



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

***ESTUDIO PARA ANALIZAR EL LADRILLO SUELO-CEMENTO
O ECOLÓGICO EN CUENCA***

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil
con énfasis en Gerencia de Construcciones**

Autor:
Byron Patricio Piedra Vargas

Director:
Juan Pablo Riquetti Morales

Cuenca, Ecuador
2014

DEDICATORIA

A mis padres:

Efraín Piedra y Yolanda Vargas que me dieron apoyo para iniciar y culminar mi
carrera;

A mis hermanos Eliana, Lorena y Joffre por su comprensión y ayuda.

AGRADECIMIENTO

A la universidad del Azuay por haber dado la oportunidad de realizar mis estudios y culminar con éxito mi trabajo de grado.

A los maestros y maestras de la universidad por sus orientaciones y enseñanzas que me abrieron el camino para el mejoramiento de mi vida profesional.

Al Ingeniero Juan Pablo Riquetti Morales por su invaluable tutoría para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al decano de la facultad de ciencia y tecnología por facilitarme el laboratorio para aplicar las pruebas y ensayos correspondientes.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras	vii
Resumen	ix
Abstract.....	x
Introducción.....	1

CAPÍTULO 1: MARCO METODOLOGICO

1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Justificación.....	4

CAPÍTULO 2: DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS SUELO-CEMENTO

2.1. Normas generales de dosificación de suelo-cemento.....	6
2.1.1. Identificación y clasificación de suelos	7
2.1.2. Elección de calidad de cemento para el ensayo de compactación	7
2.1.3. Ensayo de la compactación de suelo-cemento.....	8
2.1.4. Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de durabilidad.....	9
2.1.5. Moldeado de probetas de ensayo.....	10
2.1.6. Ensayo de durabilidad por mojado y secado.....	11
2.1.7. Interpretación de resultados y fijación de las cantidades de cemento	12
2.2. Norma simplificada de dosificación de suelo-cemento.....	13
2.2.1. Ensayos preliminares.....	15
2.2.2. Descripción de la dosificación	15
2.2.2.1. Descripción de dosificación por el Método A:	15
2.2.2.2. Descripción de dosificación por el Método B:	18

CAPÍTULO 3: MÉTODOS DE ENSAYO

3.1 Identificación y clasificación del suelo	22
3.1.1 Determinación del peso específico de los granos del suelo.....	22
3.1.2 Determinación de la absorción de los granos de suelo.....	22
3.1.3 Determinación de límite líquido de suelo.....	22
3.1.4 Determinación del límite de plasticidad del suelo	23

3.1.5 Análisis granulométrico del suelo	23
3.1.6. Clasificación del suelo AASHTO	25
3.2. Ensayo de compactación de suelo-cemento (SC-1).....	26
3.2.1. Objetivo.....	27
3.2.2. Equipo	27
3.2.3. Método	29
3.2.4 Cálculos	30
3.2.5 Resultados.....	30
3.3 Moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento (método SC-2).....	36
3.3.1 Objetivos	36
3.3.2 Equipo	36
3.3.3 Método	37
3.3.4 Cálculos	38
3.3.5 Resultados.....	38
3.4. Ensayo de durabilidad por mojado y secado (método SC-3)	40
3.4.1 Objetivos.....	40
3.4.2 Equipo	40
3.4.3 Probetas de ensayo	40
3.4.4 Ensayo	40
3.4.5 Cálculos	41
3.4.6 Resultados.....	42
3.5 Ensayo de absorción de humedad (SC-4)	42
3.5.1 Objetivos.....	42
3.5.2 Equipo	43
3.5.3 Preparación de ensayo.....	43
3.5.4 Ensayo	43
3.5.5 Cálculos	43
3.5.6 resultados	43
3.6 Ensayo a compresión de probeta de ensayo de suelo cemento (SC-5).....	44
3.6.1 Objetivos.....	44
3.6.2 Equipo	44
3.6.3 Probetas De Ensayo	44
3.6.4 Ensayo	45
3.6.5 Resultados.....	45

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE PRUEBAS Y ENSAYOS

4.1 Análisis de la resistencia a compresión a los 7 días.....	48
4.2 Análisis de la resistencia a compresión a los 28 días	48

4.3 Análisis de precios unitarios	49
4.4 Resultados de la investigación	52
4.5 Especificaciones técnicas.....	53
Conclusiones y recomendaciones	55
Bibliografía	57
Anexo.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad de cemento para el ensayo de compactación	7
Tabla 2 Cantidad de cemento medio requerido por los suelos arenosos no orgánicos	8
Tabla 3 Cantidad de cemento medio requerido por suelos limosos y arcillosos.....	8
Tabla 4 Humedad inicial de las muestras	16
Tabla 5 Compactación utilizando el 6 % de cemento y adicionando el 2 % de agua..	18
Tabla 6 Compactacion utilizando el 8 % de cemento y adicionando el 3 % de agua	19
Tabla 7 Compactacion utilizando el 10 % de cemento y adicionando el 3 % de agua	33
Tabla 8 Resultados	25
Tabla 9 Verificación de resultados del moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento.....	48
Tabla 10 Verificación de resultados del ensayo de durabilidad por mojado y secado.	50
Tabla 11 Verificación de resultados del ensayo de absorción de humedad..	52
Tabla 12 Resultados del ensayo a compresión de probeta a los 7 días	53
Tabla 13 Resultados del ensayo a compresión de probeta a los 28 días	55
Tabla 14 Resultados del ensayo a compresión de ladrillo panelón	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ábaco para transformación de cantidad de cemento en peso a cantidad de cemento en volumen.....	14
Figura 2 Método A, peso específico seco máximo aparente estimado.....	16
Figura 3 Método A, cantidad de cemento en peso indicado.....	17
Figura 4 Método A, resistencia a compresión mínima admisible de probetas de ensayo, a los 7 días	17
Figura 5 Método B, peso específico seco máximo aparente estimado,cantidad de cemento en peso (%)	19
Figura 6 Método B, cantidad de cemento en peso.	20
Figura 7 Método B, resistencia a la compresión mínima admisible de las probetas de ensayo, a los 7 días.....	21
Figura 8 Método A de la norma simplificada, peso específico.	26
Figura 9 Método A de la norma simplificada, cantidad de cemento.....	27
Figura 10 Dimensiones de molde y martillo mecánico.	28
Figura 11 Curva de compactación utilizando el 6 % de cemento y adicionando el 2% de agua.	32
Figura 12 Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos.	32
Figura 13 Curva de compactación utilizando el 8 % de cemento y adicionando el 3% de agua	33
Figura 14 Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos.	34
Figura 15 Curva de compactación utilizando el 10 % de cemento y adicionando el 3% de agua.	35
Figura 16 Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos.	35
Figura 17 Método A resistencia a compresión de probetas de ensayo, a los 7días	46

RESUMEN**ESTUDIO PARA ANALIZAR EL LADRILLO SUELO-CEMENTO O ECOLÓGICO
EN CUENCA**

Para el sector de la construcción, el abaratar los costos de los materiales, es una gran preocupación, tal el caso de los ladrillos; este trabajo de grado describe los ensayos de dosificación de mezclas suelo-cemento y, detalla un procedimiento técnico de producción de ladrillos ecológicos, resistentes, simples y económicos; para ello, se utilizó, el método descriptivo que expone claramente las acciones llevadas a cabo como es la realización de los ensayos para elaborar ladrillos suelo-cemento siguiendo los lineamientos respectivos con lo que se logró desarrollar un procedimiento general de producción adecuado y se demostró que, este tipo de ladrillo, es una opción beneficiosa para los constructores porque, no contamina al medio ambiente y su resistencia es superior a los existentes; con este trabajo se determinó que el costo y la resistencia del ladrillo tipo suelo-cemento, es más barato, con respecto a los existentes en el mercado.

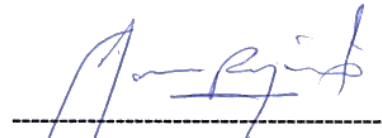
PALABRAS CLAVES: suelo-cemento, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, granulometría, absorción de granos, compactación, dosificación, durabilidad.



Ing. Paúl Cornelio Cordero Díaz
DIRECTOR DE ESCUELA.



Byron Patricio Piedra Vargas
AUTOR.



Ing. Juan Pablo Riquetti Morales
DIRECTOR DE TESINA

Handwritten signature
17-03-14

ABSTRACT

STUDY TO ANALYZE THE SOIL-CEMENT OR ECOLOGICAL BRICK IN CUENCA

Lowering the cost of materials is a major concern for the construction sector, as is the case of bricks. This graduation work describes dosage trials of soil-cement mixtures and details the technical production process of ecological, resistant, simple and inexpensive bricks. To achieve this, we used the descriptive method which clearly outlines the actions taken, such as conducting trials to produce soil-cement bricks, following the respective outlines to be able to develop a general method suitable for production and demonstrate which type of brick is the best option for builders because this does not pollute the environment and its resistance is greater than the existing ones. This work enabled to determine that the cost and strength of the soil-cement brick type is cheaper compared to those already in the market.

Keywords: Soil-Cement, Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index, Grain Size, Grain Absorption, Compaction, Dosage, Durability.

Ing. Paúl Cornelio Cordero Díaz
SCHOOL DIRECTOR

Ing. Juan Pablo Riquetti Morales
THESIS DIRECTOR

Byron Patricio Piedra Vargas
AUTHOR



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Piedra Vargas Byron Patricio

Trabajo de Grado

Ing. Juan Pablo Riquetti Morales

Marzo 2014

ESTUDIO PARA ANALIZAR EL LADRILLO SUELO-CEMENTO O ECOLÓGICO EN CUENCA

INTRODUCCIÓN

La producción de suelo-cemento plantea una técnica bien conocida para los profesionales y operarios capacitados en la producción de componentes para la construcción de viviendas sobre la base de tierra cruda; sin embargo, sus características sociales, productivas y ambientales, parecen haber quedado en el olvido del colectivo social debido a que algunos productores y/o comerciantes, a la hora de definir planes oficiales de viviendas, no consideran viable esta alternativa para los trabajos de construcción.

La monografía que se pone a consideración, contempla realizar los estudios necesarios para obtener la dosificación de los ladrillos suelo-cemento intentando demostrar que es una alternativa eficiente, económica y sustentable, con respecto al ladrillo panelón existente en el mercado.

Con este estudio, se trata de analizar en Cuenca el ladrillo suelo-cemento tomando en cuenta los beneficios que brindará, tanto en el ámbito económico, ecológico y en cuanto a su resistencia; es de señalar que al respecto, hay informes de resultados obtenidos en países latinoamericanos en donde se ha demostrado que este tipo de ladrillo es de buena calidad ya que los sistemas constructivos son simples y la inversión en equipamiento es mínima.

Por otro lado, se puede prescindir de mano de obra especializada, lo que permitirá la participación de la comunidad en la producción de estos ladrillos; además, el

aprovechamiento de materiales como el suelo, que es un factor decisivo a la hora de evaluar costos.

El objetivo general de la monografía es “Determinar el costo y la resistencia del ladrillo suelo-cemento obtenido en los ensayos y comparar los resultados obtenidos con los ladrillos existentes en el mercado”.

Para la realización de la monografía se puso en práctica una metodología de tipo demostrativo-descriptivo-explicativo que posibilitará visualizar la investigación en dos etapas:

- La primera, considerando los componentes del suelo y la relación cemento-suelo óptima para obtener ladrillos fabricados manualmente, con adecuadas propiedades físicas y mecánicas.
- La segunda, en la que se investiga experimentalmente el análisis tanto económico como en la resistencia del ladrillo suelo-cemento.

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1 Planteamiento del problema

Se observa que la producción de ladrillos, en la ciudad de Cuenca, se la realiza de manera artesanal, por lo que existen una gran contaminación al medio ambiente y, además, algunas deficiencias en las características del ladrillo que se vende en la actualidad tales como: diversidad en las medidas de cada unidad, resistencias bajas, falta de uniformidad, fisuras, que constituyen un gran inconveniente en el momento de construir; se debe, igualmente mencionar, que existe una demanda potencial del producto pero que no puede ser cubierta por la falta de implementación de producción en serie de este tipo de ladrillo.

En un estudio realizado por la Comisión de Gestión Ambiental de la Municipalidad de Cuenca (2012), se determinó que la polución derivada de la fabricación de ladrillos ocupa el segundo lugar de contaminación, después del tránsito vehicular; cabe señalar que en el cantón Cuenca, hay 499 ladrilleras artesanales y 50 semimecanizadas, lo que en conjunto, emanan 353 toneladas de material particulado por año (se ha calculado que, el tránsito vehicular, emana 381 toneladas de este material).

En el contexto de la contaminación ambiental, el hollín y monóxido de carbono son los principales contaminantes como resultado de esta actividad productiva de los ladrillos; el problema radica en el mal uso de los hornos artesanales y el tipo de combustión (leña, madera, aserrín, viruta, llantas y otros materiales) que se usa para quemar la arcilla.

De acuerdo a la Cámara de Construcción de Cuenca, en una entrevista realizada a su presidente, Ing. Diego Monsalve, por la revista Estrategia, en la entidad se tramitaron y se otorgaron, en el año 2011, alrededor de 1 702 permisos de construcción en el área urbana originando, de esta manera, 1 137 539 metros cuadrados de construcción; para el área rural se entregaron 468 permisos, que dieron como resultado un total de 110 528 metros cuadrados de construcción.

En el año 2012, por información obtenida en la revista Boletín Técnico, se han otorgado 1 582 permisos de construcción en el área urbana con un total de 1 001 577 metros cuadrados de construcción; para el área rural se otorgaron 472 permisos, que dieron un resultado un total de 131 706 metros cuadrados de construcción.

Según estudios y análisis realizados en la ciudad de Cuenca por el Colegio de Arquitectos (2009) y el INEC (2010) se tiene que, el 80 % de las viviendas son construidas con ladrillo, que el promedio de ladrillos utilizados en una construcción normal es de 4 800 ladrillos, aproximadamente, para un total de 120 m² de paredes.

Consecuentemente, el problema radica en la gran demanda de ladrillo que existe en el medio y a nivel nacional como efecto de necesidades de vivienda, al mismo tiempo, esta demanda de ladrillo implica, por un lado la destrucción del suelo que es utilizado para su elaboración y por otro, la contaminación que genera su cocimiento en los hornos artesanales.

1.2 Objetivos

General:

Determinar el costo y la resistencia del ladrillo suelo-cemento obtenido en los ensayos y comparar los resultados obtenidos con los ladrillos existentes en el mercado.

Específicos:

- Emplear la tierra cruda para elaborar los ladrillos, con la condición de que no provenga de la capa fértil del suelo, para evitar el daño ecológico.
- Ejecutar los ensayos correspondientes siguiendo una normativa de dosificación de mezclas de suelo-cemento de forma correcta.
- Desarrollar un procedimiento general de producción de ladrillos ecológicos, resistentes, simples y económicos

1.3 Justificación

Ante los problemas generados por el uso del actual tipo de ladrillo, es apremiante buscar una nueva alternativa de producción que, por una parte, satisfaga las necesidades de demanda de ladrillo en el mercado de la construcción y, por otro lado, evite o, por lo menos, disminuya la contaminación ambiental.

La construcción con tierra, por lo general, siempre ha representado, un gran potencial de desarrollo, especialmente en la producción de viviendas de interés social, por lo que resulta relevante actualizar, perfeccionar y proponer nuevos desarrollos en esta tecnología tradicional, aparentemente humilde, pero a la vez compleja y de gran interés por su innegable dimensión social, económica y política.

Desde esta perspectiva, el uso de la tierra -materia prima abundante, económica y reciclable como ninguna otra- constituye, particularmente en el Ecuador y en Cuenca, una alternativa eficaz para proveer de viviendas dignas a amplios sectores de la población, hoy carentes de techo; el uso del suelo-cemento como insumo básico, destaca una de las posibilidades de la construcción con tierra para la producción de edificios y viviendas.

El aprovechamiento de materiales como el suelo y el cemento, son factores de gran importancia a la hora de evaluar costos, de allí que surge la denominación de “ladrillos ecológicos” que son considerados como una opción válida a la hora de construir viviendas.

Los ladrillos ecológicos se denominan de esta manera porque están hechos de materiales alternativos, en este caso suelo-cemento, que permiten reducir los gastos de energía y materia prima que requieren los ladrillos convencionales.

La protección del medio ambiente, también es una necesidad que está despertando interés en todos los sectores, tal es así que en el momento de construir una vivienda se puede contar con las propiedades de los ladrillos ecológicos, que están elaborados de suelo-cemento o suelo-cal.

