



Universidad Andina del Cusco
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Carrera profesional de Ingeniería Civil



Tesis:

“Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018”

Presentado por: Bachiller Oskar Fabricio Velásquez Flores

Bachiller Diego Humberto Avalos Huaman

Para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. José Alberto Montesinos Cervantes

CUSCO – PERÚ

2018



Dedicatoria

A Dios, por darme fuerza para culminar mis estudios y por darme la oportunidad de participar de un proyecto que involucra directamente la investigación en beneficio de la sociedad.

A mis padres por darme una carrera para mi futuro y a mis hermanos por el simple hecho de que existan. A mi madre en especial por tener la infinita paciencia de comprender mis debilidades, todo esto se lo debo a ustedes

Diego Humberto Avalos Huaman

Lleno de alegría, dedico esta investigación a Dios y mis seres queridos quienes fueron mis pilares para seguir adelante.

A mis padres, que me dieron la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera y siempre fueron mi apoyo incondicional.

A mi hermana que nunca dudo de mí y estuvo apoyándome siempre.

A mi casa de estudios por ser parte importante en mi desarrollo profesional.

Oskar Fabricio Velásquez Flores



Agradecimiento

Los autores desean agradecer a Dios por bendecirnos y permitirnos llegar hasta esta etapa de nuestras vidas.

A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Andina de Cusco que nos acompañaron a lo largo de nuestra carrera profesional, por compartir sus conocimientos y formarnos como profesionales.

Agradecemos a nuestros padres por el apoyo incondicional que nos brindaron en todo el desarrollo de nuestra formación personal y profesional, a nuestros hermanos y familiares que estuvieron presentes en cada momento, apoyándonos y alentándonos a no rendirnos y seguir adelante.

A nuestros asesores de tesis, que a través de sus conocimientos, paciencia, motivación y amistad nos apoyaron en el desarrollo de la presente investigación.

A nuestros amigos, que fueron un apoyo emocional importante en nuestras vidas.

A todas las personas que han formado parte de nuestra formación personal y profesional.



Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería estabilizadas con el sistema CONSOLID (C-444 y SOLIDRY) elaboradas con la tierra cruda de las zonas de Huancaro, distrito de Santiago y Wimpillay, distrito de San Sebastián, como una propuesta de material de construcción sostenible.

Para esto se realizaron ensayos para caracterizar cada suelo, tales como: análisis granulométrico, límites de Atterberg y ensayo de Proctor. Cabe resaltar que la humedad hallada mediante el ensayo Proctor Modificado, no permitió una correcta trabajabilidad del ladrillo para ningún tipo de suelo trabajado, por lo que se realizó un ensayo Proctor adaptado al contexto en el cual se elaboraron las unidades, donde se utilizaron distintos porcentajes de agua para encontrar la humedad óptima. Para respaldar los resultados, se ensayaron unidades con diferentes porcentajes de humedad al ensayo de resistencia a la compresión. Posteriormente, se fabricaron las unidades de albañilería con los aditivos del sistema CONSOLID. Para hallar las dosificaciones óptimas de los aditivos, se elaboraron unidades de albañilería con distintas dosificaciones, primero se utilizó el aditivo CONSOLID (C-444), donde se evaluó la resistencia a la compresión de las unidades y se escogió aquella dosificación que se comportaba de manera más eficiente, después se añadió SOLIDRY y se evaluó de la misma manera que con el aditivo C-444. Estas unidades fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión para ser evaluados puesto que esta propiedad mecánica es directamente proporcional a la calidad del producto. Una vez obtenidos los valores óptimos de humedad, la dosificación de aditivo C-444 y SOLIDRY, se elaboraron las unidades de albañilería finales. A estas unidades se le evaluaron sus propiedades físico-mecánicas tales como: peso, alabeo, variación dimensional, absorción, succión, resistencia a la compresión y módulo de rotura siguiendo los parámetros establecidos en la norma E.070 (2006) y la NTP 399.613 (2005).

Como resultado final, se obtuvo que las unidades de albañilería elaboradas con estos porcentajes y dosificaciones óptimas aseguran al menos una resistencia a la compresión de 20 kg/cm^2 para ambos suelos.

Palabras clave: sistema CONSOLID, unidad de albañilería de tierra, propiedades físico-mecánicas de ladrillos.



Abstract

The present investigation aimed to the evaluation of the physical and mechanical properties of masonry units stabilized with CONSOLID system (C-444 and SOLIDRY), elaborated with raw soil from the zones of Huancaro, from Santiago's district and Wimpillay, from San Sebastian's district, as a proposal for a sustainable material construction.

For this purpose, it was necessary to characterize each soil with test such as grain size analysis, Atterberg limits and Proctor compaction test. It is worth to mention that the optimum moisture content (OMC) calculated through Proctor test did not allowed a proper workability, for this reason, an adapted Proctor test took place, one who took in count the context in which the masonry units were elaborated, where different percentages of moisture were used to found the new OMC. For backup purposes, other masonry units were test with the compressive strength test (CST). Later on, the elaboration of the masonry units stabilized with CONSOLID system took place. In order to find the optimum dosages of the additives, masonry units were elaborated with different dosages, additive C-444 was implemented first, compressive strength was evaluated and the dosage which behave more efficiently was chosen, later on additive SOLIDRY was implemented. The optimum dosage for additive SOLIDRY was chosen the same way than the additive C-444. These units were tested with the compressive strength test because this mechanical property is directly proportional to the quality of the product. Once obtained the values of optimum moisture content, optimum dosage of C-444 and optimum dosage of SOLIDRY additive, the ultimate masonry units were elaborated. Finally, the physical and mechanical properties of these optimum masonry units were evaluated with tests such as weight, dimension tolerances, absorption, suction, compressive strength and flexural tensile strength according to the established parameters in the norm E.070 (2006) and NTP 399.613 (2005).

