los MBRC experimentan una ligera reducción de volumen debida a pérdidas de aire ocluido y de agua. Esta última es absorbida por el terreno adyacente o bien asciende hasta la superficie del material en forma de agua de sangrado.

La mayor parte del asentamiento se produce durante la puesta en obra del material. Su valor depende fundamentalmente de la cantidad de agua libre eliminada, y suele oscilar entre el 1 y el 2% de la altura total de MBRC.

##### 3.1.4. Plazo de endurecimiento

Se entiende como tal el tiempo transcurrido desde la fabricación de la mezcla hasta que ésta pueda soportar el peso de una persona.

Normalmente suele oscilar entre 3 y 5 horas, aunque en ocasiones puede llegar a reducirse a 1 hora.

##### 3.1.5. Bombeabilidad

Los MBRC pueden ser bombeados empleando equipos convencionales, para acceder, por ejemplo, a emplazamientos de difícil acceso. La dosificación de la mezcla tiene en estos casos una importancia fundamental, como ocurre con los hormigones bombeados.

## 3.2. Propiedades en servicio

### 3.2.1. Resistencia y capacidad de soporte

La capacidad de soporte de un MBRC está muy relacionada con su resistencia mecánica. Un material con una resistencia a compresión entre 0,3 y 0,7 MPa tiene una capacidad de soporte similar a la de un suelo granular bien compactado.

Como ya se ha mencionado, en los MBRC debe en general controlarse que su resistencia no alcance un valor excesivo, a fin de permitir que pueda ser reexcavado en caso necesario.

### 3.2.2. Densidad in situ

Suele variar entre 1100 y 2300 kg/m<sup>3</sup>. Para obtener densidades bajas se deben utilizar los aditivos espumantes que permitan ocluir cantidades de aire superiores al 25%

### 3.2.3. Asentamiento

Al contrario que en los rellenos granulares, los MBRC no experimentan asentamientos una vez que han endurecido. Esto ha podido comprobarse con medidas realizadas a posteriori en obra.

### 3.2.4. Aislamiento térmico-Conductividad

Los MBRC no son en general buenos aislantes térmicos. La conductividad desciende al ir disminuyendo la densidad. En este sentido, los hormigones y morteros espumados tienen buenas propiedades aislantes, y son muy recomendables en algunas aplicaciones en las que interese esta cualidad, como pueden ser las capas de formación de pendientes en cubiertas.

En otras ocasiones puede buscarse el efecto contrario, como ocurre por ejemplo en los rellenos rodeando cables de energía eléctrica. En estos casos conviene ir a mezclas de alta densidad y muy baja porosidad.

### 3.2.5. Permeabilidad

La permeabilidad de la mayoría de los MBRC excavables es similar a la de los rellenos granulares bien compactados. Los valores típicos del coeficiente de permeabilidad suelen oscilar entre 10-4 y 10-5 cm/seg.

En las mezclas de mayor resistencia y contenidos más elevados de finos dicho coeficiente puede descender hasta 10-7 cm/seg.

Por el contrario, la permeabilidad aumenta al disminuir tanto la dotación de conglomerante como la fracción de árido pasando por el tamiz de 80 µm.



Figura 10. Excavación a mano de un MBRC

### 3.2.6. Retracción y agrietamiento

Tanto la retracción como el agrietamiento resultante no afectan prácticamente el comportamiento de los MBRC.

Los valores del acortamiento por retracción de los mismos son muy reducidos, oscilando en general entre 0,02 y 0,05%.

### 3.2.7. Excavabilidad

Se trata evidentemente de una característica de gran interés en muchas obras, pensando sobre todo en futuras reparaciones o renovaciones de servicios. Como es lógico, depende en gran medida de la resistencia alcanzada.

En general se considera que con valores no superando los 0,7 MPa es posible una excavación manual (Figura 10), y que hasta 2 MPa puede emplearse una mini retroexcavadora.

No obstante, la excavabilidad del material se ve también muy afectada por el tipo de material utilizado. Las mezclas con árido grueso son difíciles de excavar a mano, incluso con bajas resistencias.