Hay que considerar que los ladrillos convencionales dañan el medio ambiente porque utilizan leña y otros materiales especialmente para su cocimiento; uno de los grandes beneficios de los ladrillos considerados ecológicos es que pueden regular el ambiente de la vivienda.

Por este motivo, una de estas alternativas es la de analizar el tipo de ladrillo suelo-cemento tomando en cuenta los beneficios que dará, tanto en el ámbito económico, ecológico y en su resistencia. Los resultados obtenidos en países latinoamericanos han demostrado una buena calidad y desempeño, los sistemas constructivos son simples y la inversión en equipamiento es mínima.

CAPITULO II

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS SUELO-CEMENTO

2.1. Normas generales de dosificación de suelo-cemento

El suelo-cemento es el resultado de una mezcla de suelo pulverizado con determinadas cantidades de cemento y agua que se compactan y curan, para obtener densidades altas y, para que se produzca un endurecimiento más efectivo; de esta forma, se obtiene un nuevo material resistente a los esfuerzos de compresión prácticamente impermeable termo aislante y estable en el tiempo.

En esta mezcla, la determinación de la adecuada cantidad de cemento se basa en el hecho de que suelos mezclados con pequeñas cantidades de cemento, estando debidamente compactados y curados, mejoran sensiblemente sus características originales de resistencia mecánica.

La acción de las cargas y la variación de condiciones climáticas podrían, después de cierto tiempo, disgregar la mezcla endurecida, lo que haría que perdiese el grado de estabilización alcanzado, transformándose en una simple mezcla compactada de suelo con cemento, de calidad baja e indefinida.

Por esta razón, la Norma General de Dosificación procura determinar la cantidad de cemento capaz de garantizar una mezcla con permanencia de sus características mejoradas; también, con este objetivo, fueron idealizados los ensayos de durabilidad por mojado y secado.

La dosificación de esta mezcla se la hace experimentalmente puesto que diferentes cantidades de cemento son usadas en los ensayos y el análisis de resultados indica el menor de ellos que es capaz de estabilizar el suelo sobre el concepto del suelo-cemento.

La Norma General de Dosificación (2002) de suelo-cemento puede ser resumida en las siguientes operaciones:

1. Identificación y clasificación del suelo;
2. Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de compactación;

3. Ejecución del ensayo de compactación de suelo–cemento;
4. Elección de cantidades de cemento para el ensayo de durabilidad;
5. Formación de probetas de ensayo para ensayo de durabilidad;
6. Ejecución del ensayo de durabilidad por mojado y secado;
7. Elección de cantidad de cemento adecuado en función de los resultados del ensayo.

2.1.1. Identificación y clasificación de suelos

Al respecto, el Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2010), ha realizado los siguientes ensayos:

- a) Determinación del peso específico de los granos de suelo; (INEN 856)
- b) Determinación de absorción de los granos de grava; (INEN 856)
- c) Determinación de límite líquido de suelos; (INEN 691)
- d) Determinación del límite de plasticidad de suelos; (INEN 692)
- e) Análisis granulométrico de suelos. (INEN 1711)

En los ensayos de suelo–cemento, las diversas fracciones de suelo, en función de sus diámetros, son denominadas como sigue:

- a. Grava gruesa, partículas con diámetro de 4,8 mm a 76 mm;
- b. Grava fina, partículas con diámetro de 2,0 mm a 4,8 mm;
- c. Arena gruesa, partículas con diámetro de 0,42 mm a 2,0 mm;
- d. Arena fina, partículas con diámetro de 0,05 mm a 0,42 mm;
- e. Limo, partículas con diámetro equivalente de 0,005 mm a 0,05 mm;
- f. Arcilla, partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm.

Conocidas las características físicas del suelo, se pasa a su clasificación. En los ensayos de suelo–cemento y empleando la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO (2009) completando con la determinación del Índice de Grupo.

2.1.2. Elección de calidad de cemento para el ensayo de compactación

La determinación de la cantidad adecuada de cemento se fundamenta en el análisis del comportamiento de las probetas de ensayo con diferentes cantidades de cemento; en general, son ensayadas tres cantidades, diferenciando la cantidad mediante dos puntos porcentuales.

La mejor manera de fijar las cantidades de cemento para los ensayos es la comparación del suelo en estudio con otros ya ensayados, llevándose a consideración la granulometría, los índices de consistencia, el origen geológico, la coloración, la región de donde proviene y profundidad de la muestra.

Para suelos con los cuales no se tiene experiencia anterior, la Tabla 1 de la Norma General de Dosificación de suelo-cemento, elaborada por la Portland Cement Association- PCA (2004), indica la cantidad a ser adoptada en el ensayo de compactación

Tabla 1: Cantidad de cemento para el ensayo de compactación

Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

2.1.3. Ensayo de la compactación de suelo-cemento

El ensayo de compactación de suelo-cemento es análogo al método de Ensayo de Compactación de Suelos del INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), más ciertas peculiaridades del suelo-cemento e incluyendo la fracción de suelo que queda retenida en el tamiz de 4,8 mm.

Es este caso, para la preparación de la muestra, se sigue el mismo proceso del Ensayo de Compactación de la AASHTO T-99 (2009), sustituyéndose la parte de suelo retenida en el tamiz de 19 mm. Por un igual peso de material retenido en el tamiz de 4,8 mm, más lo que pasa en el de 19 mm.

2.1.4. Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de durabilidad

El ensayo de durabilidad es ejecutado con tres cantidades de cemento. Las cantidades pueden ser fijadas basándose en la experiencia anterior o por las Tablas 2 y 3 de las Normas de Dosificación de Suelo – cemento.

El ensayo de durabilidad podrá ser realizado con la cantidad indicada y con cantidades de 2 puntos porcentuales por encima y 2 por debajo de ésta. Se debe notar que los valores de estas tablas, son funciones de las características físicas de suelo, no se aplican a suelos superficiales, que posean materia orgánica potencialmente perjudicial a la hidratación del cemento.

Si se diera el caso, se puede prever un aumento de 2 a 4 puntos porcentuales en la cantidad de cemento (o un aditivo adecuado) para neutralizar los efectos de la materia orgánica que afectaría la hidratación del cemento.

Tabla 2: Cantidad de cemento medio requerido por suelos arenosos no orgánicos

Grava gruesa (%)	Limo + Arcilla (%)	Peso específico seco máximo aparente(Kg/m ³)					
		1680 a 1759	1760 a 1839	1840 a 1919	1920 a 1999	2000 a 2079	2080 o más
0 – 14	0 – 19	10	9	8	7	6	5
	20 – 39	9	8	7	7	5	5
	40 – 50	11	10	9	8	6	5
15 – 29	0 – 19	10	9	8	6	5	5
	20 – 39	9	8	7	6	6	5
	40 – 50	12	10	9	8	7	6
30 – 45	0 – 19	10	8	7	6	5	5
	20 – 39	11	9	8	7	6	5
	40 – 50	12	11	10	9	8	6

Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

Tabla 3: Cantidad de cemento medio requerido por suelos limosos y arcillosos

Índice de grupo de suelo	Limo (%)	Peso específico seco máximo aparente(Kg/m ³)						
		1440 a 1519	1520 a 1599	1600 a 1679	1680 a 1759	1760 a 1839	1840 a 1919	1920 o más
0 – 3	0 – 19	12	11	10	8	8	7	7
	20 – 39	12	11	10	9	8	8	7
	40 – 59	13	12	11	9	9	8	8
	60 o más	-	-	-	-	-	-	-
4 – 7	0 – 19	13	12	11	9	8	7	7
	20 – 39	13	12	11	10	9	8	8
	40 – 59	14	13	12	10	10	9	8
	60 o más	15	14	12	11	10	9	9
8 – 11	0 – 19	14	13	11	10	9	8	8
	20 – 39	15	14	11	10	9	9	9
	40 – 59	16	14	12	11	10	10	9
	60 o más	17	15	13	11	10	10	10
12 – 15	0 – 19	15	14	13	12	11	9	9
	20 – 39	16	15	13	12	11	10	10
	40 – 59	17	16	14	12	12	11	10
	60 o más	18	16	14	13	12	11	11
16 – 20	0 – 19	17	16	14	13	12	11	10
	20 – 39	18	17	15	14	13	11	11
	40 – 59	19	18	15	14	14	12	12
	60 o más	20	19	16	15	14	13	12

Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

2.1.5. Moldeado de probetas de ensayo

En esta operación, se cumplen con las siguientes acciones:

Preparación del material:

- a) Preparar una muestra de suelo conforme a lo descrito anteriormente en el ensayo de compactación.
- b) Pesar, con precisión de 1 g, una muestra representativa de suelo, con un peso aproximado de 2 500 g, se debe tomar en cuenta la consideración de la humedad del suelo, previamente determinada.
- c) Pesar, con precisión de 1 g, una cantidad de cemento que, con relación al peso seco de la muestra, mantenga la cantidad de cemento en peso deseado.
- d) Separar una cantidad de agua que, sumada al agua existente de la muestra de suelo, confiera a la mezcla una cantidad de humedad igual a la humedad óptima, determinada en el Ensayo de Compactación de Suelo – cemento, incrementada de 0,5 a 1,0 por ciento, conforme al ambiente, para la evaporación que normalmente ocurre durante el mezclado.

Moldeado:

- a) Adicionar cemento al suelo y mezclar hasta obtener una coloración uniforme.
- b) Adicionar a la mezcla la cantidad de agua determinada en la anterior sección y homogeneizar.
- c) Compactar la mezcla en el molde de la manera descrita anteriormente en el ensayo de compactación, con la precaución especial de escarificar las superficies de la primera y segunda capa antes de la colocación de las capas siguientes, de modo de remover los planos lisos formados por la compactación.
- d) Para la ocasión de la colocación de la segunda capa, retirar una muestra de cerca de 80 g para la determinación de la cantidad de humedad. Se pesa y se seca en estufa a una temperatura entre 105 °C y 110 °C, hasta obtener peso constante, hacer las determinaciones con una precisión de 0,01 g.
- e) Pesar el conjunto, con precisión de 1 g, y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. El peso obtenido será anotado como peso de la probeta de ensayo húmeda (M_h).
- f) Remover la probeta de ensayo del molde y colocarle una etiqueta de identificación.

- g) Colocar la probeta de ensayo en la cámara húmeda, donde debe permanecer hasta el día del ensayo, a una temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del aire encima de 90 %.

El moldeado de probetas de ensayo es simplemente la compactación de una mezcla de humedad óptima obtenida del ensayo de compactación. Siendo la energía de compactación la misma, las probetas de ensayo deberán llegar al peso específico seco máximo aparente.

Verificaciones:

- Cuando la humedad de moldeado difiera de la humedad óptima en más de 1 %, o cuando el peso específico seco aparente de la probeta de ensayo difiera del peso específico seco máximo aparente en más de 30 kg/m^3 , la probeta de ensayo debe ser rechazada.

2.1.6. Ensayo de durabilidad por mojado y secado

Esta operación implica que:

- a) Después de 7 días de curado en la cámara húmeda, las probetas de ensayo deben ser colocadas en la cámara de inmersión, donde permanecen durante 5 horas, y, a continuación, en una estufa a una temperatura de $71\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde deberán permanecer 42 horas.
- b) Al final de este periodo, las probetas de ensayo deben ser cepilladas. La escoba debe ser aplicada en el sentido de la generatriz de la probeta de ensayo y paralelamente a las bases, de manera de cubrir toda la superficie de la probeta de ensayo. Se dan 20 cepilladas verticales en la superficie lateral y 4 en las bases de la probeta de ensayo. El enfriamiento y la operación de cepillado deben durar máximo 1 hora.
- c) El procedimiento descrito en las líneas a y b constituyen un ciclo (48 horas) de mojado y secado. Se repiten estas operaciones durante 12 ciclos, incluido el primero
- d) Después de los 12 ciclos, colocar las probetas de ensayo en la estufa a una temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta obtención del peso constante, y determinar sus pesos secos (M).
- e) Los datos recolectados permitirán calcular la pérdida de peso de las probetas de ensayo

2.1.7. Interpretación de resultados y fijación de las cantidades de cemento

La cantidad final de cemento fijado de acuerdo con la Norma General de Dosificación resulta del conocimiento de los resultados de muchos ensayos realizados con varias cantidades de cemento, permitiendo la indicación de la mínima cantidad que confiera a la mezcla las características necesarias para un adecuado comportamiento de servicio.

Mediante la práctica, se conoce que el aumento de la cantidad de cemento ocasiona una reducción de pérdida de peso en los ensayos de durabilidad para bajas cantidades de cemento, el aumento provoca una considerable reducción en la pérdida, en cuanto que, para cantidades elevadas, el aumento de cemento provoca una pequeña disminución en la pérdida de peso.

Las recomendaciones son:

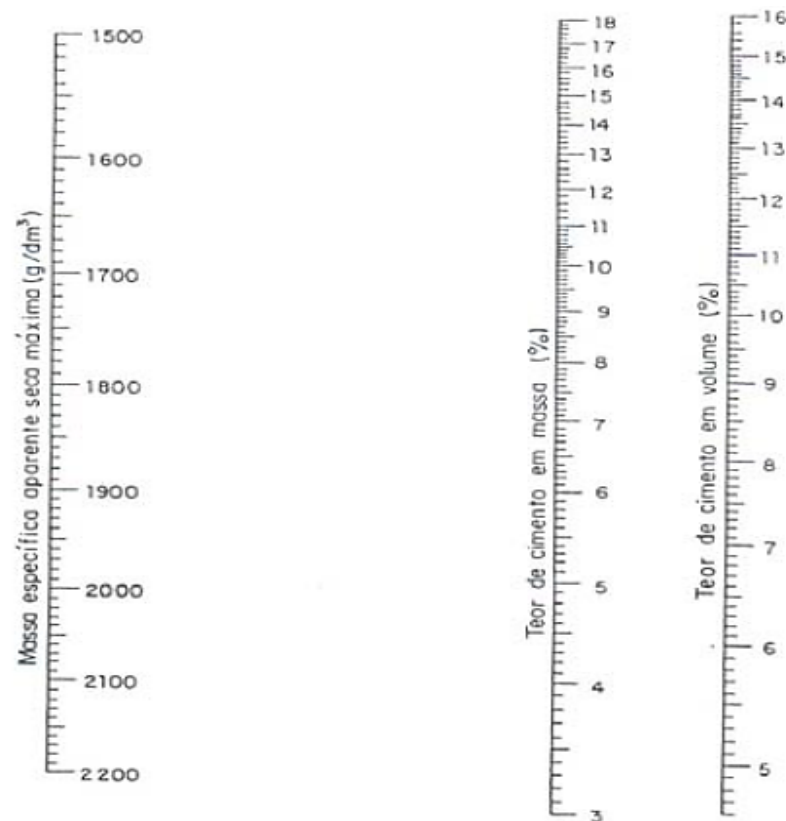
a) Será adoptada como cantidad de cemento en peso indicado, la menor de las cantidades con las cuales las probetas de ensayo ensayadas satisfagan el siguiente requisito: la pérdida de peso de las probetas de ensayo de suelo – cemento, sometidas al ensayo de durabilidad por mojado y secado, no deben ser superiores a los siguientes límites:

- Suelos A1, A2-4, A2-5 y A3 14 %
- Suelos A2-6, A2-7, A4 y A5 10 %
- Suelos A6 y A7 7 %

b) Es admisible hacer una interpolación de los resultados con el objeto de determinar la menor cantidad de cemento que satisfaga el requisito de la línea anterior; una extrapolación no es permitida.

La conversión puede ser hecha gráficamente, con el empleo de la Figura 1.

Figura 1: Ábaco para transformación de cantidad de cemento en peso a cantidad de cemento en volumen



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

2.2. Norma simplificada de dosificación de suelo-cemento

La dosificación de suelo-cemento, de acuerdo con la marcha de ensayos presentados por la denominada Norma General de Dosificación, presenta una desventaja práctica en el tiempo de duración de los ensayos y principalmente de los ensayos de durabilidad; consecuentemente, lo que se sugiere es procurar correlacionar los resultados de este ensayo con otro de más rápida ejecución, simplificando y disminuyendo el tiempo gastado en la dosificación.

La Portland Cement Association (2004), basada en la correlación estadística obtenida en los resultados de ensayos de durabilidad y resistencia a compresión simple a los 7 días con 2 438 suelos arenosos, presentó un método simplificado para la dosificación de suelo-cemento.