As a result, the researchers concluded that the masonry units elaborated with theses optimum percentages and dosages ensure at least a compressive strength of 20 kg/cm^2 for both of the soils.

Key words: CONSOLID system, C-444 additive, SOLIDRY additive, masonry units, sustainable, physical and mechanical properties.



Introducción

En Perú, uno de los materiales de construcción más utilizados son las unidades de albañilería de arcilla cocida, conocidas como ladrillos. En la ciudad del Cusco, estas unidades de albañilería, no siempre son las más óptimas para realizar estructuras debido a su deficiente proceso de fabricación ya que se elaboran en lugares improvisados, sin un adecuado control de calidad. Esto, ocasiona que no se cumpla con los requerimientos mínimos exigidos por la Norma Técnica de Edificaciones E.070 (2006). A su vez, el proceso de fabricación de las unidades de albañilería contamina el medio ambiente y afecta a la población de la ciudad de Cusco, debido a que se utilizan hornos para la cocción de dichas unidades, donde se queman diferentes materiales los cuales emanan gases tóxicos. Por lo tanto, es necesario plantear otro sistema de fabricación de unidades de albañilería que, además de no contaminar, cumplan con los parámetros físicos y mecánicos que se exigen en las normas.

Las unidades comprimidas de tierra han demostrado tener un comportamiento adecuado. Sin embargo, éstas necesitan ser estabilizadas para evitar que se desintegren. Los materiales comunes que se usan para estabilizarlas son cemento, cal, asfalto, etc., pero tienen la desventaja de contaminar el suelo. Es así, que se propone utilizar aditivos del sistema CONSOLID el cual es utilizado en carreteras, con la finalidad de incrementar su CBR convirtiendo el material in situ en adecuado para su uso. El sistema CONSOLID, se basa en la aplicación de dos aditivos, un componente líquido (C-444), que permite la aglomeración irreversible de las partículas y un componente en polvo (SOLIDRY), que refuerza la protección contra el agua.

Por lo tanto, en esta investigación se propone, como una alternativa de material de construcción, a la unidad de albañilería compactada, fabricada a partir del suelo de la zona como materia prima y estabilizada con el sistema CONSOLID, para mejorar sus propiedades físico-mecánicas, de tal manera que cumpla con las exigencias de la norma E.070 (2006).



Índice general

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Introducción	v
Índice general	vi
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1. Identificación del problema	1
1.1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.2. Formulación interrogativa del problema	3
1.2. Justificación e importancia de la investigación.....	3
1.2.1. Justificación técnica	3
1.2.2. Justificación social	4
1.2.3. Justificación por viabilidad	4
1.2.4. Justificación por relevancia.....	5
1.3. Limitaciones de la investigación.....	5
1.4. Objetivos de la investigación	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
Capítulo II: Marco teórico.....	8
2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual	8
2.1.1. Antecedentes a nivel nacional	8
2.1.2. Antecedentes a nivel internacional.....	9
2.2. Aspectos teóricos pertinentes	10
2.2.1. Sistema CONSOLID	10



2.2.2.	Suelos	13
2.2.3.	Albañilería.....	20
2.3.	Hipótesis.....	34
2.3.1.	Hipótesis general	34
2.3.2.	Sub hipótesis	35
2.4.	Definición de variables	35
2.4.1.	Variables de estudio	35
2.4.2.	Cuadro de operacionalización de variables.....	36
Capítulo III: Metodología.....		37
3.1.	Metodología de la investigación	37
3.1.1.	Enfoque de la investigación	37
3.1.2.	Nivel o alcance de la investigación.....	37
3.1.3.	Método de la investigación	37
3.2.	Diseño de la investigación	37
3.2.1.	Diseño metodológico	38
3.2.2.	Diseño de Ingeniería	38
3.3.	Población y muestra	40
3.3.1.	Población.....	40
3.3.2.	Muestra.....	40
3.3.3.	Criterios de inclusión	42
3.4.	Instrumentos.....	43
3.4.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos instrumentos de ingeniería.....	43
3.5.	Procedimientos de recolección de datos	50
3.5.1.	Extracción de material.....	50
3.5.2.	Ensayo de granulometría.....	51



3.5.3.	Ensayo de límite líquido.....	53
3.5.4.	Ensayo de límites plástico	56
3.5.5.	Ensayo de Proctor.....	58
3.5.6.	Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería	63
3.5.7.	Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería.....	68
3.5.8.	Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444	72
3.5.9.	Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444	77
3.5.10.	Ensayo de determinación del peso	82
3.5.11.	Ensayo de alabeo	87
3.5.12.	Ensayo de absorción.....	92
3.5.13.	Ensayo de succión	95
3.5.14.	Ensayo de variación dimensional	99
3.5.15.	Ensayo de resistencia a la compresión	104
3.5.16.	Ensayo de módulo de rotura.....	107
3.6.	Procedimiento de análisis de datos	110
3.6.1.	Análisis del ensayo de límite líquido y límite plástico.....	110
3.6.2.	Análisis del ensayo de granulometría.....	113
3.6.3.	Análisis del ensayo de Proctor	115
3.6.4.	Análisis del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad versus de las unidades de albañilería.....	119
3.6.5.	Análisis del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería	124