Es conveniente, por tanto, prever una dotación de conglomerante acorde con la resistencia a alcanzar, y realizar, si se considera conveniente, determinaciones de la misma a edades avanzadas.

Para reducir las resistencias, puede recurrirse a una disminución del contenido de conglomerante, o bien el incremento de la cantidad de aditivo espumante.

## 4. Aplicaciones

En general, la principal aplicación de los MBRC es como relleno en vez de un suelo o material granular. Dado que no necesitan compactación y pueden formularse para obtener mezclas muy fluidas, son los materiales más convenientes en obras en las que la extensión y sobre todo la adecuada compactación del relleno pueda presentar dificultades. Por otra parte, los materiales de baja resistencia y baja densidad controlada (MBRC-BD) pueden emplearse como rellenos ligeros en emplazamientos en los que se deba evitar un aumento del peso propio, como por ejemplo en azoteas. En estas últimas los MBRC-BD presentan además la ventaja de sus excelentes características aislantes frente al calor.

Algunas de estas aplicaciones son:

- **rellenos no estructurales:** como los de zanjas, pequeñas obras de fábrica (Figura 11) y trasdós de muros o de estribos de puentes (Figura 12). Como ya se ha mencionado en varias ocasiones, los MBRC no precisan ser compactados, por lo que pueden reducirse las dimensiones de la excavación. Hay que destacar además que incluso en los rellenos granulares bien compactados y extendidos por tongadas de espesor adecuado es difícil conseguir la uniformidad que se consigue con los MBRC.

Al realizar los rellenos de trasdós de muros de contención o de estribos de obras de fábrica hay que tener en cuenta las presiones que ejerce el MBRC en estado fresco. En ocasiones, puede ser aconsejable una ejecución por tongadas, no extendiendo cada una de ellas hasta que la anterior haya endurecido.

- **rellenos estructurales:** los MBRC pueden utilizarse como capa de regularización bajo cimentaciones. Las resistencias a compresión pueden variar entre 1 y 8 MPa, dependiendo de las exigencias de la obra. En el caso de suelos débiles

distribuyen las cargas de la estructura sobre una superficie mayor. En excavaciones con una terminación irregular o de características heterogéneas proporcionan una superficie de apoyo uniforme y bien nivelada.

- **rellenos sobre estructuras subterráneas** (aparcamientos, etc.) ejecutadas a cielo abierto, hasta alcanzar la cota inferior del firme.
- **capas de firmes:** los MBRC pueden emplearse en subbases, e incluso como bases para tráfico ligero. En vías urbanas, el MBRC puede verse directamente entre los bordillos previamente colocados. El espesor a colocar depende, entre otros factores, de la resistencia del material. Para un rango de variación de las resistencias a compresión comprendido entre 2 y 8 MPa, puede estimarse que los coeficientes estructurales de los MBRC oscilan entre 0,16 y 0,28; es decir, superiores a los de las bases y subbases granulares y similares a los de las capas tratadas con cemento.
- **camas de conducciones:** los MBRC constituyen un excelente material para todo tipo de conducciones (agua, saneamiento, gas, teléfono, energía eléctrica, etc.), bien como cama de apoyo de las mismas o bien para envolverlas completamente. Debido a su fluidez, los MBRC rellenan los huecos bajo los tubos, proporcionando un soporte uniforme. Por otra parte, es posible diseñar las mezclas para obtener, una vez endurecidas, una buena resistencia a la erosión, lo que dificulta el que se produzcan socavaciones.

Los MBRC pueden emplearse también para envolver por completo las conducciones y protegerlas de posibles daños en caso de una reexcavación futura. El apreciable cambio de características del MBRC frente a las del suelo o relleno granular circundante sirve para alertar de la presencia de la conducción. Este efecto puede reforzarse empleando colorantes en la mezcla, o al menos en la parte más cercana al conducto.