El fundamento de este método, comprobado por los ensayos realizados, es la constatación de que un suelo arenoso, con determinada granulometría y peso específico seco máximo aparente, requerirá, de acuerdo con el criterio de pérdida

de peso en el ensayo de durabilidad, la misma cantidad de cemento para este indicado, desde que alcance resistencia a compresión, a los 7 días, superior a un cierto valor mínimo establecido estadísticamente en la serie de ensayos de comparación realizada; el procedimiento resultante fue materializado en ábacos de fácil y directa utilización.

El uso del método se restringe a suelos que contengan un máximo de 50 % de partículas con diámetro equivalente inferior a 0,05 mm (limo y arcilla) y un máximo de 20 % de partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm (arcilla).

Para estos casos, la Norma Simplificada de Dosificación se divide en dos métodos distintos:

- Un suelo, en concomitancia con las exigencias en cuanto a las cantidades de arcilla y de limo más arcilla que no contenga partículas con tamaño superior a 4,8 mm, se usa el Método A (o Norma Simplificada A).
- Si contiene material de tamaño superior a 4,8 mm (o sea, sí hubiera material retenido en el tamiz No. 4), el procedimiento es el Método B (o Norma Simplificada B)

En resumen:

- a) La Norma Simplificada de Dosificación de suelo–cemento fija el modo por el cual se determina la cantidad de cemento adecuado para la estabilización del suelo, ensayando sobre la forma de suelo–cemento, en función de las características físicas del suelo y del resultado del ensayo a compresión axial a los 7 días;
- b) También es aplicable a suelos que satisfagan, al mismo tiempo, las siguientes condiciones:
 - Poseer un máximo de 50 % de material con diámetro equivalente inferior a 0,05 mm (limo más arcilla);
 - Poseer un máximo de 20 % de material con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm (arcilla);
- c) Dependiendo de la granulometría del suelo, dos métodos son empleados:
 - Método A – usando material que pasa el tamiz de 4,8 mm – este método será usado cuando toda la muestra original de suelo pase por el tamiz de 4,8 mm;
 - Método B – usando material que pasa el tamiz de 19 mm – este método será usado cuando parte de la muestra original del suelo sea retenido en el tamiz de 4,8 mm.

Independientemente del método en que se encuadre el suelo, la secuencia de dosificación consta de:

2.2.1. Ensayos preliminares

El Instituto Ecuatoriano de Normalización-INEN (2011), con respecto a la identificación y clasificación de suelos, ha realizado los siguientes:

1. Determinación del peso específico de los granos de suelo; (INEN 856)
2. Determinación de absorción de los granos de grava; (INEN 856)
3. Determinación de límite líquido de suelos; (INEN 691)
4. Determinación del límite de plasticidad de suelos; (INEN 692)
5. Análisis granulométrico de suelos; (INEN 1711)

En los ensayos de suelo–cemento, las diversas fracciones de suelo, en función de sus diámetros, son denominadas:

- a) Grava gruesa, partículas con diámetro de 4,8 mm a 76 mm;
- b) Grava fina, partículas con diámetro de 2,0 mm a 4,8 mm;
- c) Arena gruesa, partículas con diámetro de 0,42 mm a 2,0 mm;
- d) Arena fina, partículas con diámetro de 0,05 mm a 0,42 mm;
- e) Limo, partículas con diámetro equivalente de 0,005 mm a 0,05 mm;
- f) Arcilla, partículas con diámetro equivalente inferior a 0,005 mm.

Conocidas las características físicas del suelo, se pasa a su clasificación. En los ensayos de suelo–cemento y empleando la clasificación de la American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO (2009) completando con la determinación del Índice de Grupo.

2.2.2. Descripción de la dosificación

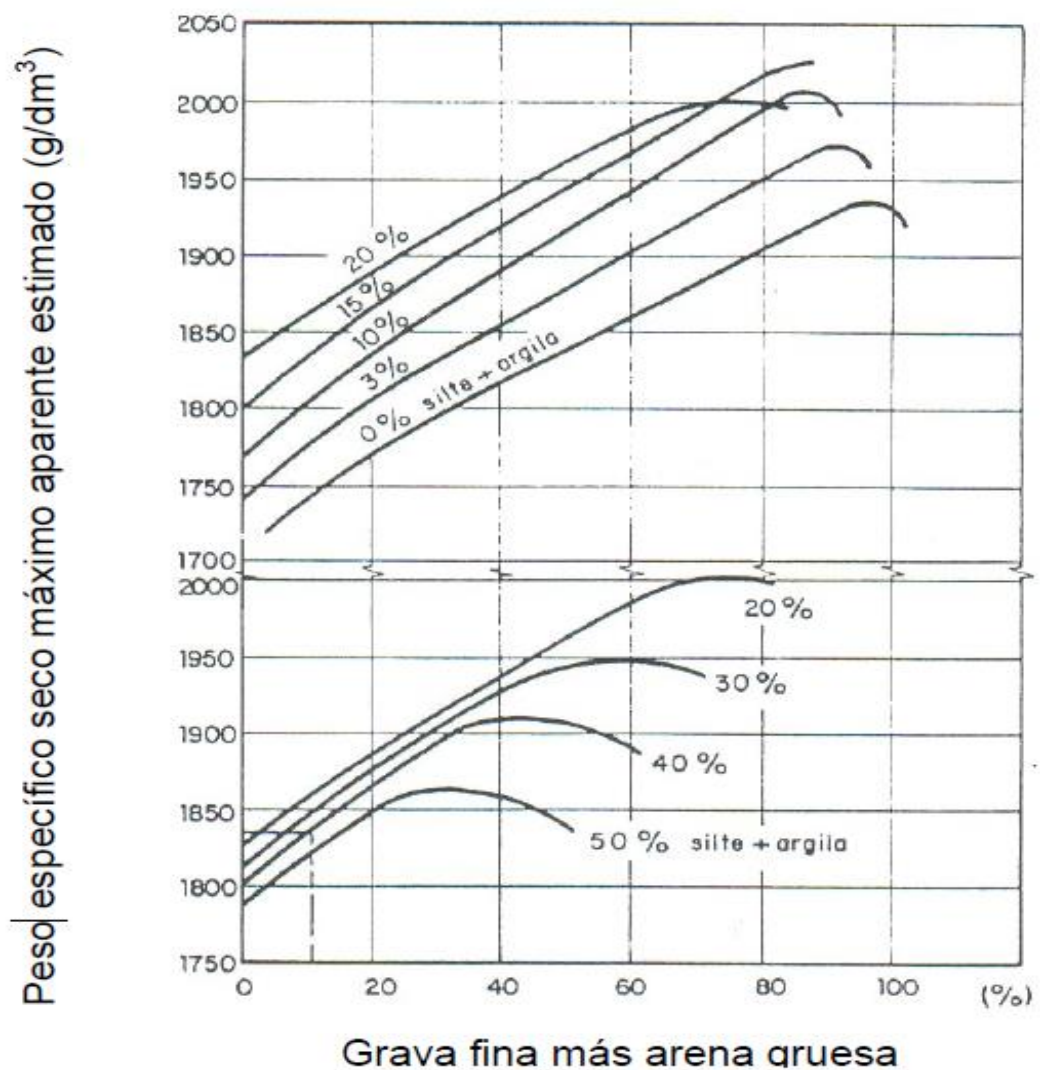
Para la dosificación del ladrillo suelo-cemento pueden haber dos métodos, dependiendo las características de los áridos los cuales son:

2.2.2.1. Descripción de dosificación por el Método A:

- a) Determinar, de acuerdo con el ensayo de compactación de suelo-cemento, el peso específico seco máximo aparente y la humedad óptima de mezcla de suelo y cemento; el ensayo será realizado con una cantidad de cemento obtenida del siguiente modo:

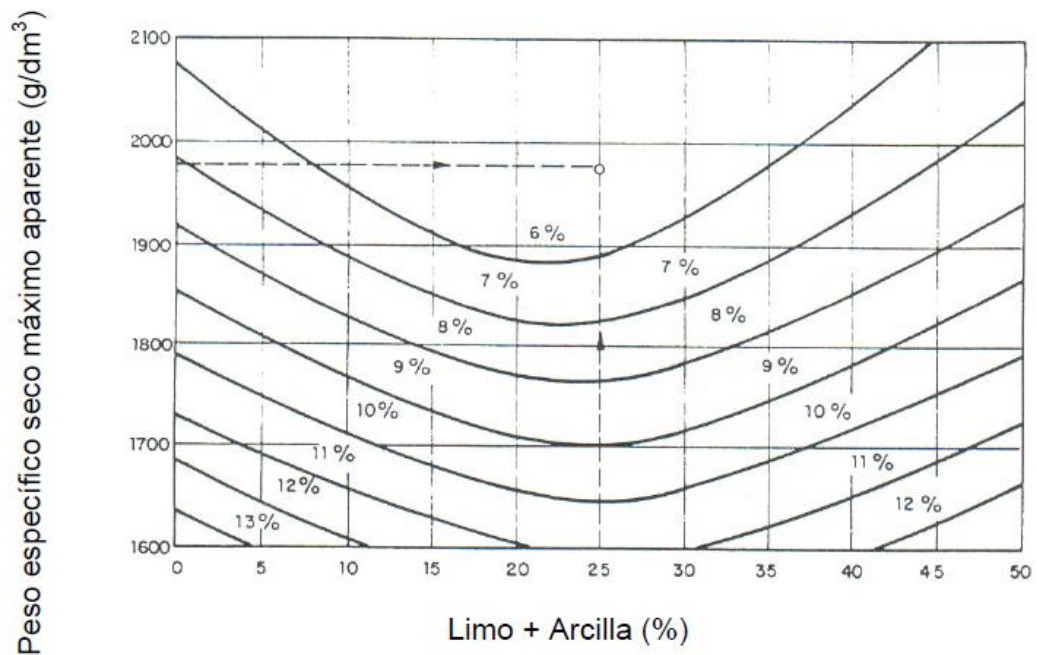
- Estimar el peso específico seco máximo aparente de la mezcla por medio de la Figura 2, en función del porcentaje de limo más arcilla y de grava fina más arena gruesa;
- Estimar la cantidad de cemento por medio de la Figura 3, en función del porcentaje de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente, obtenido de la Figura 2.

Figura 2: Método A, peso específico seco máximo aparente estimado



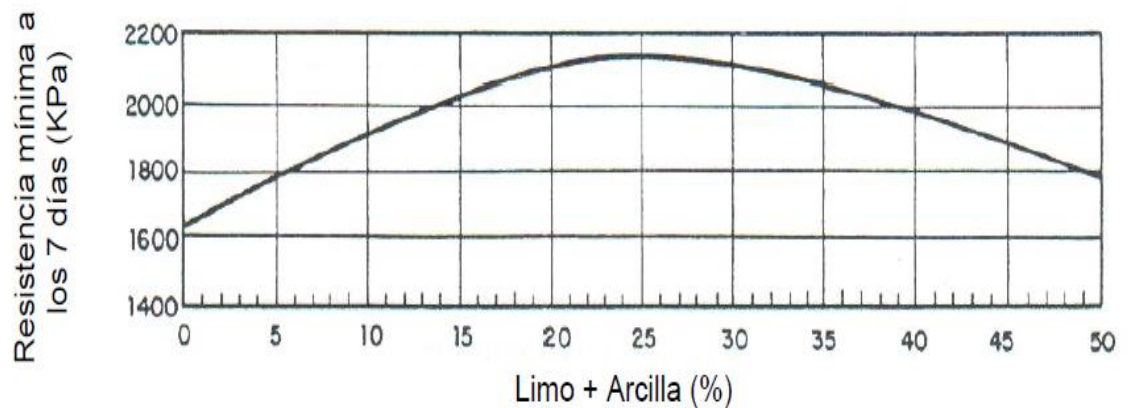
Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

Figura 3: Método A, cantidad de cemento en peso indicado



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

Figura 4: Método A, resistencia a compresión mínima admisible de probetas de ensayo, a los 7 días



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

- b) Obtener la cantidad de cemento indicado, usando la Figura 3, en función del porcentaje de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente, obtenido en el ensayo de compactación.
- c) Con la cantidad de cemento en peso indicado, moldear tres probetas de ensayo, de acuerdo con el moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento.

- d) Determinar la resistencia a la compresión de las probetas de ensayo, a los 7 días de cura, de acuerdo con el ensayo de compresión de probetas de ensayo de suelo-cemento.
- e) Verificar, en la Figura 4, en función del porcentaje de limo más arcilla de suelo, la resistencia media a compresión mínima admisible para la mezcla endurecida (a los 7 días).

Si la media de las resistencias obtenidas fuese superior a este mínimo, la cantidad indicada será adoptada. Pero siendo la resistencia media obtenida inferior a la mínima indicada por la Figura 4, la cantidad de cemento es, probablemente menor de lo que es conveniente para el suelo.

Son necesarios entonces nuevos ensayos, moldeándose dos probetas de ensayo, una con la cantidad indicada anteriormente en la Figura 3 y otro con la cantidad de cemento dos % encima.

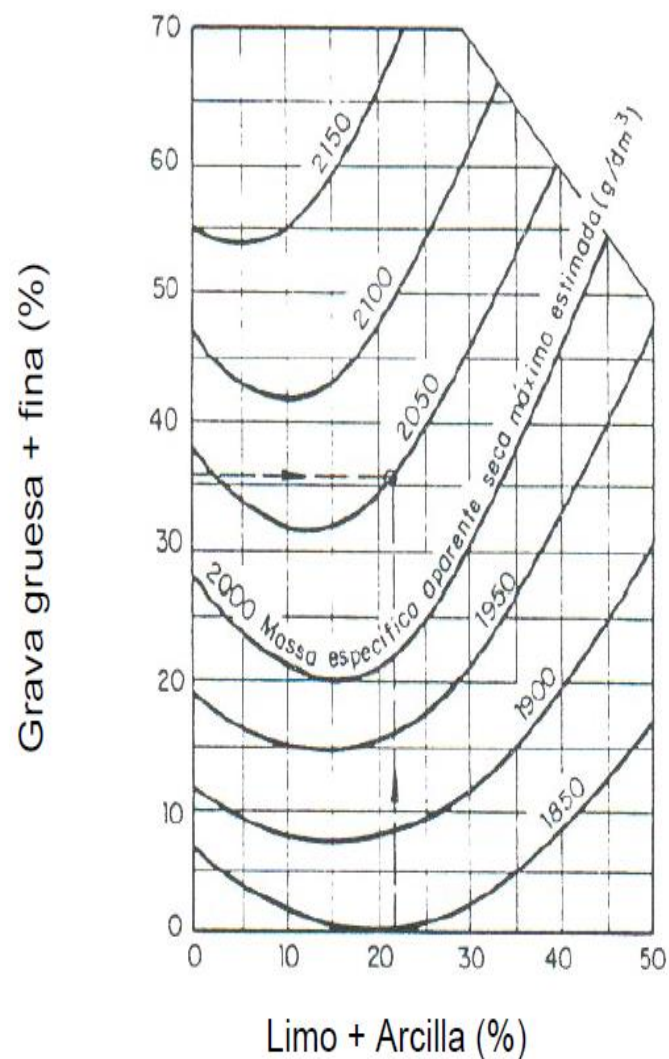
Estas probetas de ensayo serán sometidas al ensayo de durabilidad por mojado y secado; las pérdidas de peso por ellos sufridas permitirán determinar la cantidad de cemento adecuada, conforme a los criterios ya descritos en la Norma General de Dosificación.

La cantidad de cemento adecuado es finalmente convertido en cantidad de cemento en volumen, como indicación para las operaciones de campo.

2.2.2.2. Descripción de dosificación por el Método B:

- a) Determinar, de acuerdo con el Método SC-1, el peso específico seco máximo aparente y la humedad óptima de suelo – cemento. Este ensayo será realizado con una cantidad de cemento obtenido del siguiente modo:
 - Estimar el peso específico seco máximo aparente de la mezcla por medio de la Figura 8, en función de los porcentajes de limo más arcilla y de la grava fina y gruesa;
 - Estimar la cantidad de cemento por medio de la Figura 6, en función de los porcentajes de grava gruesa, de limo más arcilla y del peso específico seco máximo aparente obtenido de la Figura 5.