3.6.6. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C - 444..... 128

3.6.7. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444 133

3.6.8. Análisis del ensayo de determinación del peso 139

3.6.9. Análisis del ensayo de alabeo..... 144

3.6.10. Análisis del ensayo de absorción 149

3.6.11. Análisis del ensayo de succión..... 152

3.6.12. Análisis del ensayo de variación dimensional..... 154

3.6.13. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión..... 211

3.6.14. Análisis del ensayo de módulo de rotura 215

Capítulo IV: Resultados 219

4.1. Resultado de ensayo de suelos 219

4.1.1. Resultados del ensayo de granulometría 219

4.1.2. Resultados del ensayo de límite líquido..... 221

4.1.3. Resultados del ensayo de límite plástico..... 221

4.1.4. Resultados de los ensayos de Proctor..... 222

4.2. Resultado de los ensayos a las unidades de albañilería 224

4.2.1. Resultado de los ensayos para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería..... 224

4.2.2. Resultados de los ensayos para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería..... 225

4.2.3. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444 225

4.2.4. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444..... 225

4.2.5. Resultados de los ensayos de determinación del peso 225



4.2.6. Resultados de los ensayos de alabeo 226

4.2.7. Resultados de los ensayos de absorción 226

4.2.8. Resultados de los ensayos de succión 226

4.2.9. Resultados de los ensayos de variación dimensional 226

4.2.10. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión 227

4.2.11. Resultados de los ensayos de módulo de rotura 227

Capítulo V: Discusión 228

Glosario 235

Conclusiones 237

Recomendaciones 243

Referencias Bibliográficas 245

Anexos 247

Índice de Tablas

Tabla 1. Estados de consistencia 15

Tabla 2. Subdivisión de los suelos gruesos 16

Tabla 3. Subdivisión de los suelos finos 17

Tabla 4. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería 24

Tabla 5. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales 25

Tabla 6: Cuantificación de las muestras 41

Tabla 7: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de granulometría* 43

Tabla 8: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de límites de Atterberg* 44

Tabla 9: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de Proctor* 44

Tabla 10: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de determinación de humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería* 45



Tabla 11: Hoja de recolección de datos para el *ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería*..... 45

Tabla 12: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C - 444* 46

Tabla 13: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444*..... 46

Tabla 14: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de determinación del peso* 47

Tabla 15: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de alabeo* 47

Tabla 16: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de absorción*..... 48

Tabla 17: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de succión*..... 48

Tabla 18: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de variación dimensional*..... 49

Tabla 19: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de resistencia a la compresión*..... 49

Tabla 20: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de módulo de rotura*..... 50

Tabla 21: Ensayo de granulometría – Suelo Santiago..... 52

Tabla 22: Ensayo de granulometría – Suelo San Sebastián. 53

Tabla 23: Ensayo de límite líquido – Suelo Santiago. 55

Tabla 24: Ensayo de límite líquido – Suelo San Sebastián. 56

Tabla 25: Ensayo de límite plástico – Suelo Santiago. 57

Tabla 26: Ensayo de límite Plástico – Suelo San Sebastián..... 58

Tabla 27: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (primer ensayo)..... 60

Tabla 28: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (segundo ensayo) 60

Tabla 29: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (tercer ensayo) 61

Tabla 30: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (primer ensayo) 61

Tabla 31: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (segundo ensayo)..... 62

Tabla 32: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (tercer ensayo) 62

Tabla 33: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (primer ensayo). 65



Tabla 34: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (segundo ensayo). 65

Tabla 35: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (tercer ensayo). 66

Tabla 36: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (primer ensayo). 66

Tabla 37: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (segundo ensayo). 67

Tabla 38: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (tercer ensayo). 67

Tabla 39: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería– suelo de Santiago..... 70

Tabla 40: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería – suelo de San Sebastián. 71

Tabla 41: Dosificaciones planteadas de aditivo C-444. 72

Tabla 42: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444 – Suelo de Santiago. 75

Tabla 43: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444 – Suelo de San Sebastián..... 76

Tabla 44: Dosificaciones de aditivo C-444 para cada suelo. 77

Tabla 45: Humedad respectiva para la elaboración de unidades de albañilería. 77

Tabla 46: Dosificaciones de aditivo SOLIDRY 78

Tabla 47: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY +C-444 – Suelo de Santiago 80

Tabla 48: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444 – Suelo de San Sebastián. 81

Tabla 49: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago..... 83



Tabla 50: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago..... 84

Tabla 51: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián. 85

Tabla 52: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 86

Tabla 53: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago. 88

Tabla 54: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago. 89

Tabla 55: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián..... 90

Tabla 56: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 91

Tabla 57: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago..... 93

Tabla 58: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago..... 94

Tabla 59: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián. 94

Tabla 60: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 95

Tabla 61: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago. 97

Tabla 62: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago..... 97

Tabla 63: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián..... 98



Tabla 64: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 98

Tabla 65: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago..... 100

Tabla 66: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago..... 101

Tabla 67: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián. 102

Tabla 68: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 103

Tabla 69: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago. 105

Tabla 70: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago. 105

Tabla 71: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián..... 106

Tabla 72: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián..... 106

Tabla 73: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago..... 108

Tabla 74: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago. 108

Tabla 75: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián. 109

Tabla 76: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián. 109

Tabla 77: Ensayo para determinar el límite líquido y el límite plástico - Suelo de Santiago 110

Tabla 78: Ensayo para determinar el límite líquido y el límite plástico - Suelo de San Sebastián 111



Tabla 79: Ensayo para determinar la granulometría – Suelo de Santiago. 113

Tabla 80: Ensayo para determinar la granulometría – San Sebastián 113

Tabla 81: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (primer ensayo)... 115

Tabla 82: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (segundo ensayo). 116

Tabla 83: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (tercer ensayo). 116

Tabla 84: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (primer ensayo).
..... 117

Tabla 85: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (segundo ensayo).
..... 118

Tabla 86: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (tercer ensayo).
..... 118