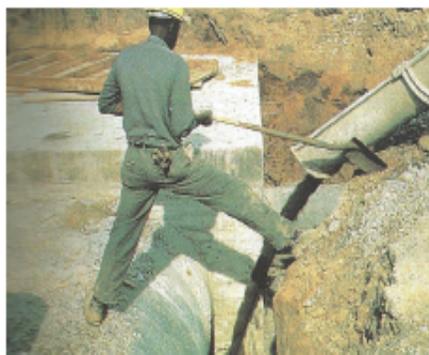


Figura 11. Relleno de una pequeña obra de fábrica



Figura 12. Relleno de un trasdós de estribo

- **control de erosión:** los MBRC presentan una resistencia a la erosión superior a la de otros tipos de rellenos granulares o suelos. Esto se ha podido comprobar tanto a través de su comportamiento in situ como mediante ensayos de laboratorio, exponiéndolos a la acción de flujos de agua con velocidades del orden de 0,5 m/s.

Haciendo uso de esta propiedad, los MBRC se emplean también en aplicaciones tales como:

- cementación de bloques de escollera para protección de taludes o de cuencos amortiguadores de presas;
  - relleno de "colchones" de geotextil para protección de taludes en canales, zonas costeras, etc.;
  - inyecciones para relleno de huecos bajo firmes, aceras, losas de transición en aproximaciones a puentes, etc.
- **relleno de obras subterráneas fuera de servicio:** los MBRC se utilizan para rellenar antiguas alcantarillas o galerías subterráneas abandonadas, así como pozos de acceso a las mismas. Cuando el MBRC deba desplazarse en una longitud elevada (en algunas obras se han alcanzado recorridos superando los 90 m) es conveniente mantener un ritmo de suministro del mismo lo más uniforme posible.

Otra posibilidad es el relleno de sótanos o depósitos fuera de servicio (Figura 13), vertiendo el material a través de alguna abertura (puerta, registro, etc.), o bien directamente, en el caso de piscinas.

Los materiales de baja resistencia y baja densidad controladas (MBRC-BD) pueden ser utilizados en todas las aplicaciones anteriores, así como en otras más específicas en las que interesa reducir el peso propio y/o conseguir un buen aislamiento, como ocurre en:

- **azoteas y cubiertas,** para formación de pendientes o como capa aislante (Figura 14);
- **tableros de puentes,** como relleno de zanjas para alojamiento de servicios (Figura 15);
- **trasdoses de muros de contención o de estribos de obras de fábrica,** para reducir las presiones sobre los mismos;
- **estructuras subterráneas situadas a poca profundidad.**



Figura 13. Relleno de un depósito subterráneo fuera de servicio

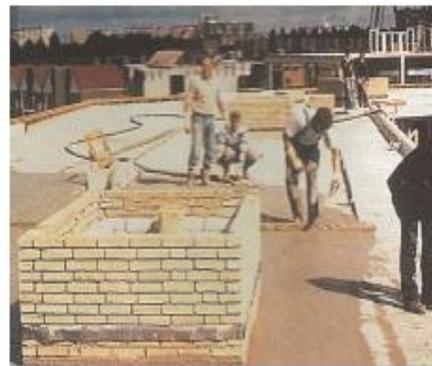


Figura 14. Formación de una capa aislante con mortero ligero en una cubierta

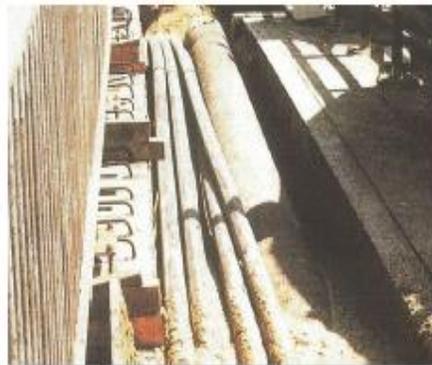


Figura 15. Relleno de una zanja para el alojamiento de canalizaciones en el tablero de un puente

## 5. Materiales y fórmulas de trabajo

### 5.1. Materiales

Las mezclas típicas de MBRC están compuestas por cemento, agua, árido fino y aditivo aireante o espumante, en los casos en los que se quiera obtener una resistencia o densidad más elevadas, árido grueso. Con objeto de aumentar la trabajabilidad y las resistencias a largo plazo, y de reducir la exudación, la permeabilidad y la retracción de las mezclas resultantes, es recomendable el empleo de cementos con un contenido elevado de adiciones puzolánicas (cenizas volantes, puzolanas y escorias).