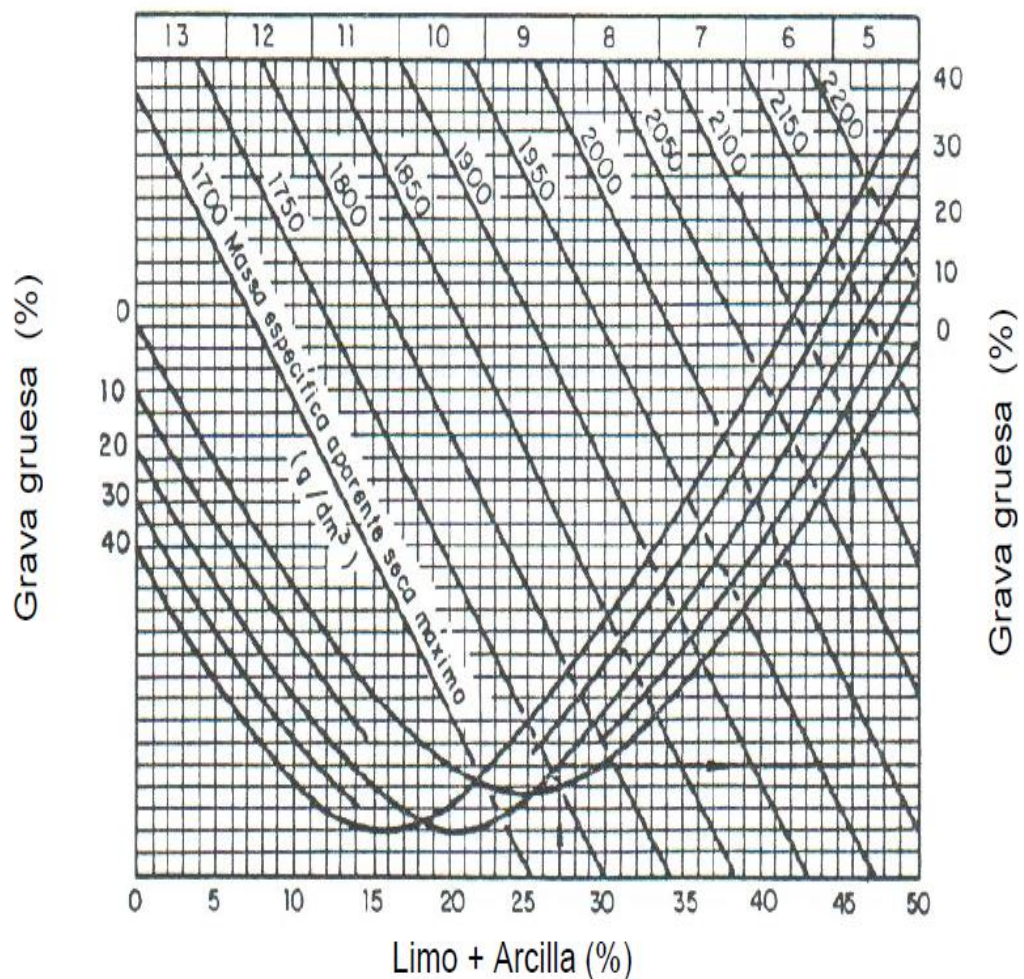
Figura 5: Método B, peso específico seco máximo aparente estimado
Cantidad de cemento en peso (%)



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

- b) Obtener la cantidad de cemento indicado, usando la Figura 6, en función de los % de grava gruesa, limo más arcilla y peso específico seco máximo aparente obtenido del ensayo de compactación.
- c) Con la cantidad de cemento indicada, moldear tres probetas de ensayo, de acuerdo con el moldeado de probetas de ensayo de suelo cemento.
- d) Determinar la resistencia media a compresión de las probetas de ensayo, de acuerdo con el ensayo de compresión de probetas de suelo-cemento.
- e) Determinar de la Figura 7, en función de los porcentajes de grava gruesa y de limo más arcilla, la resistencia media a la compresión mínima admisible para mezcla endurecida (a los 7 días).

Figura 6: Método B, cantidad de cemento en peso



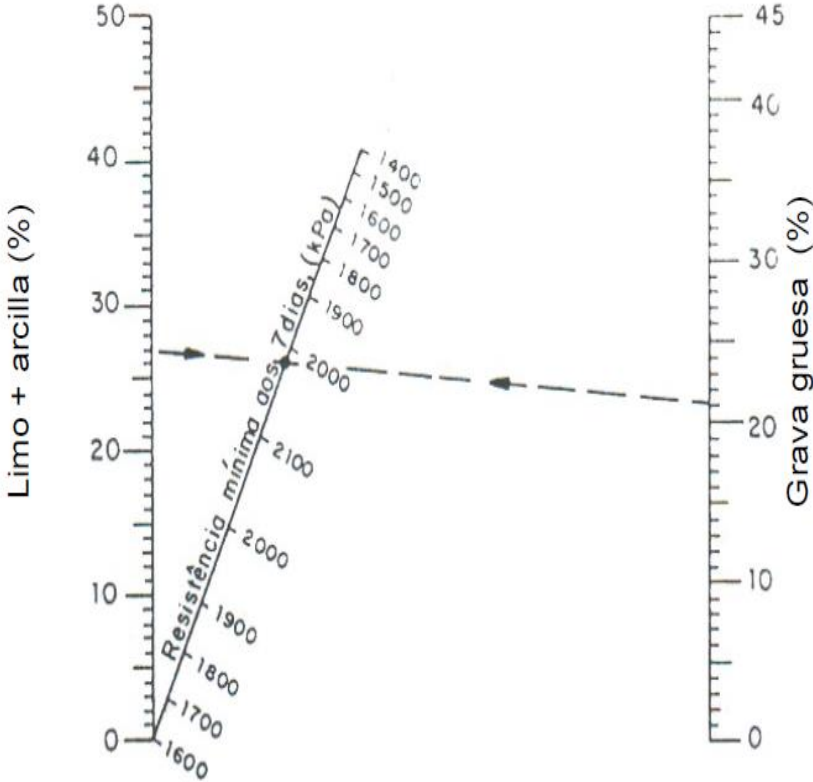
Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

- f) Si la media de las resistencias obtenidas fuese superior a ese mínimo, la cantidad indicada será adoptada, en caso de no ocurrir esto, son necesarios entonces nuevos ensayos, moldeándose dos probetas de ensayo, una con la cantidad indicada anteriormente en la Figura 6 y otro con la cantidad de cemento dos % encima.

Estas probetas de ensayo serán sometidas al ensayo de durabilidad por mojado y secado; las pérdidas de peso por ellos sufridas permitirán determinar la cantidad de cemento adecuada, conforme a los criterios ya descritos en la Norma General de Dosificación.

La cantidad de cemento adecuado es finalmente convertido en cantidad de cemento en volumen, como indicación para las operaciones de campo.

Figura 7: Método B, resistencia a la compresión mínima admisible de las probetas de ensayo, a los 7 días



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

CAPITULO III

MÉTODOS DE ENSAYO

En este capítulo se describen la identificación, clasificación y los métodos de ensayo directamente relacionados a las normas de dosificación de suelo– cemento, relativos a compactación, moldeado de probetas de ensayo cilíndricas, determinación de pérdida de peso por mojado y secado, absorción de humedad y resistencia a compresión simple.

3.1 Identificación y clasificación del suelo

El suelo natural fue obtenido en el sector de Yanuncay donde se observó que es un suelo arcilloso lo cual se optó por añadir un 55 % de arena medido en peso la cual tiene un módulo de finura de 2,6 para y así mejorar el suelo. Además, para poder clasificar se debe realizar los ensayos preliminares del mismo, tales como:

3.1.1 Determinación del peso específico de los granos del suelo

- Peso específico del suelo natural = $1\,926\text{ kg/m}^3$
- Peso específico de arena = $2\,462\text{ kg/m}^3$
- Peso específico de suelo más arena = $2\,172\text{ kg/m}^3$

3.1.2 Determinación de la absorción de los granos de suelo

- Absorción de los granos de suelo natural = 6,38 %
- Absorción de los granos de arena = 3,09 %
- Absorción de los granos del suelo más arena = 4,60 %

3.1.3 Determinación de límite líquido de suelo

- Límite líquido de suelo natural = 47,30 %
- Límite líquido de arena = No plástico
- Límite líquido del suelo más arena = No plástico

3.1.4 Determinación del límite de plasticidad del suelo

- Límite de plasticidad de suelo natural = 38,34 %
- Límite de plasticidad de arena = No plástico
- Límite de plasticidad del suelo más arena = No plástico

3.1.5 Análisis granulométrico del suelo

Se obtienen muestras del suelo natural, arena y la mezcla de las dos, para realizar el análisis granulométrico respectivo en el que se mostraran los siguientes cálculos:

Del suelo natural:

- Se obtiene la humedad promedio.

Número Muestras	Núm. Capsula	Peso de la capsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	115	29,87	109,65	90,25	32,13	32,15
	112	29,79	107,22	88,37	32,18	

- Se determina el peso seco.

Peso húmedo	500 g
Peso seco	378,35 g

- Se especifica la granulometría

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Peso retenido	% retenido	% que pasa
4	4,80	0,00	0,00	100,00
10	2,00	10,24	2,71	97,29
40	0,42	45,93	12,14	87,86
200	0,05	120,84	31,94	68,06

- Se establece el porcentaje de áridos según la norma descrito en el manual de dosificaciones de mezclas suelo-cemento

% de Áridos	
Grava gruesa	0,00
Grava fina	2,71
Arena gruesa	9,43
Arena fina	19,80
Arcilla + Limo	68,06

De la arena:

- Se obtiene la humedad promedio.

Número Muestras	Núm. Capsula	Peso de la capsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	115	29,87	162,21	159,07	2,43	2,45
	112	29,79	160,46	157,3	2,48	

- Se determina el peso seco

Peso húmedo	500 g
Peso seco	488,02 g

- Se especifica la granulometría

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Peso retenido	% retenido	% que pasa
4	4,80	0,00	0,00	100,00
10	2,00	130,02	27,94	72,06
40	0,42	310,20	66,65	33,35
200	0,05	373,25	80,20	19,80

- Se establece el porcentaje de áridos según la norma descrito en el manual de dosificaciones de mezclas suelo-cemento

% de Áridos	
Grava gruesa	0,00
Grava fina	48,97
Arena gruesa	41,60
Arena fina	8,40
Arcilla + Limo	1,03

Del suelo más Arena:

- Se obtiene la humedad promedio.

Número Muestras	Núm. Capsula	Peso de la capsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	115	29,87	162,21	153,05	7,44	7,43
	112	29,79	160,46	151,43	7,42	

- Se determina el peso seco de la muestra

Peso húmedo	500 g
Peso seco	465,42 g

- Se especifica la granulometría

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Peso retenido	% retenido	% que pasa
4	4,80	0,00	0,00	100,00
10	2,00	239,00	48,97	51,03
40	0,42	442,00	90,57	9,43
200	0,05	483,00	98,97	1,03

- Se establece el porcentaje de áridos según la norma descrito en el manual de dosificaciones de mezclas suelo-cemento

% de Áridos	
Grava gruesa	0,00
Grava fina	27,94
Arena gruesa	38,71
Arena fina	13,55
Arcilla + Limo	19,80

3.1.6. Clasificación del suelo AASHTO

Una vez determinados los ensayos preliminares del suelo, se clasifica el material, obteniendo los siguientes resultados:

CLASIFICACION DE SUELO AASHTO			
Muestra	Grupo	Tipología	calidad
Suelo natural	A5 (6)	Suelos limosos	Aceptable a mala
Arena	A1-b (0)	Fragmentos de piedra, grava y arena	Excelente a buena
Suelo + Arena	A1-b (0)	Fragmentos de piedra, grava y arena	Excelente a buena

3.2. Ensayo de compactación de suelo-cemento (SC-1)

Una vez determinado los ensayos preliminares del suelo, se puede determinar el método a utilizar y la cantidad de cemento requeridos para la dosificación del ladrillo; a su vez, de acuerdo a la granulometría obtenida del suelo más arena, se tomará el Método A de la norma simplificada, lo que implica, realizar lo siguiente:

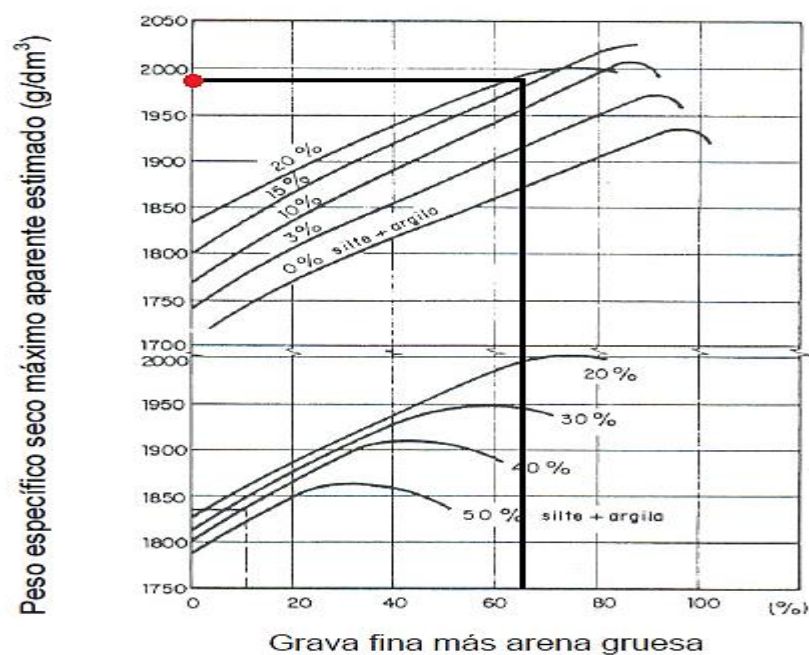
1. Se obtiene el peso específico seco máximo aparente estimado (Figura 2)

Datos

Grava fina más arena gruesa = 66,65 %

Arcilla y limo = 19,8 %

Figura 8: Método A de la norma simplificada, peso específico

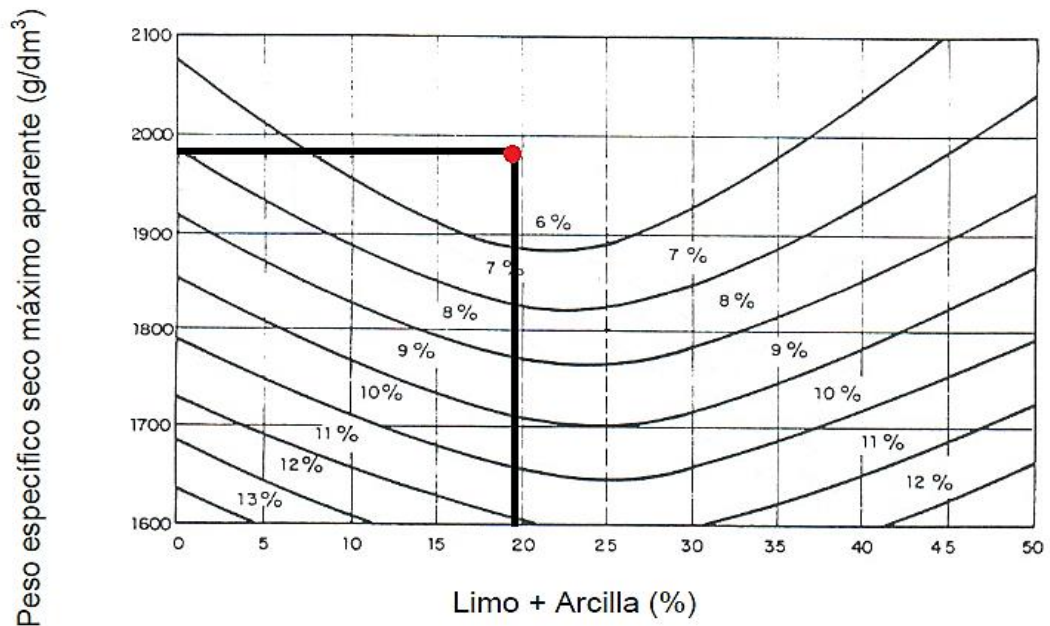


Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

De acuerdo a la Figura 8, el peso específico seco máximo aparente estimado es de 1985 g/dm^3

2. Con el peso específico seco máximo aparente estimado determinamos la cantidad de cemento mediante la Figura 3

Figura 9: Método A de la norma simplificada, cantidad de cemento



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

De acuerdo a la Figura 9 la cantidad de cemento a utilizar es 6 % pero para este ensayo también tomaremos el 8 % y 10 % de cemento para analizar las diferencias existentes y garantizar la resistencia a obtener.

3.2.1. Objetivo

Este método establece el modo por el cual se determina la correlación entre la cantidad de humedad y el peso específico seco máximo aparente de una mezcla de suelo y cemento, con una cantidad de cemento determinada, cuando es compactada conforme al proceso especificado.