Tabla 87: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (primer ensayo)... 121

Tabla 88: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (segundo ensayo). 121

Tabla 89: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (tercer ensayo). 121

Tabla 90: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (primer ensayo).
..... 122

Tabla 91: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (segundo ensayo).
..... 123

Tabla 92: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (tercer ensayo).
..... 123

Tabla 93: Ensayo para determinar la humedad óptima comparando la resistencia a la
compresión versus humedad de la unidad de albañilería – Suelo Santiago. 125

Tabla 94: Ensayo para determinar la humedad óptima comparando la resistencia a la
compresión versus humedad de la unidad de albañilería – Suelo San Sebastián..... 126

Tabla 95: Resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo
Santiago..... 129

Tabla 96: Desviación estándar y coeficiente de variación para las dosificaciones de C-444 –
Suelo Santiago..... 130



Tabla 97: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 – Suelo Santiago..... 130

Tabla 98: Resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián..... 131

Tabla 99: Desviación estándar y coeficiente de variación para diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián. 132

Tabla 100: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada dosificación de aditivo C- 444 – Suelo San Sebastián. 132

Tabla 101: Resistencia a la compresión vs porcentaje de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo Santiago..... 135

Tabla 102: Desviación estándar y coeficiente de variación para SOLIDRY – Suelo Santiago. 135

Tabla 103: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 y SOLIDRY – Suelo Santiago. 136

Tabla 104: Resistencia a la compresión vs porcentaje de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián..... 137

Tabla 105: Desviación estándar y coeficiente de variación para C-444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián..... 137

Tabla 106: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián. 137

Tabla 107: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago. 140

Tabla 108: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo del suelo de Santiago. 141

Tabla 109 Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián..... 142

Tabla 110: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo del suelo de San Sebastián..... 143



Tabla 111: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago..... 145

Tabla 112: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo CONSOLID del suelo de Santiago..... 146

Tabla 113: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián..... 147

Tabla 114: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo CONSOLID del suelo de San Sebastián. 148

Tabla 115: Ensayo de absorción para suelo de Santiago sin aditivo..... 150

Tabla 116: Ensayo de absorción para suelo de Santiago con aditivo C-444 Y SOLIDRY. .. 150

Tabla 117: Ensayo de absorción para suelo de San Sebastián sin aditivo. 151

Tabla 118: Ensayo de absorción para suelo de San Sebastián con aditivo C-444 Y SOLIDRY. 151

Tabla 119: Ensayo de succión para suelo de Santiago sin aditivo. 152

Tabla 120: Ensayo de succión para suelo de Santiago con aditivo C-444 Y SOLIDRY..... 152

Tabla 121: Ensayo de succión para suelo de San Sebastián sin aditivo..... 153

Tabla 122: Ensayo de succión para suelo de San Sebastián con aditivo C-444 Y SOLIDRY. 153

Tabla 123: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago..... 156

Tabla 124: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago..... 158

Tabla 125: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián. 160

Tabla 126: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián. 162

Tabla 127: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo Santiago sin aditivo. 212



Tabla 128: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY..... 213

Tabla 129: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián sin aditivo..... 213

Tabla 130: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY..... 214

Tabla 131: Ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago sin aditivo..... 216

Tabla 132: Ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY..... 217

Tabla 133: Ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián sin aditivo. 217

Tabla 134: Ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY..... 218

Tabla 135: Porcentaje de material que pasa del análisis granulométrico del suelo de Santiago 219

Tabla 136: Porcentaje de material que pasa del análisis granulométrico del suelo de San Sebastián..... 220

Tabla 137: Límite plástico del suelo de Santiago. 221

Tabla 138: Límite plástico del suelo de San Sebastián. 221

Tabla 139: Resultados del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad. 224

Tabla 140: Resultados del ensayo de humedad versus resistencia a la compresión. 225

Tabla 141: Dosificaciones de aditivo C-444 óptimas. 225

Tabla 142: Dosificaciones de aditivo SOLIDRY óptimo. 225

Tabla 143: Peso de las unidades de albañilería según el ensayo de determinación del peso. 225

Tabla 144: Resumen de resultados del ensayo de alabeo..... 226

Tabla 145: Resumen de resultados del ensayo de absorción. 226

Tabla 146: Resumen de resultados del ensayo de succión..... 226

Tabla 147: Resumen de resultados del ensayo de variación dimensional..... 226



Tabla 148: Resultado del ensayo de resistencia a la compresión..... 227

Tabla 149: Resultado del ensayo de módulo de rotura. 227

Tabla 150: Comparación de las propiedades estabilizadas y no estabilizadas..... 230

Tabla 151: Clasificación de las unidades de albañilería estabilizadas 232

Tabla 152: Comparación de propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de Santiago..... 241

Tabla 153: Comparación de propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián..... 241

Tabla 154: Comparación de las propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de Santiago con las normas E.070 y E.080 237

Tabla 155: Comparación de las propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián con las normas E.070 y E.080..... 238

Índice de Figuras

Figura 1: Consecuencias del terremoto de Pisco..... 1

Figura 2: Fabricación de ladrillos en la ciudad de Cusco 2

Figura 3: Justificación social..... 5

Figura 4: Carta de plasticidad de suelos..... 18

Figura 5: Curva de distribución granulométrica 19

Figura 6: Denominación de ladrillos según su dimensión y peso 21

Figura 7: Tipos de unidades de albañilería..... 23

Figura 8: Modelo de ensayo de módulo de rotura..... 31

Figura 9: Cuña de medición para el ensayo de alabeo 32

Figura 10: Extracción de material suelo de las zonas de San Sebastián y Santiago 50