Los áridos son normalmente el componente principal de los MBRC, por lo que pueden tener un marcado influjo tanto en su resistencia como en su trabajabilidad. Suelen emplearse áridos cumpliendo los requisitos para morteros u hormigones, por su mayor disponibilidad. Asimismo pueden utilizarse suelos procedentes de la excavación de las propias zanjas, siempre que no contengan demasiados finos arcillosos. En este sentido, podría decirse que un suelo apto para ser estabilizado con cemento suele ser también adecuado para su uso en MBRC. Finalmente, en la literatura técnica se menciona también el empleo de algunos materiales residuales, como áridos procedentes de RCD's. No obstante, los áridos no convencionales deben utilizarse con precaución, vigilando que no contengan sustancias perjudiciales (por ejemplo, materia orgánica o sulfatos, etc.) y realizando ensayos previos.

### 5.2. Fórmulas de trabajo

No existe un método específico para la obtención de las fórmulas de trabajo de los MBRC. Los empleados con morteros y hormigones convencionales no suelen ser muy fiables en estos casos, por lo que lo habitual es proceder por tanteos. Los contenidos de conglomerante suelen oscilar entre los 100 y 300 kg/m<sup>3</sup>, mientras que los de agua varían entre 200 y 350 l/m<sup>3</sup>.

Si se utilizan morteros como MBRC, la cantidad de arena es del orden de 1500 a 1800 kg/m<sup>3</sup>. Los hormigones con árido grueso son menos habituales como MBRC que los morteros. En caso de emplearse, la relación ponderal árido grueso/árido fino varía en general entre 1 y 1,4, con un contenido total de áridos del orden de 1900 - 2100 kg/m<sup>3</sup>.

## 6. Ejecución

En general, la puesta en obra de los MBRC (con la excepción de los de baja densidad obtenidos mediante adición de un

hormigones convencionales.

Para el amasado de los componentes puede recurrirse a varios métodos: plantas de hormigón discontinuas, camiones hormigonera y amasadoras continuas. Algunas lechadas pueden necesitar un tiempo de mezcla superior a 15 minutos.

El transporte se realiza habitualmente en camiones hormigonera. Salvo en el caso de distancias cortas, durante dicho transporte la mezcla debe agitarse, a fin de que los componentes sólidos permanezcan en suspensión.

Dependiendo del tipo de obra y de la accesibilidad de la misma, el MBRC puede ser colocado mediante caída directa desde la canaleta del camión hormigonera, o bien utilizando cintas, cubilotes o bombas.

Los MBRC, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, no requieren vibración ni compactación, consolidándose por efecto de su propio peso.

En el relleno de zanjas los MBRC se suelen verter en continuo. No obstante, en el caso de zanjas largas que se rellenen por etapas o de construcciones con los extremos abiertos (como antiguas galerías fuera de servicio) debe preverse algún tipo de contención (sacos de arena, mezclas de MBRC más rígidas, encofrados, etc.).

Si se emplean para formar camas de tuberías o para envolverlas, debe evitarse la flotación de las mismas. Ello puede obligar en ocasiones bien a un hormigonado por tongadas que se dejan endurecer hasta el vertido de la siguiente, o bien a la disposición de algún tipo de anclaje. Por otra parte, deberá procurarse que en las primeras fases de la extensión no se produzcan acumulaciones laterales de material junto a la tubería que pudiesen dar lugar al vuelco de la misma. Para ello el vertido se realizará, a ser posible, sobre la clave

El hormigonado por tongadas también puede ser conveniente en rellenos de trasdoses de muros de contención, así como en el caso de una tubería flexible, a fin de proporcionar un cierto soporte lateral e impedir que se concentre sobre los mismos una parte importante de la presión ejercida por el material fresco.

Los MBRC se han vertido bajo el agua sin que se hayan apreciado segregaciones importantes. En espacios confinados, los MBRC desplazan el agua hasta la superficie, de donde puede ser eliminada fácilmente.