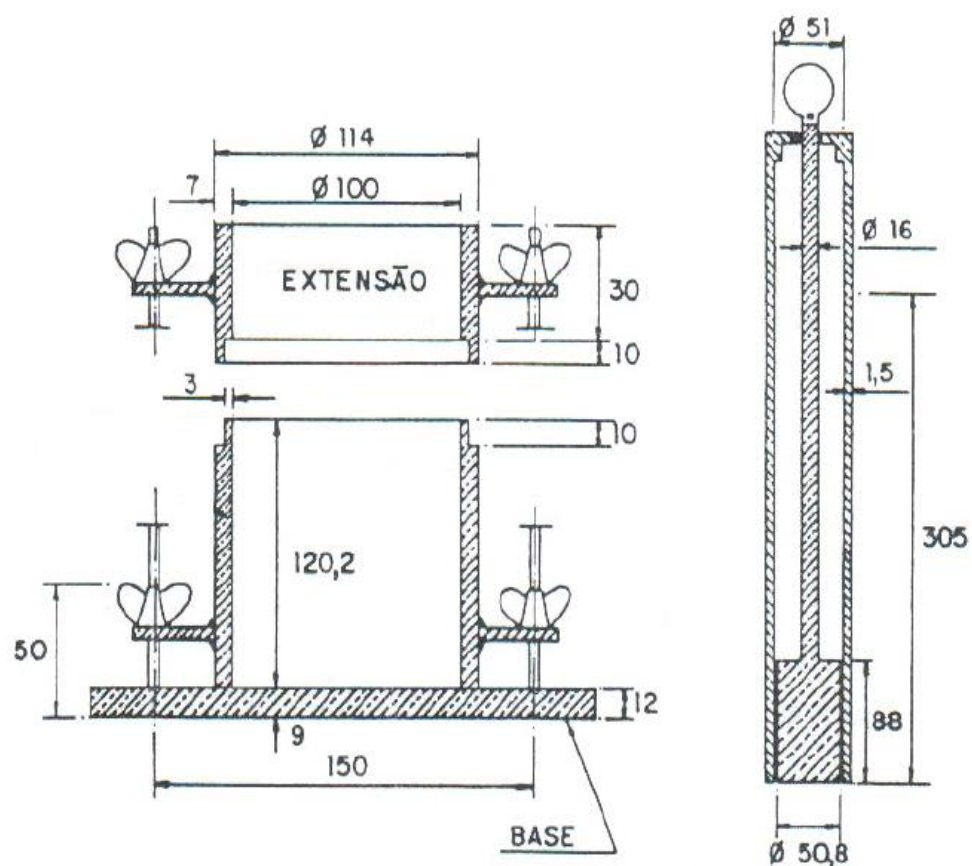
3.2.2. Equipo

Para la ejecución del ensayo es necesario disponer de:

- a) Repartidor de muestras;
 - a. Balanza que permita pesar nominalmente 10 kg, con precisión de 1 g;

- b. Balanza que permita pesar nominalmente 210 g, con una precisión de 0,01 g;
- c. Tamices de 4,8 y 19 mm, de acuerdo con la NBR 5734;
- d. Recipientes de material adecuado, que permitan guardar pequeñas muestras sin pérdida de humedad;
- e. Estufa capaz de mantener la temperatura entre 105 °C y 110 °C;
- f. Bandejas de hojalata de 750 mm x 500 mm x 50 mm;
- g. Regla de acero biselado de 300 mm de longitud;
- h. Espátulas;
- i. Molde cilíndrico metálico con base y dispositivo complementario de mismo diámetro – con cuello (las dimensiones a ser respetadas están indicadas en la Figura 9);
- j. Martillo cilíndrico metálico de 50 mm de diámetro, de cara inferior plana y peso de 2 500 g, equipado con dispositivo para control de altura de caída de 305 mm.

Figura 10: Dimensiones de molde y martillo mecánico



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

3.2.3. Método

Los pasos del método son:

- a) Adicionar el cemento al suelo y mezclar hasta obtener una coloración uniforme. Cuando sea necesario, adicionar agua en cantidad suficiente para elevar la cantidad de humedad a, aproximadamente, 4 o 6 puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima prevista.
- b) Compactar la mezcla en un molde fijado a su base metálica y con la extensión ajustada de modo que se tenga una altura total de cerca de 13 cm. La compactación debe ser realizada en tres capas iguales, recibiendo cada una 25 golpes de martillo, cayendo libremente 305 mm, distribuidos uniformemente sobre la superficie de cada capa. Durante la compactación el molde debe estar apoyado en una base plana y firme.
- c) Remover la extensión, teniendo antes el cuidado de despegar, con el auxilio de un cuchillo, el material adherido. Con una regla rígida, enrasar el material a la altura exacta del molde.
- d) Determinar el peso del conjunto, con precisión de 1 g y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. EL peso así obtenido será anotado como peso de probeta de ensayo húmeda (M_h).
- e) El material compactado es removido del molde y cortado verticalmente. De su interior es retirada una muestra de cerca de 80 g para la determinación de la humedad. Determinar su peso y secar en la estufa; a la temperatura entre los 105 °C y 110 °C, hasta detener el peso constante. Las determinaciones son hechas con precisión de 0,05 g.
- f) Desmenuzar la probeta de ensayo de modo que todo el material pueda pasar por el tamiz de 4,8 mm y mezclarlo con el remanente de la muestra. Adicionar agua en cantidad suficiente para aumentar la cantidad de humedad de 1 a 2 puntos porcentuales y homogeneizar la mezcla.
- g) Repetir las operaciones descritas en los puntos b. a f. para cada incremento de agua. Esas operaciones deberán ser repetidas, con cantidades crecientes de humedad, tantas veces cuanto sea necesario para caracterizar la curva de compactación.

3.2.4 Cálculos

a) La cantidad de humedad de cada probeta de ensayo moldeada es obtenida por la fórmula:

$$h = \frac{M_{bh} - M_{bs}}{M_{bs} - M_c} \times 100$$

Dónde:

h = Cantidad de humedad;

M_{bh} = Peso de la muestra húmeda y de la cápsula que la contiene;

M_{bs} = Peso de la muestra seca en estufa a temperatura entre 105 °C y 110 °C y de la cápsula que la contiene;

M_c = Peso de la cápsula.

b) El peso seco de cada probeta de ensayo moldeada es obtenido por la fórmula:

$$M_s = \frac{M_h}{100 + h} \times 100$$

Dónde:

M_s = Peso seco de la probeta de ensayo;

M_h = Peso húmedo de la probeta de ensayo.

c) El peso específico seco aparente del material, para cada humedad de compactación, es obtenido por la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V}$$

Dónde:

γ_s = peso específico aparente seco de la probeta de ensayo;

V = volumen de la probeta de ensayo compactada (volumen de molde)

3.2.5 Resultados

Los resultados obtenidos son realizados mediante una hoja de cálculo en Excel para facilitar los repetitivos procesos y tener una mejor visualización grafica de como:

- Identificar la humedad inicial de las muestras
- Calcular las cantidades de humedad

- Calcular el peso específico seco aparente de cada probeta de ensayo moldeada
- Modelar las cantidades de humedad en abscisas
- Modelar los pesos específicos secos aparentes en ordenadas
- Marcar los resultados en un gráfico

Tabla 4: Humedad inicial de las muestras

Humedad inicial al 6% (suelo + arena + cemento)						
Número Muestras	Núm. Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	40	30,12	120,1	117,8	2,62	2,74
	13	31,14	119,14	116,7	2,85	
Humedad inicial al 8% (suelo + arena + cemento)						
Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	15	29,82	126,4	123,9	2,66	2,45
	20	30,25	125,6	123,5	2,25	
Humedad inicial al 10% (suelo + arena + cemento)						
Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h promedio %
1	103	29.93	125.12	122.96	2.32	2.27
	31	29.45	127.3	125.17	2.23	

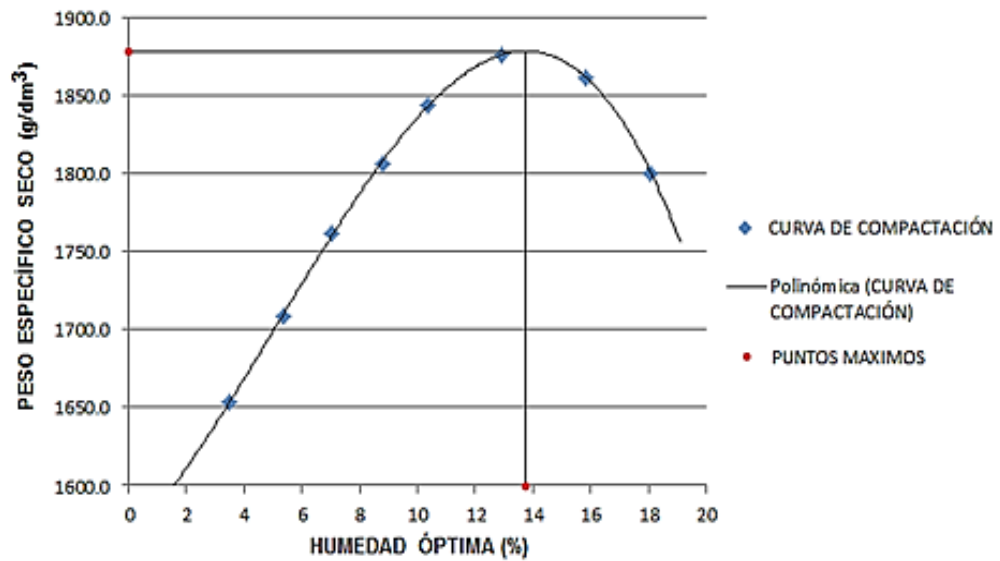
Elaborado por: Byron Piedra

Tabla 5: Compactación utilizando el 6 % de cemento y adicionando el 2 % de agua

Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h prom. %	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	γ _s (g/dm ³)
1	2	30,06	110,39	107,58	3,62	3,48	4395	6010	1615	1560,68	944	1653,26
	29	30,69	127,01	123,9	3,34							
2	17	29,97	116,9	112,47	5,37	5,38	4395	6095	1700	1613,20	944	1708,90
	9	29,99	128,91	123,85	5,39							
3	30	30,13	145,1	137,67	6,91	7,02	4395	6175	1780	1663,24	944	1761,90
	108	29,88	148,41	140,52	7,13							
4	113	31,76	123,82	116,39	8,78	8,81	4395	6250	1855	1704,88	944	1806,02
	112	29,84	109,82	103,33	8,83							
5	106	29,88	107,57	100,22	10,45	10,34	4395	6315	1920	1740,01	944	1843,23
	24	30,86	111,61	104,11	10,24							
6	1	30,13	97,12	89,38	13,06	12,92	4395	6395	2000	1771,09	944	1876,16
	100	29,99	90,15	83,33	12,79							
7	7	29,74	97,31	88,07	15,84	15,83	4395	6430	2035	1756,84	944	1861,06
	120	31,73	104,48	94,54	15,83							
8	50	30,26	95	85,23	17,77	18,09	4395	6402	2007	1699,50	944	1800,32
	48	29,98	99,11	88,36	18,41							

Elaborado por: Byron Piedra

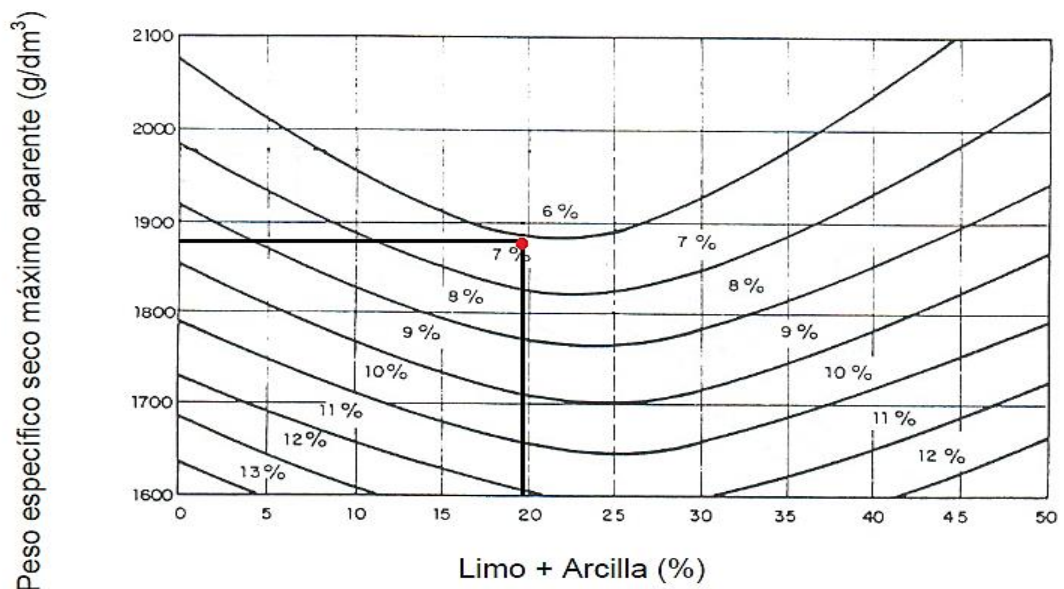
Figura 11: Curva de compactación utilizando el 6 % de cemento y adicionando el 2 % de agua



Elaborado por: Byron Piedra

En los resultados se observa que con el 6 % de cemento tenemos una humedad óptima de 13,8 % y un peso aparente seco es 1885 g/dm^3 ; con el peso específico seco de 1885 g/dm^3 tenemos que volver a calcular en la Figura 3 y deducir nuevamente la cantidad de cemento para poder hacer el ensayo de moldeado de probetas.

Figura 12: Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

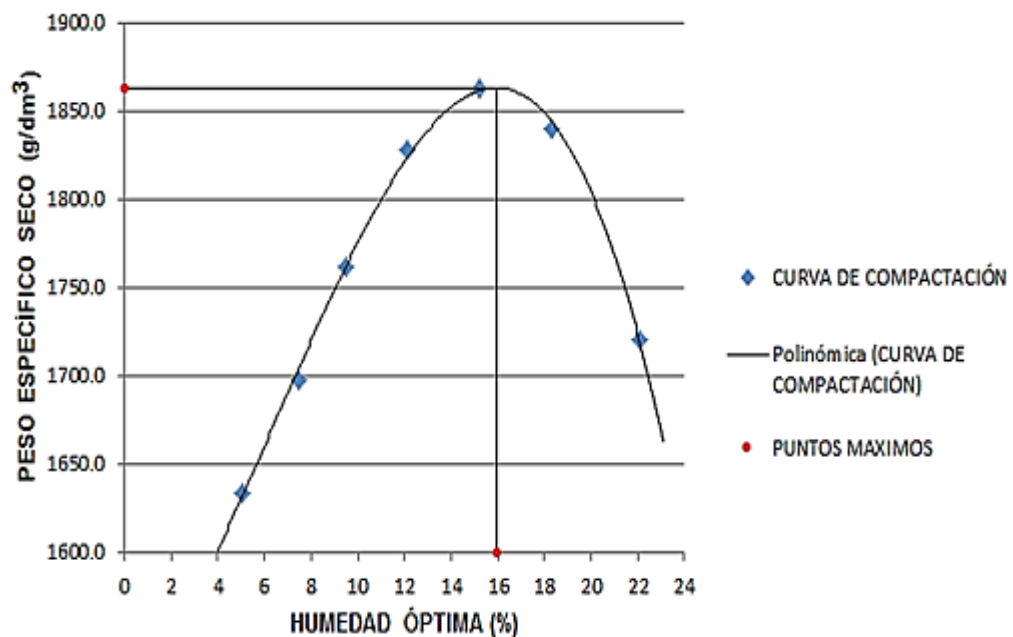
Como se puede observar la cantidad de cemento varia a un 7 % donde ya se puede moldear las probetas con el porcentaje indicado o más.