Figura 11: Proceso de desmenuzamiento de terrones de tierra para análisis granulométrico.. 51

Figura 12: Pesado del material retenido en el ensayo de granulometría 52

Figura 13: Material tamizado por la malla N° 40..... 54

Figura 14: Muestra antes y después del ensayo de límites de consistencia 54



Figura 15: Ensayo de límites de consistencia..... 55

Figura 16: Muestra para ensayo de límite plástico..... 56

Figura 17: Muestra de ensayo de límite plástico siendo pesado antes de ser llevado a horno. 57

Figura 18: Tamizado de material para ensayo de Proctor 59

Figura 19: Ensayo de Proctor 59

Figura 20: Mezcla de agua con tierra de la zona de Huancaro para la elaboración de unidades de albañilería 63

Figura 21: Ladrillo resultado de la compactación con la máquina FORZA 64

Figura 22: Material suelo extraído de la unidad de albañilería para hallar su humedad natural 64

Figura 23: Preparación del material para el ensayo de resistencia a la compresión 69

Figura 24: Ensayo de resistencia a la compresión..... 69

Figura 25: Elaboración de unidades de albañilería con aditivo C-444 73

Figura 26: Ensayo de resistencia a la compresión..... 74

Figura 27: Extracción de tierra de las unidades de albañilería ensayadas..... 74

Figura 28: Mezclado de tierra con aditivo SOLIDRY 78

Figura 29: Ensayo de resistencia a la compresión en el laboratorio GEOTEST..... 79

Figura 30: Extracción de muestra de las unidades de albañilería para corroborar su humedad natural al día del ensayo 79

Figura 31: Determinación del peso de las unidades..... 82

Figura 32: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería 87

Figura 33: Unidades de albañilería sumergidas en agua potable durante 24 horas..... 92

Figura 34: Proceso de registro del peso de la unidad después de ser sumergida en agua durante 24 horas 93

Figura 35: Ensayo de succión..... 96

Figura 36: Ensayo de variación dimensional 99

Figura 37: Ensayo de resistencia a la compresión..... 104



Figura 38: Ensayo de módulo de rotura 107

Figura 39: Gráfico de fluidez del suelo de Santiago 111

Figura 40: Gráfico de fluidez del suelo de San Sebastián..... 111

Figura 41: Carta de plasticidad, clasificación del suelo de Santiago. 112

Figura 42: Carta de plasticidad, clasificación del suelo de San Sebastián. 112

Figura 43: Grafica de la curva granulométrica del suelo de la zona de Santiago 114

Figura 44: Grafica de la curva granulométrica del suelo de la zona de San Sebastián 114

Figura 45: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de Santiago..... 117

Figura 46: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián..... 119

Figura 47: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de Santiago. 122

Figura 48: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián..... 124

Figura 49: Gráfico de humedad vs resistencia – Suelo Santiago 126

Figura 50: Gráfico de humedad vs resistencia – Suelo San Sebastián..... 127

Figura 51: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 – Suelo Santiago .. 130

Figura 52: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo Santiago..... 131

Figura 53: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián
..... 132

Figura 54: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo San Sebastián 133

Figura 55: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo
Santiago..... 136

Figura 56: Resistencia a la compresión vs edad – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y
SOLIDRY..... 136

Figura 57: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo
San Sebastián..... 138

Figura 58: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo San Sebastián con aditivo óptimo
C - 444 y SOLIDRY..... 138



Figura 59: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de la zona de Santiago. 140

Figura 60: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de la zona de Santiago. 141

Figura 61: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de San Sebastián. 142

Figura 62: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de San Sebastián. 143

Figura 63: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago..... 145

Figura 64: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago..... 146

Figura 65: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián 147

Figura 66: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián 148

Figura 67: Diagrama de barras de absorción de las unidades de albañilería del suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY..... 150

Figura 68: Diagrama de barras de succión de las unidades de albañilería del suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY..... 153

Figura 69: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago. 157

Figura 70: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago..... 159

Figura 71: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián..... 161

Figura 72: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián. 210

Figura 73: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo Santiago sin aditivo..... 212



Figura 74: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo Santiago con aditivo óptimo C - 444 y SOLIDRY..... 213

Figura 75: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián sin aditivo..... 214

Figura 76: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY..... 214

Figura 77: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago sin aditivo..... 216

Figura 78: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY. 217

Figura 79: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián sin aditivo. 218

Figura 80: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY..... 218

Figura 81: Curva Granulométrica del suelo de Santiago. 220

Figura 82: Curva Granulométrica del suelo de San Sebastián. 220

Figura 83: Límite Líquido del suelo de Santiago 221

Figura 84: Límite líquido del suelo de San Sebastián..... 221

Figura 85: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián..... 222

Figura 86: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián..... 223

Figura 87: Gráfica resumen de ensayo de humedad vs densidad..... 224

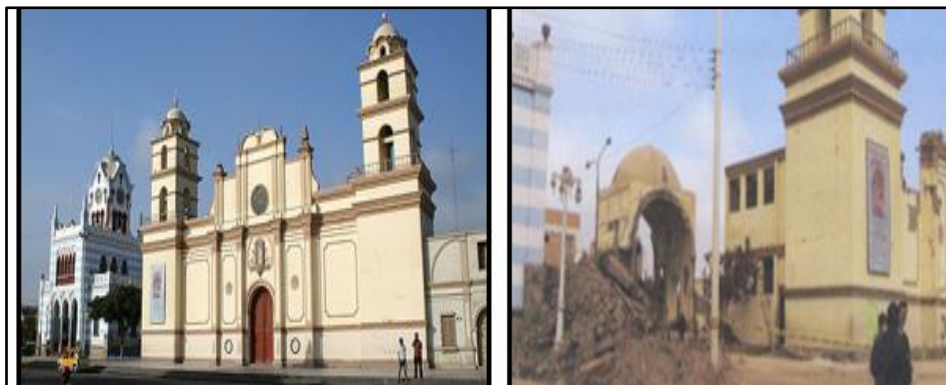
Figura 87: Grietas de gran tamaño en las unidades de albañilería elaboradas con el suelo de Wimpillay, distrito de San Sebastián 234

Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1. Identificación del problema

1.1.1. Descripción del problema

El adobe, es un material de construcción barato y muchas veces el único disponible en varias zonas rurales. Cada vez que ocurre un terremoto, en zonas donde la construcción con tierra es masiva, algunas casas y monumentos históricos de tierra colapsan, lo que conlleva a la pérdida de vidas y de patrimonio cultural. Esto, se ve reflejado en el evento del 15 de agosto del 2007 durante el terremoto de Pisco – Perú que tuvo una magnitud M_w 8, y donde más de 500 personas perdieron la vida y aproximadamente 37 500 viviendas colapsaron, ya que la mayoría estaban construidas con adobe (Tarque, et al, 2008). En la figura 1, se muestran las consecuencias del terremoto de Pisco. La figura 1(a) muestra la catedral de Pisco antes del terremoto y en la figura 1(b) se observa el estado en el que quedó la catedral de Pisco después del siniestro.



1(a)

1(b)

Figura 1: Consecuencias del terremoto de Pisco

a) Catedral de Pisco, antes del terremoto y b) Catedral de Pisco, después del terremoto.

Fuente: CERESIS, 2008.

Por otro lado, en la ciudad de Cusco se utilizan de manera regular ladrillos de arcilla en la construcción de edificaciones como muros, parapetos y/o tabiques. En su mayoría, estas unidades de albañilería no cumplen con los parámetros establecidos en las normas técnicas de edificaciones (NTE) E.070, del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), debido a que su método de fabricación no es estandarizado, y su producción es de manera artesanal o semi industrial. Esto ocasiona que las propiedades físico-mecánicas de las unidades producidas

varíen ampliamente. Además, son pocos los controles de calidad, lo que genera incertidumbre en su comportamiento estructural (Ministerio de la producción, 2010). En la figura 2, se muestran los tipos de producción de los ladrillos de arcilla cocida usados regularmente en la ciudad de Cusco, fabricados de manera semi industrial en la figura 2(a) y artesanal en la figura 2(b).



2(a)



2(b)

Figura 2: Fabricación de ladrillos en la ciudad de Cusco

a) Producción semi industrial de ladrillos y b) Producción artesanal de ladrillos.

Fuente: Ministerio de la Producción, 2010.

Otro aspecto a tomar en cuenta, es la contaminación ambiental ocasionada por las ladrilleras artesanales de la ciudad de Cusco. Este tipo de fabricación constituye la segunda fuente de contaminación más importante, después del tráfico vehicular. En el distrito de San Jerónimo se concentra la mayor cantidad de productores de ladrillos y tejas, repartido entre las comunidades de Sucso Aucaylle (65%), Pillao Matao (28%) y Pícol Orcompujio (7%), lo que hace un total de 192 familias. Ocasionando una creciente emisión de CO_2 contribuyendo ampliamente a la contaminación (PRAL, 2009).

En la presente investigación, se han estudiado las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda, elaboradas con material de las zonas de Wimpillay (distrito de San Sebastián) y Huancaro (distrito de Santiago) estabilizadas con sistema CONSOLID, como una alternativa de solución a los problemas mencionados anteriormente. Esto, se llevó a cabo mediante el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID, usando procedimientos de compactación manual como una alternativa ecológica.



1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

¿Cuáles son las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, estabilizadas con sistema CONSOLID?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

- Problema específico N° 1. – ¿Cuál será el porcentaje de humedad óptima con la cual se permita la elaboración y manipuleo de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco?
- Problema específico N°2. – ¿Cuál será la dosificación óptima de aditivo C-444 con la cual se obtendrán unidades de albañilería de tierra cruda, fabricadas con la tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, que obtengan adecuado y eficiente comportamiento a los ensayos de compresión?
- Problema específico N°3. – ¿Cuál será la dosificación óptima de aditivo SOLIDRY con la cual se obtendrán unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro estabilizadas con la dosificación óptima de aditivo C-444, de la ciudad de Cusco, que obtengan un adecuado y eficiente comportamiento a los ensayos de compresión?
- Problema específico N°4. – ¿En qué medida varían las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas, con respecto a las unidades de tierra cruda estabilizadas con las dosificaciones óptimas de aditivo del sistema CONSOLID, utilizando tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago de la ciudad de Cusco para su fabricación?

1.2. Justificación e importancia de la investigación

1.2.1. Justificación técnica

Esta investigación se enmarca en las teorías de *mecánica de suelos* y *mecánica de materiales*. Se basa en la propuesta de la búsqueda de nuevos materiales de construcción ecológicos, que tengan propiedades físico-mecánicas que cumplan con los parámetros establecidos en las normas técnicas de edificaciones E.070 y E.080, del Reglamento Nacional de Edificaciones. Para lograr este objetivo, en la presente investigación se hizo uso de teorías de mecánica de suelos presentado en el manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) tales



como ensayo de granulometría, ensayos de límites de consistencia y ensayo de Proctor, y los ensayos presentados en la NTP 399.316, tales como alabeo, variación dimensional, módulo de rotura, resistencia a la compresión, succión y absorción.