Debido a su consistencia muy fluida, los MBRC pueden recorrer libremente grandes distancias, rellenando huecos y cavidades situados en emplazamientos de difícil acceso. Dichos huecos

no precisan ser limpiados previamente, porque los MBRC encapsulan todos los elementos sueltos.

## 7. Control de calidad

El nivel de control, como es lógico, depende de la experiencia que se tenga con el material y de la importancia de la obra. Puede ir desde un simple control visual hasta la realización de ensayos sistemáticos de consistencia, densidad y resistencia.

Dependiendo del tipo de obra y de las exigencias de colocación, la consistencia puede variar entre líquida, fluida y blanda. Para la determinación de la misma, puede emplearse el cono de Abrams (Norma UNE 83-313). También podemos encontrarnos con MBRC autocompactantes, en cuyo caso pueden ser de aplicación los ensayos recogidos en el Anejo 17 de la Instrucción de Hormigón EHE-08, para determinar la autocompactabilidad de la mezcla.

En lo que se refiere a la resistencia mecánica, hay que recordar que en algunas obras, como en las de rellenos estructurales bajo cimentaciones, puede ser necesario especificar un valor mínimo. En este sentido, la Instrucción de Hormigón EHE-08, en su Anejo 18 de Hormigones de uso no estructural, exige para los hormigones de limpieza una dosificación mínima de cemento de 150 kg/m<sup>3</sup>.

Por el contrario, en obras que sean susceptibles de una reexcavación posterior, hay que fijar una resistencia máxima. En general se mide la resistencia a compresión de probetas, en cuyo caso hay que adoptar precauciones al removerlas de los moldes, por las bajas resistencias de estas mezclas. También pueden realizarse otras evaluaciones indirectas in situ, mediante penetrómetros o placas de carga.

En cuanto a la densidad, se puede determinar mediante la realización de probetas convencionales de hormigón.

## 8. Conclusiones

Los hormigones y morteros de baja resistencia controlada son una solución muy experimentada y con numerosas ventajas para el relleno de zanjas, trasdoses de muros y otras aplicaciones. Por ello, constituyen una alternativa que debería

ser siempre considerada en este tipo de obras, teniendo en cuenta que el superior coste inicial de los MBRC frente al de un relleno granular, en el caso de haberlo, queda de sobra compensado por los beneficios que se derivan de su uso, siendo, en la mayor parte de los casos, los costes globales menores.

Entre estos beneficios se pueden destacar la facilidad de puesta en obra, la no necesidad de compactación, la homogeneidad y sobre todo la seguridad que supone su comportamiento a largo plazo, con ausencia de asentamientos y deformaciones del firme, que a su vez se traducen en molestias para los usuarios y en costosas reparaciones.

Las circunstancias particulares de cada caso determinarán asimismo cual de los tres tipos de materiales es el más adecuado.

## 9. Referencias

- López Perona, R.: "El hormigón celular: características técnicas y aplicaciones". Carreteras nº 77, mayo-julio 1995
- Jofré, C.: "Rellenos con morteros y hormigones fluidos de baja resistencia controlada". Revista Rutas 1998
- American Concrete Institute (ACI): "Guide for Cast-in-Place Low-Density Concrete". ACI 523.1R-92 Report. Incluido en el ACI Manual of Concrete Practice 1993.
- American Concrete Institute (ACI): "Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less Than 2500 psi". ACI 523.3R-93 Report. Incluido en el ACI Manual of Concrete Practice 1994.
- American Concrete Institute (ACI): "Controlled Low Strength Materials (CLSM)". ACI 229R-99
- Utility Cut Restoration. Problems and a New Policy". Metropolitan Toronto Roads and Traffic Department, abril 1985
- Ayuntamiento de Madrid: "Pliego de Condiciones Técnicas Generales 1988". Madrid, 1988



Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones

C/ José Abascal, 53 - 1º

28003 Madrid

T.: +34 91 442 93 11

tecnologia@ieca.es

**[www.ieca.es](http://www.ieca.es)**