Tabla 6: Compactación utilizando el 8 % de cemento y adicionando el 3 % de agua

Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h.prom. %	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	γs (g/dm ³)
1	21	30,94	118,99	114,77	5,03	5,03	4395	6015	1620	1542,447	944	1633,95
	18	30,2	126,4	121,8	5,02							
2	28	29,7	113,25	107,7	7,12	7,45	4395	6117	1722	1602,586	944	1697,65
	107	29,99	116,36	110,12	7,79							
3	11	30,15	131,21	122,49	9,44	9,47	4395	6215	1820	1662,509	944	1761,13
	104	30,11	126,79	118,4	9,50							
4	16	29,99	131,6	120,6	12,14	12,11	4395	6330	1935	1725,93	944	1828,32
	116	31,45	122,7	112,86	12,09							
5	13	29,95	127,5	115,2	14,43	15,19	4395	6425	2025	1758,012	944	1862,30
	35	31,45	127,94	114,67	15,95							
6	8	30,13	109,52	97,21	18,35	18,30	4395	6450	2055	1737,171	944	1840,22
	118	29,99	107,13	95,23	18,24							
7	2	30,06	102,98	90,12	21,41	22,09	4395	6380	1985	1625,91	945	1720,54
	1	30,13	100,25	87,25	22,76							

Elaborado por: Byron Piedra

Figura 13: Curva de compactación utilizando el 8 % de cemento y adicionando el 3 % de agua

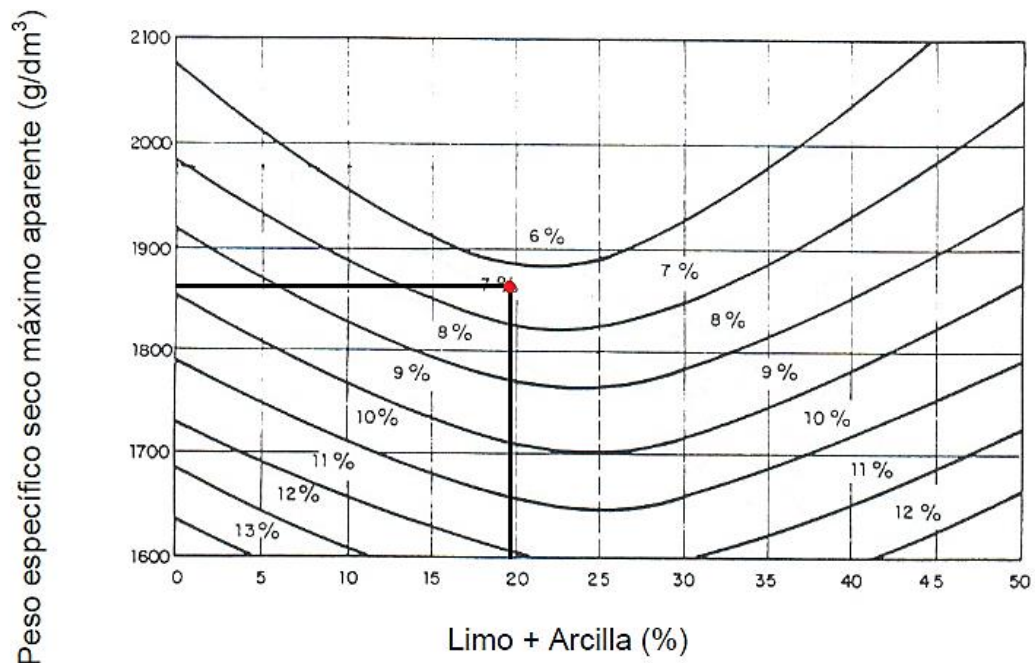


Elaborado por: Byron Piedra

En los resultados se observa que con el 8 % de cemento tenemos una humedad óptima de 15,9 % y un peso aparente seco es 1 870 g/dm³.

Con el peso específico seco de 1 870 g/dm³ tenemos que volver a calcular en la Figura 3 y deducir nuevamente la cantidad de cemento para poder hacer el ensayo de moldeado de probetas.

Figura 14: Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

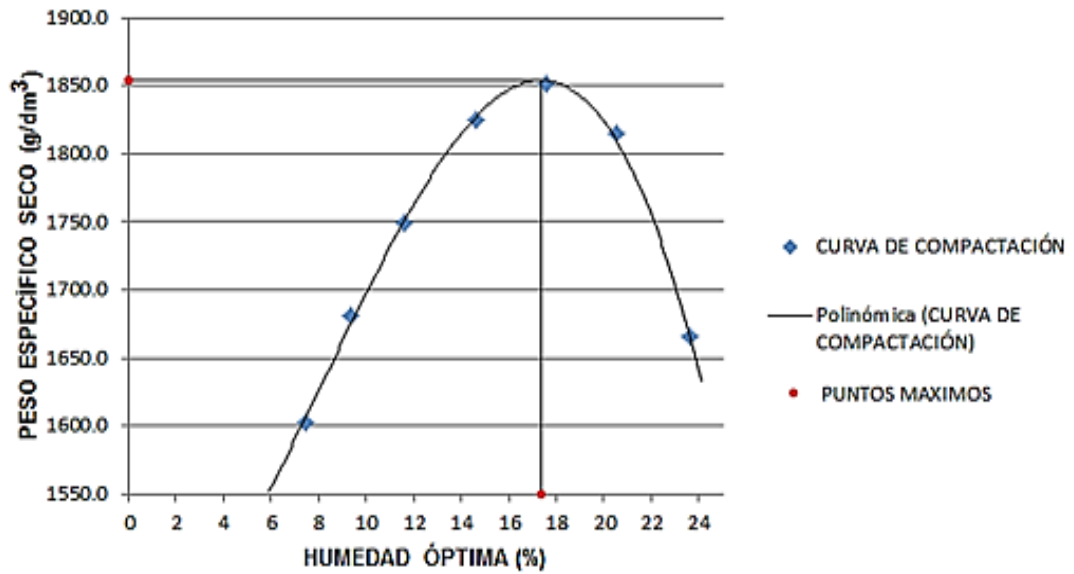
Como se puede observar la cantidad de cemento no varía del 7 % con respecto al anterior donde ya se puede moldear las probetas con el porcentaje indicado o más.

Tabla 7: Compactación utilizando el 10 % de cemento y adicionando el 3 % de agua

Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h %	h.prom. %	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	γs (g/dm ³)
1	21	30,94	119,2	113,25	7,23	7,42	4395	6020	1625	1512,706	944	1602,44
	18	30,2	127,11	120,25	7,62							
2	28	29,7	115,25	107,9	9,40	9,37	4395	6130	1735	1586,404	944	1680,51
	107	29,99	117,25	109,8	9,33							
3	11	30,15	134,25	123,5	11,52	11,57	4395	6238	1843	1651,835	944	1749,82
	104	30,11	128,11	117,9	11,63							
4	16	29,99	129,25	116,6	14,61	14,65	4395	6370	1975	1722,587	944	1824,77
	116	31,45	126,25	114,1	14,70							
5	13	29,95	110,25	98,25	17,57	17,59	4395	6450	2055	1747,637	944	1851,31
	35	31,45	130,65	115,8	17,61							
6	8	30,13	111,34	97,5	20,54	20,54	4395	6460	2065	1713,157	944	1814,78
	118	29,99	108,36	95,01	20,53							
7	2	30,06	104,98	90,65	23,65	23,59	4395	6340	1945	1573,705	945	1665,30
	1	30,13	101,25	87,7	23,54							

Elaborado por: Byron Piedra

Figura 15: Curva de compactación utilizando el 10 % de cemento y adicionando el 3 % de agua

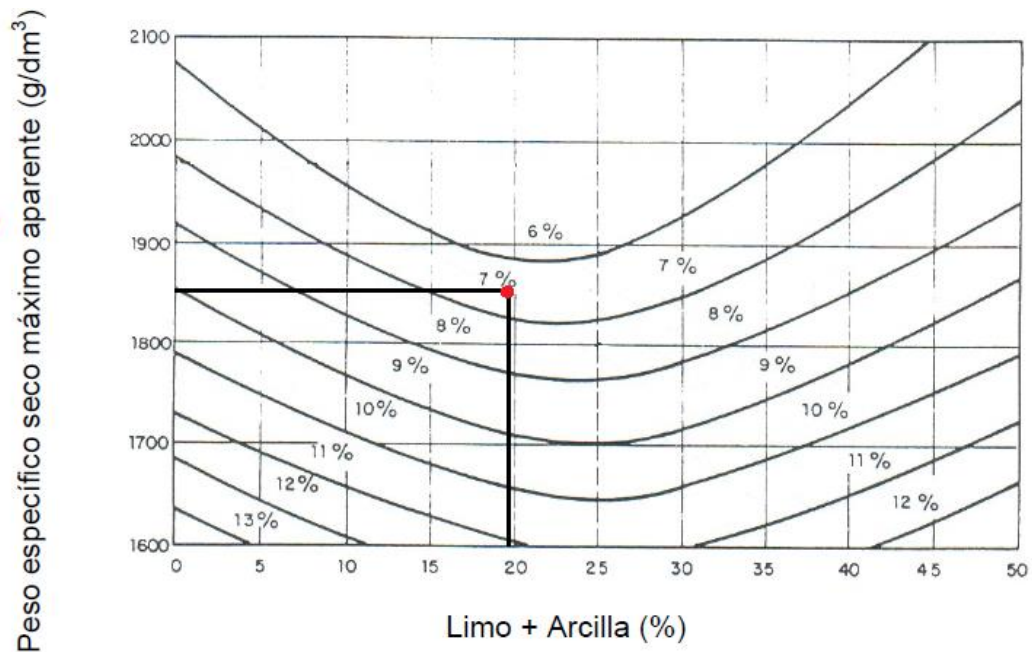


Elaborado por: Byron Piedra

En los resultados se observa que con el 10 % de cemento tenemos una humedad óptima de 17.4 % y un peso aparente seco es 1853g/dm³.

Con el peso específico seco de 1853 g/dm³ tenemos que volver a calcular en la Figura 3 y deducir nuevamente la cantidad de cemento para poder hacer el ensayo de moldeado de probetas.

Figura 16: Porcentaje de cemento utilizando los datos obtenidos



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

Como se puede observar la cantidad de cemento no varía del 7 % con respecto al anterior donde ya se puede moldear las probetas con el porcentaje indicado o más.

3.3 Moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento (método SC-2)

Una vez determinado el peso específico seco, la humedad óptima y la cantidad de cemento podemos realizar el ensayo de moldeado de probetas de suelo-cemento tomando las cantidades de cemento de 6 %, 8 % y 10 %. De acuerdo a la granulometría obtenida del suelo más arena se tomara el método A de la norma simplificada.

3.3.1 Objetivos

Este método fija el modo por el cual se moldean las probetas de ensayo de suelo – cemento que serán sometidas a los ensayos SC-3 y SC-4. Dependiendo de la granulometría del suelo.

3.3.2 Equipo

Para la ejecución del ensayo es necesario disponer de:

- a) Repartidor de muestras;
- b) Balanza que permita pesar nominalmente 10 kg, con precisión de 1 g;
- c) Balanza que permita pesar nominalmente 210 g, con una precisión de 0,01 g;
- d) Tamices de 4,8 y 19 mm, de acuerdo con la NBR 5734;
- e) Recipientes de material adecuado, que permitan guardar pequeñas muestras sin pérdida de humedad;
- f) Estufa capaz de mantener la temperatura entre 105 °C y 110 °C;
- g) Bandejas de hojalata de 750 mm x 500 mm x 50 mm;
- h) Regla de acero biselado de 300 mm de longitud;
- i) Espátulas;
- j) Molde cilíndrico metálico con base y dispositivo complementario de mismo diámetro – con cuello (las dimensiones a ser respetadas están indicadas en la Figura 11);
- k) Martillo cilíndrico metálico de 50 mm de diámetro, de cara inferior plana y peso de 2 500 g, equipado con dispositivo para control de altura de caída de 305 mm.

3.3.3 Método

Preparación del material:

- a) Preparar una muestra de suelo conforme a lo descrito anteriormente en el ensayo de compactación.
- b) Pesar, con precisión de 1 g, una muestra representativa de suelo, con un peso aproximado de 2 500 g, se debe tomar en cuenta la consideración de la humedad del suelo, previamente determinada.
- c) Pesar, con precisión de 1 g, una cantidad de cemento que, con relación al peso seco de la muestra, mantenga la cantidad de cemento en peso deseado.
- d) Separar una cantidad de agua que, sumada al agua existente de la muestra de suelo, confiera a la mezcla una cantidad de humedad igual a la humedad óptima, determinada en el Ensayo de Compactación de Suelo – cemento, incrementada de 0,5 a 1,0 por ciento, conforme al ambiente, para la evaporación que normalmente ocurre durante el mezclado.

Moldeado:

- a) Adicionar cemento al suelo y mezclar hasta obtener una coloración uniforme.
- b) Adicionar a la mezcla la cantidad de agua determinada en la anterior sección y homogeneizar.
- c) Compactar la mezcla en el molde de la manera descrita anteriormente en el ensayo de compactación, con la precaución especial de escarificar las superficies de la primera y segunda capa antes de la colocación de las capas siguientes, de modo de remover los planos lisos formados por la compactación.
- d) Para la ocasión de la colocación de la segunda capa, retirar una muestra de cerca de 80 g para la determinación de la cantidad de humedad. Se pesa y se seca en estufa a una temperatura entre 105 °C y 110 °C, hasta obtener peso constante, hacer las determinaciones con una precisión de 0,01 g.
- e) Pesar el conjunto, con precisión de 1 g, y sustraer el peso del molde anteriormente determinado. El peso obtenido será anotado como peso de la probeta de ensayo húmeda (M_h).
- f) Remover la probeta de ensayo del molde y colocarle una etiqueta de identificación.

g) Colocar la probeta de ensayo en la cámara húmeda, donde debe permanecer hasta el día del ensayo, a una temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del aire encima de 90 %.

3.3.4 Cálculos

a) La cantidad de humedad de cada probeta de ensayo moldeada es obtenida por la fórmula:

$$h = \frac{M_{bh} - M_{bs}}{M_{bs} - M_c} \times 100$$

Dónde:

h = Cantidad de humedad;

M_{bh} = Peso de la muestra húmeda y de la cápsula que la contiene;

M_{bs} = Peso de la muestra seca en estufa a temperatura entre $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de la cápsula que la contiene;

M_c = Peso de la cápsula.

b) El peso seco de cada probeta de ensayo moldeada es obtenido por la fórmula:

$$M_s = \frac{M_h}{100 + h} \times 100$$

Dónde:

M_s = Peso seco de la probeta de ensayo;

M_h = Peso húmedo de la probeta de ensayo.

c) El peso específico seco aparente del material, para cada humedad de compactación, es obtenido por la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{M_s}{V}$$

Dónde:

γ_s = peso específico aparente seco de la probeta de ensayo;

V = volumen de la probeta de ensayo compactada (volumen de molde)

3.3.5 Resultado

Los resultados fueron obtenidos en una hoja de cálculo en Excel, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8: Resultados

6% DE CEMENTO												
Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h (%)	h.prom. (%)	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	ys (g/dm ³)
Muestra 1	2	30,06	115,3	104,6	14,35	14,57	4395	6409	2014	1757,82	944	1862,09
	29	30,69	117,6	106,4	14,79							
8% DE CEMENTO												
Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h (%)	h.prom. (%)	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	ys (g/dm ³)
Muestra 2	21	30,94	112,3	100,9	16,30	16,24	4395	6428	2033	1748,99	944	1852,74
	18	30,2	114,2	102,5	16,18							
10% DE CEMENTO												
Número Muestras	Número Cápsula	Peso de la cápsula (g)	Suelo húmedo (g)	Suelo seco (g)	h (%)	h.prom. (%)	Peso del molde (g)	Peso del suelo + molde (g)	Peso del suelo (g)	Ms (g)	Volumen (cm ³)	ys (g/dm ³)
Muestra 3	28	29,7	115,4	102,6	17,56	17,70	4395	6447	2052	1743,39	944	1846,81
	107	29,99	116,5	103,4	17,84							

Elaborado por: Byron Piedra

Una vez obtenido los resultados se procede a verificar que cuando la humedad de moldeado difiera de la humedad óptima en más de 1 %, o cuando el peso específico seco aparente de la probeta de ensayo difiera del peso específico seco máximo aparente en más de 30 kg/m³, la probeta de ensayo debe ser rechazada.

Tabla 9: Verificación de resultados del moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento

% de cemento	Peso específico seco máximo aparente (g/dm ³)	Peso específico seco de la probeta de ensayo (g/dm ³)	Diferencia "+ -"	Verificación
6	1885	1862,09	22,91	OK
8	1870	1852,74	17,26	OK
10	1853	1846,81	6,19	OK

% de cemento	Humedad de moldeado (%)	Humedad óptima (%)	Diferencia "+ -"	Verificación
6	13,8	14,57	-0,77	OK
8	15,9	16,24	-0,34	OK
10	17,4	17,70	-0,30	OK

Elaborado por: Byron Piedra

Ninguna muestra fue rechazada por que está dentro del rango permitido como lo indican las respectivas tablas.