1.2.2. Justificación social

Los principales beneficiarios de este trabajo de investigación son los estudiantes de la universidad Andina del Cusco que tendrán acceso directo a esta información, dando cabida a que los estudiantes puedan realizar nuevos trabajos de investigación sobre materiales de construcción en base a esta información, validaciones, etc. Otro beneficiario directo es la corporación KONTIKI SAC. que tiene como objetivo la continuación de esta investigación con fines estructurales y comercializar estas unidades de albañilería.

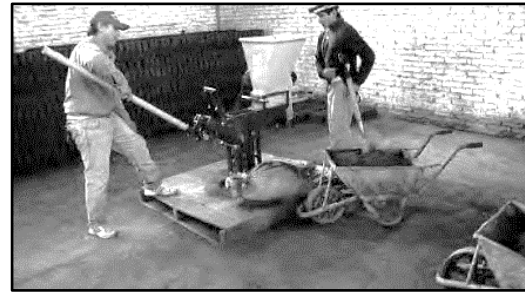
Si la presente investigación llegara a publicarse y socializarse, la extensión de los beneficios llegaría a los usuarios de este material de construcción, ya que estas unidades cumplen con las normas E.070 y E.080 del reglamento nacional de edificaciones. Además, el método de elaboración de estas unidades de tierra estabilizadas con sistema CONSOLID no representa una amenaza al medio ambiente. Sustentado mediante un test ecológico realizado en Barcelona el año 2010, donde se describe que la aplicación del sistema no presenta características de toxicidad, tal como se ilustra en la figura 3(a) del test toxicológico para la germinación de raygras con aditivo en dosificaciones de 0%, 0.1%, 0.8%, 1%, 2.5% y 5% (TECNOAMBIENTE, 2010). Así mismo, en la figura 3(b) se presenta el proceso de compactación manual de las unidades de albañilería de tierra.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La presente investigación fue viable, debido a que parte de los insumos fueron cubiertos por los tesistas. Los equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos requeridos se encontraron en las instalaciones de la Universidad Andina del Cusco (UAC). Por otro lado, el costo de la extracción del material, traslado y puesta en almacén, además de una máquina compresora manual requerida para la elaboración de las unidades de albañilería y otros insumos básicos fueron asumidos por el presupuesto aportado por el Ministerio de la Producción mediante el Fondo de Investigación y Desarrollo para la Competitividad (FIDECOM).



3(a)



3(b)

Figura 3: Justificación social

a) Test toxicológico del sistema CONSOLID y b) Elaboración de ladrillos Manual.

Fuente: 3(a) TECNOAMBIENTE, 2010, y 3(b) Kontiki, 2017.

1.2.4. Justificación por relevancia

En la presente investigación se ha planteado la fabricación de unidades de albañilería de tierra cruda con material de la zona, estabilizados con aditivos ecológicos y elaborados mediante un proceso manual. Se pretende que estas unidades de tierra cruda, estabilizadas con sistema CONSOLID, tengan mejores propiedades físico-mecánicas en comparación a las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con paja y las unidades de albañilería de arcilla cocida fabricadas en la ciudad de Cusco, proporcionando cabida a diseños más seguros, ecológicos y sostenibles.

1.3. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la presente tesis de investigación son los siguientes:

- La tesis se limitó a la elaboración de unidades de albañilería utilizando la tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, de una sola parcela para cada caso, que fueron accesibles para los tesistas.
- La investigación se limitó a la caracterización del suelo mediante el ensayo de granulometría.
- La tesis se limitó a la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería.
- La investigación es limitado a encontrar el contenido de humedad óptimo y la máxima densidad seca del suelo mediante el ensayo de Proctor Modificado.



- Los aditivos del sistema CONSOLID denominados C-444 con dosificaciones de 1.4 l/m³, 2.75 l/m³, 4.15 l/m³, 5.50 l/m³ y SOLIDRY con dosificaciones 10 kg/m³, 20 kg/m³ y 50 kg/m³ fueron los únicos utilizados como agentes estabilizantes.
- Las dosificaciones óptimas fueron escogidas de acuerdo al comportamiento adecuado y al eficiente comportamiento de los ensayos de resistencia a la compresión.
- La fabricación de las unidades de albañilería estabilizadas con sistema CONSOLID fueron realizados con la máquina ladrillera mecánica de un ladrillo de marca FORZA.
- Los ensayos a las unidades de albañilería de tierra estabilizadas con sistema CONSOLID con dosificaciones óptimas se han realizado a los 28 días.
- Se utilizó el material suelo que pasa por la malla ¼” para la elaboración de las unidades de albañilería.
- Se realizó el análisis de precios unitarios con los costos de los aditivos C444 y SOLIDRY, extraídos del antecedente que tiene por título: “Estabilización de la subrasante en la vía Cuicocha-Apuela del km 32 al 38, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura (Ecuador), utilizando el sistema CONSOLID.
- La investigación se limitó al estudio de unidades de albañilería sólida.
- No se ha realizado curado de las unidades de albañilería.
- Los ensayos para unidades de albañilería se han limitado a aquellos mencionados en la NTE E.070 (2006), de acuerdo a los parámetros presentados en la NTP 399.613 (2005).
- Las dimensiones de las unidades de albañilería se limitarán a valores aproximados de ancho 12.5 ± 2 cm, largo 25 ± 2 cm, y altura de 9 ± 2 cm.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, estabilizadas con sistema CONSOLID.

1.4.2. Objetivos específicos

- Objetivo específico N°1. – Determinar el porcentaje de humedad óptima con la cual se permita la elaboración y manipuleo de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco.