3.4. Ensayo de durabilidad por mojado y secado (método SC-3)

Una vez terminado el ensayo de probetas y el curado de 7 días en la cámara húmeda procedemos a realizar el ensayo de durabilidad por mojado y secado. De acuerdo a la granulometría obtenida se utilizara el método A de la norma simplificada de suelo cemento.

3.4.1 Objetivos

Este método fija el modo por el cual se determina la pérdida de peso de probetas de ensayo de suelo – cemento cuando son sometidas a ciclos de mojado y secado.

3.4.2 Equipo

El equipo necesario es el siguiente:

- a) Estufa capaz de mantener la temperatura de $71\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) Cámara de inmersión para sumergir las probetas de ensayo en agua a temperatura ambiente;
- c) Escoba de pelo de alambre liso de 50 mm de longitud por 1,6 mm de ancho y 0,5 mm de espesor, reunidos en cincuenta grupos de diez hilos cada uno y montados en cinco filas longitudinales y diez transversales, en un bloque de madera dura de 190 mm x 65 mm;
- d) Balanza que permita pesar nominalmente 5 kg, con precisión de 1 g.

3.4.3 Probetas de ensayo

Las probetas de ensayo de suelo – cemento deben ser moldeados de acuerdo con el ensayo SC-2 y permanecer 7 días en cura en una cámara húmeda.

3.4.4 Ensayo

- a) Después de 7 días de curado en la cámara húmeda, las probetas de ensayo deben ser colocadas en la cámara de inmersión, donde permanecen durante 5 horas, y, a continuación, en una estufa a una temperatura de $71\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, donde deberán permanecer 42 horas.

b) Al final de este periodo, las probetas de ensayo deben ser cepilladas. La escoba debe ser aplicada en el sentido de la generatriz de la probeta de ensayo y paralelamente a las bases, de manera de cubrir toda la superficie de la probeta de ensayo. Se dan 20 cepilladas verticales en la superficie lateral y 4 en las bases de la probeta de ensayo. El enfriamiento y la operación de cepillado deben durar máximo 1 hora.

c) El procedimiento descrito en las líneas a y b constituyen un ciclo (48 horas) de mojado y secado. Se repiten estas operaciones durante 12 ciclos, incluido el primero

d) Después de los 12 ciclos, colocar las probetas de ensayo en la estufa a una temperatura de 105 °C y 110 °C hasta obtención del peso constante, y determinar sus pesos secos (M).

e) Los datos recolectados permitirán calcular la pérdida de peso de las probetas de ensayo

3.4.5 Cálculos

a) Corregir el valor de peso seco de la probeta de ensayo, descontando el peso de agua que fue retenido en la probeta de ensayo seca, como sigue:

$$M_f = \frac{M}{A + 100} \times 100$$

Dónde:

M_f = peso seco final corregido;

M = peso seco a 110 °C;

A = porcentaje de agua retenido en el cuerpo de prueba.

El porcentaje de agua retenido en la probeta de ensayo está dado por el cuadro siguiente:

Clasificación de suelos según AASHTO (M 145)	Agua retenida (%)
A1, A3	1,5
A2	2,5
A4, A5	3,0
A6, A7	3,5

b) La pérdida de peso de la probeta de ensayo es obtenida por la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{M_s - M_f}{M_s} \times 100$$

Dónde:

P_m = pérdida de peso;

M_s = peso seco inicial calculado, obtenido en el moldeado de la probeta de ensayo;

M_f = peso seco final corregido.

3.4.6 Resultados

Tabla 10: Verificación de resultados del ensayo de durabilidad por mojado y secado

% de cemento	M (g)	A (%)	M_f (g)	M_s (g)	P_m (%)	Promedio (%)	No debe ser mayor a 14 %
10	1620,36	1,5	1596,41	1757,82	9,18	8,91	OK
	1630,02	1,5	1605,93	1757,82	8,64		
8	1517,36	1,5	1494,94	1748,99	14,53	14,28	X
	1526,25	1,5	1503,69	1748,99	14,02		
6	1491,69	1,5	1469,65	1743,39	15,70	15,53	X
	1497,94	1,5	1475,80	1743,39	15,35		

Elaborado por: Byron Piedra

Las probetas que cumplen con el ensayo son con el 10 % de cemento que son inferiores al 14 % dando un promedio del 8,91 %.

3.5 Ensayo de absorción de humedad (SC-4)

Este ensayo se realizara con la normativa INEN 296 ya que en la normas de dosificación de suelo cemento no se le toma en cuenta. Siendo un ensayo fundamental para la producción de ladrillos.

3.5.1 Objetivos

Este método se basa en la determinación de las masas de una muestra de ladrillo antes y después de ser sumergida en agua, estableciéndose la diferencia entre las dos masas como base para conocer el valor de la absorción de la humedad.

3.5.2 Equipo

- a) Balanza con capacidad mínima de 5 kg y con escala que permita lecturas hasta de 0,5 g.
- b) Estufa, de desecación regulada a una temperatura de 110 °C

3.5.3 Preparación de ensayo

La muestra a ensayar consistirá en cinco ladrillos enteros, que se desecarán en estufa a 110 °C hasta obtener masa constante. Luego se enfriarán a la temperatura ambiente y se volverán a pesar. Si se observa un aumento de masa mayor del 1 %, se repetirá la operación.

3.5.4 Ensayo

Una vez preparadas las muestras y anotada su masa constante, sumergirlas en agua destilada, a una temperatura de 15 a 30 °C durante 24 horas. Al sacar las muestras del agua, secarlas con una toalla húmeda antes de pesarlas. La pesada de cada muestra debe concluirse antes de cinco minutos de sacada del agua.

3.5.5 Cálculos

La absorción de cada muestra expresada en % se calcula por la ecuación siguiente:

$$\text{Absorción}\% = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100$$

Dónde:

P_1 = masa de la muestra desecada.

P_2 = masa de la muestra después de 24 horas de sumergida

3.5.6 resultados

Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N° 11: Verificación de resultados del ensayo de absorción de humedad

% de cemento	Peso de la muestra seca (g)	Peso de la muestra sumergida 24 horas (g)	Absorción (%)	Promedio (%)
10	2075,63	1775,67	16,89	17,00
	2080,34	1776,59	17,10	
8	2050,46	1727,76	18,68	18,72
	2055,15	1730,56	18,76	
6	2025,39	1701,26	19,05	19,20
	2032,78	1703,26	19,35	

Elaborado por: Byron Piedra

3.6 Ensayo a compresión de probeta de ensayo de suelo cemento (SC-5)

Una vez terminado el ensayo de probetas y el curado de 7 días en la cámara húmeda procedemos a realizar el ensayo de compresión de probeta.

De acuerdo a la granulometría obtenida se utilizara el método A de la norma simplificada de suelo cemento. Las demás probetas seguirán en la cámara de humedad para realizar el ensayo a los 28 días.

3.6.1 Objetivos

Este método fija el modo por el cual deben ser ensayados a la compresión probetas de ensayo de suelo – cemento.

3.6.2 Equipo

- a) Una prensa destinada a la ruptura de las probetas de ensayo debe transmitirles la carga de modo progresivo y sin choques, y tener uno de sus platos articulados.
- b) La prensa debe ser periódicamente verificada y todas sus indicaciones serán corregidas con ayuda de gráficos o tablas

3.6.3 Probetas De Ensayo

- a) Las probetas de ensayo deben ser realizadas de acuerdo con el ensayo de moldeado de probetas de suelo-cemento y mantenidas en la cámara húmeda por 7 y 28 días.
- b) Las superficies de las partes superior e inferior de la probeta de ensayo deben estar lisas y planas, de modo que el contacto con los platos de la máquina sea tan completo como sea posible

3.6.4 Ensayo

- a) En el día del ensayo, la probeta de ensayo es retirada de la cámara húmeda e inmersa completamente en agua.
- b) Después de 4 horas de inmersión, la probeta de ensayo debe retirarse del agua, secando superficialmente con una toalla de felpa y luego debe colocarse en el centro del plato inferior de la prensa.
- c) La probeta de ensayo es entonces sometida a compresión, a una velocidad de carga constante de 150 kPa/seg ($1,5 \text{ Kg/cm}^2/\text{seg}$), aproximadamente.

3.6.5 Resultados

- a) Calcular la resistencia a compresión de la probeta de ensayo dividiendo la carga de rotura o la máxima carga alcanzada, en N (kgf), por el área cargada, en mm^2 (cm^2). El área es calculada en función del diámetro medio, medido antes del ensayo.
- b) Serán eliminados los resultados de probetas de ensayo defectuosas y las que se alejaron 10 puntos porcentuales, o más, de la resistencia media. Si, ocurre que, más de dos probetas de ensayo se alejan de este límite, todos los resultados de la serie normal deben ser despreciados.

Tabla 12: Resultados del ensayo a compresión de probeta a los 7 días

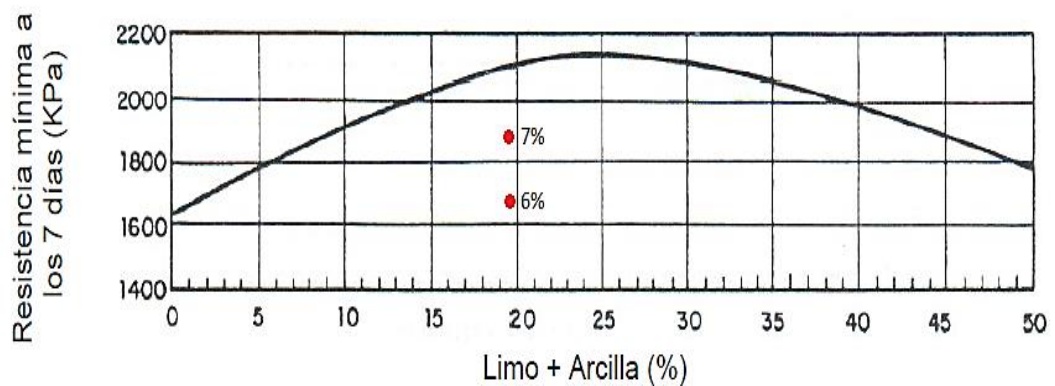
10% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm^2)	Resistencia a compresión (kg/cm^2)	Promedio (kg/cm^2)	Promedio (kPa)
1	3350,00	78,54	42,65	43,48	4264,04
2	3480,00	78,54	44,31		
8% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm^2)	Resistencia a compresión (kg/cm^2)	Promedio (kg/cm^2)	Promedio (kPa)
1	1500,00	78,54	19,10	18,59	1822,99
2	1420,00	78,54	18,08		

6% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio (kPa)
1	1260,00	78,54	16,04	16,42	1610,72
2	1320,00	78,54	16,81		

Elaborado por: Byron Piedra

La resistencia a cumplir debe ser superior a los 2 100 kPa como se indica en la Figura 16 ya que nuestra granulometría de limo más arcilla es el 19,80 % lo cual, solo nos cumple al utilizar el 10 % de cemento con una resistencia a compresión de 4 264,04 kPa.

Figura 17: Método A, resistencia a compresión de probetas de ensayo, a los 7 días



Fuente: Dosificación de mezclas suelo-cemento (Ing. Mario Rocha)

Tabla 13: Resultados del ensayo a compresión de probeta a los 28 días

10% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio (kPa)
1	6300,00	78,54	80,21	83,62	8200,32
2	6835,00	78,54	87,03		

8% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio (kPa)
1	4740,00	78,54	60,35	61,88	6068,30
2	4980,00	78,54	63,41		
6% DE CEMENTO					
Numero de cilindros	Rotura máxima alcanzada (kg)	Área de contacto (cm ²)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	Promedio (kg/cm ²)	Promedio (kPa)
1	4010,00	78,54	51,06	53,09	5206,75
2	4330,00	78,54	55,13		

Elaborado por: Byron Piedra

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE PRUEBAS Y ENSAYOS

4.1 Análisis de la resistencia a compresión a los 7 días

Los resultados obtenidos anteriormente en el ensayo a compresión de probetas de suelo-cemento a los 7 días se ve reflejados en la tabla número 12 se puede observar una resistencia muy elevada con el 10 % de cemento con respecta a los otros porcentajes lo cual podemos deducir de acuerdo al figura 16 que es la dosificación correcta de suelo-cemento lo cual nos garantiza una buena resistencia a los 28 días para así poder comparar con los ladrillos existentes en el mercado.

4.2 Análisis de la resistencia a compresión a los 28 días

La resistencia de los ladrillos panelón que se comercializan en cuenca es:

Tabla 14: Resultados del ensayo a compresión del ladrillo panelón

MAMPUESTO	PROCEDENCIA	DIMENSIONES	ENSAYO	CARGA NETA DE FALLA	RESISTENCIA BRUTA	RESISTENCIA BRUTA PROMEDIO
Ladrillo panelón	Susudel	26,5 x 7,8 x 12,5	1	38371 kg.f	115,84 kg/cm ²	106,34 kg/cm ²
			2	40942 kg.f	123,60 kg/cm ²	
			3	26367 kg.f	79,60 kg/cm ²	
	Cuenca (Sayausi)	27,5 x 7,7 x 13,8	1	21380 kg.f	60,28 kg/cm ²	63,16 kg/cm ²
			2	25211 kg.f	71,08 kg/cm ²	
			3	20605 kg.f	58,10 kg/cm ²	

Fuente: ZALAMEA LEO, Esteban.(2012). *Mampostería post-tensada. Una alternativa constructiva para el Ecuador*, Tesis de maestría. Cuenca, Universidad de Cuenca. Pág. 45.

Mampuesto	Procedencia	Dimensiones (cm)	Ensayo	Carga neta de falla (kg)	Resistencia bruta (kg/cm ²)	Resistencia bruta promedio (kg/cm ²)
Ladrillo panelón	Cuenca (Racar)	26.6 x 7.5 x 13.2	1	20038	57,07	57,45
			2	20630	58,75	
			3	19850	56,53	

Elaborado por: Byron Piedra

Con respecto a la resistencia el ladrillo de Susudel se puede observar que le supera al fabricado en Cuenca ampliamente la que demuestra la diferencia con respecto a la calidad del material y cabe destacar también que en Cuenca los productores no se remiten a un solo formato lo que se dificulta la compra de los acreedores.

Los resultados obtenidos de ladrillo suelo-cemento anteriormente en el ensayo a compresión de probeta de ensayo a los 28 días reflejados en la tabla 13 se puede observar que la resistencia aumente aproximadamente un 40 kg/cm^2 tanto al 10 %, 8 % y al 6 % de cemento, obteniendo 83,62 kg/cm^2 , 61,88 kg/cm^2 y 53,13 kg/cm^2 respectivamente. Lo cual analizando y comparando la resistencia con los ladrillos que se fabrican en Cuenca el ladrillo suelo cemento con 10 % de cemento es superior a los fabricados en Sayausi y Racar donde le supera con el 24,47 % y 31,3 % respectivamente y el ladrillo con el 8 % de cemento le supera al ladrillo de Racar con 7,16 %.

4.3 Análisis de precios unitarios

Los precios de los de los materiales fueron obtenido en la revista de la cámara de construcción de Cuenca "BOLETÍN TÉCNICO" y la maquina a utilizar es una Cinva Ram que fue desarrollado en 1952 por Raúl Ramírez del centro de la vivienda Interamericana en Colombia. Fue muy popular en Colombia y en los países en desarrollo vecinos, debido a un diseño eficaz de bajo costo. Con esta máquina, 2 trabajadores, pueden producir unos 2 ladrillos por minuto.

La máquina no se encuentra en venta en el Ecuador y es muy difícil conseguir el molde con las dimensiones del ladrillo panelón. Pero existen los planos de la máquina que nos sirve de gran ayuda para poderle fabricar con las medidas que más no convenga.

El costo de fabricación de la maquina esta alrededor de \$ 2 000 y \$ 3 000 dólares americanos. Dónde que la depreciación de las máquinas es el 10 % anual.

Se puede prescindir de mano de obra especializada lo que la tabla salarial año 2013 un peón tiene una jornada real de \$22,27 dólares americanos.

El costo del suelo natural obtenido se va a calcular por m^3 de excavación y material transportado tomando las siguientes consideraciones: el rendimiento de la retroexcavadora modelo tipo CAT 125, potencia 80 HP, cucharón 0.7 m^3 , tipo de trabajo material suelto y a una altura de 2 300 a 3 800 metros régimen sierra, para el trasporte se usara una volqueta con una capacidad de 8 metros cúbicos y un peón con el sueldo básico.

El costo de la maquinaria va a ser tomado referente a la revista "BOLETIN TECNICO" de la cámara de construcción de Cuenca incluido el IVA.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS EXCAVACIÓN Y MATERIAL TRANSPORTADO				
COSTO POR METRO CUBICO DE EXCAVACIÓN Y MATERIAL TRANSPORTADO				
ITEM	1	UNIDAD		m^3
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
EQUIPO				
EXCAVADORA	hora	0,050	28,000	1,680
VOLQUETA	hora	0,060	22,400	1,344
Subtotal=				3,024
MANO DE OBRA				
PEÓN	hora	0,025	2,780	0,070
Subtotal=				0,070
TOTAL COSTO DIRECTO				3,094

El material aprovechado es aproximadamente el 95 % ya sea porque se extrae material orgánico o no pasa por el tamiz número 4 en este caso. La que también se ve afectado en el costo lo cual es costo real del suelo natural es 3 248 dólares.

Con todos estos datos obtenidos podemos realizar un análisis de precios unitarios de los ladrillo suelo-cemento teniendo en cuenta que todos los precios están incluido el IVA. Se realizara con una producción de 1 000 ladrillos que se verá reflejado en los siguientes rubros:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CON EL 10 % DE CEMENTO				
COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1000 LADRILLO SUELO-CEMENTO				
ITEM	2	UNIDAD		u
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Suelo natural	m^3	0,916	3,248	2,976
Arena	m^3	0,937	20,000	18,744
Cemento	saco (50kg)	10,858	7,270	78,938
Agua	m^3	0,814	0,270	0,220
Subtotal=				100,877
MANO DE OBRA				
Peón	Hom./Jorn.	2,000	22,270	44,540
Subtotal=				44,540
EQUIPO				
Cinva-ram	\$			0,685
Subtotal=				0,685
TOTAL COSTO DIRECTO				146,102

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CON EL 8 % DE CEMENTO				
COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1000 LADRILLO SUELO-CEMENTO				
ITEM	3	UNIDAD		u
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Suelo natural	m^3	0,983	3,248	3,193
Arena	m^3	0,983	20,000	19,658
Cemento	saco (50kg)	8,581	7,270	62,380
Agua	m^3	0,724	0,270	0,195
Subtotal=				85,427
MANO DE OBRA				
Peón	Hom./Jorn.	2,000	22,270	44,540
Subtotal=				44,540
EQUIPO				
Cinva-ram	\$			0,685
Subtotal=				0,685
TOTAL COSTO DIRECTO				130,651

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS CON EL 6 % DE CEMENTO				
COSTO DE PRODUCCIÓN DE 1000 LADRILLO SUELO-CEMENTO				
ITEM	3	UNIDAD		u
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	VALOR TOTAL
MATERIALES				
Suelo natural	m^3	1,030	3,248	3,344
Arena	m^3	0,984	20,000	19,683
Cemento	saco (50kg)	6,362	7,270	46,254
Agua	m^3	0,583	0,270	0,157
Subtotal=				69,438
MANO DE OBRA				
Peón	Hom./Jorn.	2,000	22,270	44,540
Subtotal=				44,540
EQUIPO				
Cinva-ram	\$			0,685
Subtotal=				0,685
TOTAL COSTO DIRECTO				114,663

Los costos de los ladrillos suelo-cemento se van a ver reflejados en la siguiente tabla:

COSTO DE LOS LADRILLOS SUELO-CEMENTO		
% DE CEMENTO	COSTO DIRECTO DE 1000 LADRILLOS	COSTO POR UNIDAD
10	\$147.93	15 ctvs.
8	\$132.67	13 ctvs.
6	\$116.81	11 ctvs.

4.4 Resultados de la investigación

Los resultados de la investigación fueron muy provechosos porque de hecho tanto la resistencia y el costo del ladrillo son acordó a lo existente en el mercado donde se podría competir con el ladrillo panelón donde nos beneficiaría abastecer la demanda insatisfecha existente en el mercado y así como disminuir la contaminación ambiental que es provocado por la quema de los ladrillos artesanales en Cuenca ya que es la segunda fuente de contaminación en la ciudad.

De acuerdo con las normas INEN 297 el ladrillo suelo-cemento cumple la normativa la que expresa la siguiente tabla:

Tipo de ladrillo	Resistencia mínima a la compresión (kg/cm^2)	Absorción máxima de humedad (%)
Tipo A	254,93	16
Tipo B	163,15	18
Tipo C	81,58	25

El ladrillo con 10 % de cemento cumple con la norma tipo C. Es muy importante tener un ladrillo que cumpla con una norma establecida en el país ya que ninguna ladrillera en Cuenca tomada anteriormente como Sayausi y Racar cumplen con la norma INEN.

Las características de del ladrillo suelo-cemento se van a ver reflejadas en el siguiente cuadro:

% de cemento	Humedad óptima (%)	% de absorción	% de pérdida de peso	Compresión 7 días (kg/cm^2)	Compresión 28 días (kg/cm^2)
10	17,40	17,00	13,52	43,48	83,62
8	15,90	18,72	17,36	18,59	61,88
6	13,80	19,20	19,42	16,42	53,09

4.5 Especificaciones técnicas

Ladrillos

Generalidades

Esta sección cubre la elaboración del ladrillo ecológico tomando en cuenta que deben ser dosificados de conformidad con las normas de dosificación de suelo cemento y cumpliendo con la resistencia del ladrillo del instituto ecuatoriano de normalización-INEN (2011).

Materiales

- Suelo natural: este suelo debe tener presencia de arena, limo y arcilla; aunque estos últimos en escasa proporción para que den cohesión a la mezcla y composición granulométrica, sin que produzcan contracciones bruscas; se debe extraer a una profundidad mayor a 40 cm, para quitar la capa vegetal superficial; el suelo a emplear debe estar limpio de basura y no debe contener materia orgánica que pueda descomponerse en el tiempo; debe evitarse usar suelos que cambien mucho su volumen al humedecerse o secarse como arcillas expansivas y suelos orgánicos.
- Arena: en caso que demuestre inaptitud de la tierra para elaborar suelo-cemento, es posible agregar arena a la mezcla; la calidad de la arena debe ser uniforme, limpia, densa, libre de lodos y materia orgánica y el tamaño debe estar comprendido entre 0,5 y 4,8 mm muy bien gradado; la proporción óptima es 75 % de arena y 25 % de limo y arcilla.
- Cemento: el cemento que se usara es el gris normal, denominado Portland Puzolanico Tipo IP, sin aditivos. Certificado de acuerdo a la norma NTE INEN 490, equivalente a la norma norteamericana ASTM 595.
- Agua: el agua para la dosificación de la mezcla deberá ser limpia sin ácidos, aceite, sales, materiales orgánicos, limos o cualquier sustancia que pueda perjudicar la calidad, resistencia o durabilidad del ladrillo.
- Equipo: la herramienta menor debe tener un equipo mínimo de palas, carretillas, mallas 3/8 y 4.8 mm para clasificación de material y como herramienta mayor

se utilizara una máquina para producir ladrillos macizos de suelo cemento la maquina debe contar como mínimo con sus tres partes principales:

1. Un bastidor, cuya parte superior constituye las paredes de la caja o molde.
 2. La tapadera del molde se abre o se cierra girando 90° en un plano horizontal
 3. El fondo debe ser movable del molde de la maquina
 4. Debe tener un dispositivo de palanca
 5. Debe tener una presión de 5 a 7 toneladas y una producción mínima de 600 a 1 000 ladrillos por jornada de 8 horas.
- Mano de obra: se puede prescindir de mano de obra especializada, lo que permite la participación de dos peones por máquina.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los estudios realizados, se puede concluir que:

- El ladrillo suelo-cemento es una alternativa beneficiosa para el sector de la construcción en la región porque, es un ladrillo que no contamina al medio ambiente y su resistencia es superior a la que se producen en el medio.
- Al realizarse los ensayos para elaborar ladrillos suelo-cemento siguiendo los lineamientos estrictamente tipificados para el efecto y, basándose, una parte, en la normativa de dosificación de mezclas suelo-cemento propuesta por la Portland Cement Association y, otra parte, por el instituto ecuatoriano de normalización, se logró desarrollar un procedimiento general de producción de ladrillo ecológico resistente, simple y económico.
- Con respecto al costo del ladrillo, ello depende básicamente del porcentaje de cemento que se coloque en la mezcla para producir el ladrillo que, en este caso, de acuerdo con las norma INEN es del 10 % de cemento por lo que el costo, por unidad, es de quince centavos de dólar americano, que no es muy elevado con respecto al ladrillo panelón que se comercializa en el mercado local.
- Los ladrillos realizados con el suelo natural, arena y dosificados al 10 % de cemento cumplen con las especificaciones de resistencia a compresión y tienen mejor comportamiento ante los ensayos de durabilidad; no obstante, las estructuras de ladrillos de suelo-cemento, con contenidos de cemento del 8 % o menos, siempre necesitan protección ante la lluvia y la humedad para garantizar su mayor permanencia en estado útil.
- Consecuentemente, se consiguió determinar el costo y la resistencia del ladrillo suelo-cemento obtenido mediante ensayos y comparar los resultados obtenidos con los ladrillos existentes en el mercado.

De la misma manera, se pudo establecer, las siguientes recomendaciones:

- Que el fraguado del ladrillo debe realizarse con cautela ya que es muy importante para la resistencia a compresión que se va a obtener a los 28 días, así como la humedad óptima puesto que ésta determina la durabilidad y la resistencia del producto.
- Que hay que mejorar el suelo natural en un porcentaje de arena del 75 % y 25 % arcilla para que, de esta forma, llegue a tener una dosificación correcta y provechosa.

- Que se debe extraer el suelo a una profundidad mayor de 40 cm como mínimo para no tomar material orgánico y así no afecte la dosificación del ladrillo.
- Que la Cámara de la Construcción promueva ferias de exposiciones para la difusión de los beneficios de este tipo de ladrillo tanto en su resistencia como en su costo.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials-AASHTO. (2009). *Guía para la clasificación de suelos*. Barcelona: Lobher Editorial.
- Asociación de Cemento Portland. (2004). *Normas, Diseño y Control de mezclas*. Quito: Editorial Océano.
- Boletín Técnico. (2013, Abril). *Análisis de factibilidad para la construcción de la vivienda unifamiliares utilizando el sistema estructural liviano*. Cámara de la construcción de Cuenca. Página 47-50.
- Colegio de Arquitectos del Ecuador. (2009). *Materiales utilizados en la construcción*. Quito: Imprimax
- De la Fuente, E. (2003). *Suelo-cemento, usos, propiedades y aplicaciones*. México: Editorial Balén.
- Etchichury, D. (2006). *Construcción de viviendas económicas con suelo-cemento monolítico*. Buenos Aires: Editorial del Cordo.
- Gatani, M. (2000). *Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible*. Madrid: Editorial Ecu.
- Gatani, M. (2002), *La tierra cruda en la construcción del hábitat*. Buenos Aires: Alfagrama Ediciones.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2010). *Informe del censo nacional de población y vivienda*. Quito: E.Q. Editorial.
- Instituto Nacional de Normalización. (2011). *Normas técnicas ecuatorianas*. Quito: Editorial Don Bosco.
- Municipalidad de Cuenca. (2012). *Contaminación del aire en la ciudad de Cuenca*. Cuenca: Editorial Casa de la Cultura.
- Rodríguez, D. y otros. (2001). *Comportamiento de mezclas de suelo-cemento fluido*. ELima: Editora Centeno.
- Taishin. (2011). *Construcción de una vivienda con mampostería de ladrillo de suelo-cemento confinada*. San Salvador: Ediorial La Tarjeta.
- Taishin. (2011). *Mampostería suelo cemento confinada*. San Salvador: Editorial La Tarjeta.
- Toirac, J. (2008). *El suelo-cemento como material de construcción*. Bogotá: Celeste Ediciones.

- Tomasini, y otros. (2004). *Diseño racional de ladrillos de suelo-cemento y análisis para su utilización en viviendas de interés social*. Santiago de Chile: Editorial Forja.

ANEXO

Obtención de los del suelo natural al inicio de una excavación para la construcción de una vivienda unifamiliar. (Sector Yanuncay - Cuenca).



Ensayos realizados en el laboratorio de la universidad del Azuay:

- Determinación de los ensayos preliminares de los materiales
- Determinación del peso específico y absorción de los granos de suelo



LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD DEL AZUAY

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS Y % DE ABSORCION

SUELO NATURAL

peso en el aire de la muestra secada en el horno	A	470 gramos
peso en el aire de la muestra en condición s.s.s.	B	500 gramos
peso en el agua de la muestra en condición s.s.s	C	256 gramos

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.	$A/(B-C)$	1,926
GRAVEDAD ESPECÍFICA S.S.S.	$B/(B-C)$	2,049
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE.	$A/(A-C)$	2,196
% DE ABSORCION	$(B-A)/A*100$	6,383

ARENA

peso en el aire de la muestra secada en el horno	A	485 gramos
Volumen de la probeta.	B	500 gramos
Peso del agua incluida.	C	303 gramos

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.	$A/(B-C)$	2,46
GRAVEDAD ESPECÍFICA S.S.S.	$B/(B-C)$	2,54
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE.	$A/(A-C)$	2,66
% DE ABSORCION	$(B-A)/A*100$	3,09

SUELO NATURAL + ARENA

Peso en el aire de la muestra secada en el horno	A	478 gramos
Volumen de la probeta.	B	500 gramos
Peso del agua incluida.	C	280 gramos

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK.	$A/(B-C)$	2,17
GRAVEDAD ESPECÍFICA S.S.S.	$B/(B-C)$	2,27
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE.	$A/(A-C)$	2,41
% DE ABSORCION	$(B-A)/A*100$	4,60

Determinación del límite líquido y plástico del suelo



LABORATORIO DE INGENIERÍA CIVIL UNIVERSIDAD DEL AZUAY

LIMITE PLÁSTICO Y LIQUIDO DEL SUELO

SUELO NATURAL

NUMERO DE TARRO	Nº DE GOLPES	PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DEL TARRO	% DE HUMEDAD	% PROMEDIO
-----------------	--------------	-------------	-----------	----------------	--------------	------------

LIMITE LIQUIDO (ASTM 423-66)

15	28	20,75	16,04	6,15	47,6	47,3
23	113	22,05	17,15	6,71	46,9	

LIMITE PLÁSTICO (ASTM D424-59)

12	0	9,74	8,9	6,67	37,7	38,4
9	0	9,9	9,01	6,71	38,7	
4	0	9,8	8,97	6,83	38,8	

LIMITE LIQUIDO:	47,3 %
LIMITE PLÁSTICO:	38,4 %
ÍNDICE DE PLASTICIDAD:	8,9 %

ARENA

NO PLÁSTICO

NO PLÁSTICO

SUELO NATURAL + ARENA

NO PLÁSTICO

NO PLÁSTICO

OBSERVACIONES:

Determinación del módulo de finura de la arena

Tengamos la siguiente prueba granulométrica y calcular el módulo de finura.



Tamiz No.	Peso retenido	% retenido	% que pasa
4	0,00	0,00	100,00
8	125,00	25,61	74,39
16	208,00	42,62	57,38
30	256,00	52,46	47,54
50	328,00	67,21	32,79
100	342,00	70,08	29,92

Módulo de finura = $(0+25,61+42,62+52,46+67,21+70,08)/100 = 257,98/100 = 2,58 \approx 2,6$

Ensayo a compresión del ladrillo



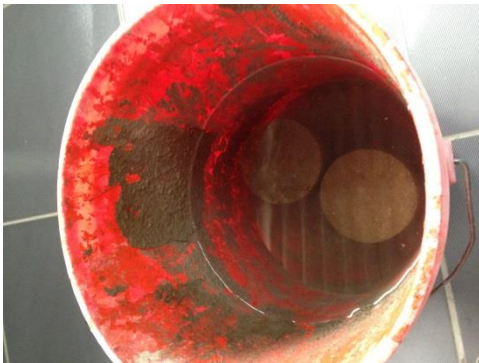
Ensayo de compactación de suelo-cemento (SC-1)



Moldeado de probetas de ensayo de suelo-cemento (método SC-2)



Ensayo de durabilidad por mojado y secado (método SC-3)



Ensayo de absorción de humedad (SC-4)



Ensayo a compresión de probeta de ensayo de suelo cemento (SC-4)



Síntesis del proceso de fabricación

- 1) Se mezcla la arena con el suelo natura



- 2) Luego se agrega cemento según el dosaje pre-establecido



- 3) Los componentes tierra y cemento son mezclados en seco



- 4) Cuando esta mezcla adquiere un color uniforme, se agrega agua



- 5) La mezcla se coloca en el molde y es compactada



- 6) Se saca la probeta cuidadosamente



7) Se coloca en la cámara húmeda para que comience le curado