- Objetivo específico N°2. – Determinar la dosificación óptima de aditivo C-444 con la cual se obtendrán unidades de albañilería de tierra cruda, fabricadas con la tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, que obtengan adecuado y eficiente comportamiento a los ensayos de compresión.
- Objetivo específico N°3. – Determinar la dosificación óptima de aditivo SOLIDRY con la cual se obtendrán unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro estabilizadas con la dosificación óptima de aditivo C-444, de la ciudad de Cusco, que obtengan un adecuado y eficiente comportamiento a los ensayos de compresión.
- Objetivo específico N°4. –Determinar en qué medida varían las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas, con respecto a las unidades de tierra cruda estabilizadas con las dosificaciones óptimas de aditivo del sistema CONSOLID, utilizando tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago de la ciudad de Cusco para su fabricación.



Capítulo II: Marco teórico

2.1. Antecedentes de la tesis o investigación actual

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

Antecedente nacional 1:

Título: “Mejora del adobe a partir de su estabilización con el material confitillo”.

Autor: Fiorella Itarina Cáceres Luján (2010).

Universidad: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Resumen: Dentro de la investigación se estudió la unidad de adobe empleada para la restauración y la vivienda social, siendo ambas las modalidades más comunes de la arquitectura de tierra del Perú. Es así que, en el trabajo se exploraron las técnicas y procesos empleados en la fabricación de adobes por las antiguas culturas en monumentos representativos y recoge los resultados más significativos de las distintas investigaciones realizadas, las cuales tuvieron como propósito mejorar la calidad del adobe. Finalmente, se propuso un adobe mejorado (de mayor resistencia y durabilidad), el cual toma como base el “saber hacer” a partir de las experiencias que ha dejado nuestro patrimonio edificado en tierra.

Se concluyó que, la curva granulométrica obtenida de la muestra de adobe antiguo en el laboratorio UNI varía notablemente respecto a los obtenidos por el laboratorio de la unidad ejecutora para similares muestras. En la primera, el porcentaje de finos (limos y arcillas) es mayor. Lo anterior permite establecer una relación directa con respecto a la resistencia en compresión alcanzada por un bloque, ya que en el caso donde el porcentaje de finos es mayor se consigue mayor resistencia a la compresión. Esto se explicará por la adherencia que puede brindar porcentajes mayores de arcillas, debido a su capacidad para hidratar. Los factores principales que han determinado la poca resistencia en los adobes son:

- a) La selección de componentes para la fabricación de los bloques de adobe.
- b) El manejo no uniforme de las proporciones de los componentes de la unidad de adobe.
- c) La composición incorrecta, que no elimina vacíos del interior de la masa de barro tratada.
- d) Discontinuidad en la estructura del adobe, debido a que las adoberas son llenadas en 2 tandas. Los trabajadores justifican ello en razón del peso de la mezcla.

**Antecedente nacional 2:**

Título: “Análisis de la variación de las propiedades resistentes y físicas de un adobe estabilizado con cemento Portland tipo IP respecto a un adobe tradicional”.

Autores: Ing. Mitsy Gudiel Cárdenas y Zenaida Huamán Patiño (2015).

Universidad: Universidad Andina del Cusco.

En esta investigación se propone determinar la variación de las propiedades físico-mecánicas de un adobe estabilizado con cemento Portland tipo IP, con la finalidad de mitigar el peligro y la vulnerabilidad del adobe tradicional, y promover esta unidad estabilizada como una alternativa ecológica y sostenible. Para el desarrollo de esta investigación, se seleccionó un punto de extracción en el cual la tierra pasó por una prueba para descartar el uso del material, llamado “prueba de la botella en campo”. Posteriormente, se realizaron los ensayos para suelos tales como: granulometría y límites de Atterberg, de esta manera clasificaron y asignaron una dosificación de cemento de acuerdo a sus especificaciones. Se obtuvo una dosificación del 5% y 10%, con los cuales se elaboró, secó y curó las nuevas unidades de tierra estabilizadas. Seguidamente, se procedió a ensayarlos, hallando sus propiedades mecánicas y físicas, para luego compararlas con el adobe tradicional.

Se concluyó que, la nueva unidad estabilizada con un 10% de dosificación de cemento Portland tipo IP obtuvo como resultado mejora en sus propiedades resistentes y físicas frente a la unidad de adobe tradicional y la unidad estabilizada con el 5% de cemento Portland tipo IP. Las mejoras obtenidas se vieron reflejadas en sus propiedades tales como alabeo, donde se obtuvo una superficie prácticamente homogénea, la resistencia a la compresión, obteniendo un resultado mayor de 15.44 kg/cm² al especificado en la norma E.080 y la succión, que fue mucho menor a la del adobe tradicional.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional**Antecedente internacional 1:**

Título: “Estabilización de la subrasante en la vía Cuicocha-Apuela del km 32 al 38, Cantón Cotacachi, provincia de Imbabura, utilizando el Sistema CONSOLID”.

Autores: José Julián Aguirre y Manuel Prado (2012).

Universidad: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Resumen: En la investigación se plantea una solución técnica para estabilizar la subrasante en la vía Cuicocha-Apuela del kilómetro 32 al 38 ubicado en Cantón Cotacachi, provincia de



Imbabura (Ecuador), utilizando el sistema CONSOLID. La finalidad fue de cuantificar y estimar el valor del CBR y el índice plástico del suelo tratado con dicho sistema. Para ello, se tomaron muestras en el sitio de ubicación del tramo estudiado identificando las características del suelo, sus propiedades naturales y clasificación. Posteriormente, en el laboratorio se obtuvieron los valores de CBR e índice plástico de las muestras de suelo natural y las tratadas con el sistema CONSOLID. También, se realizó un análisis y comparación económica del costo de construcción del kilómetro 32 al 38 de la vía, utilizando un procedimiento regular y el costo de construcción utilizando el sistema CONSOLID.

Se concluyó que el índice plástico disminuye con la aplicación del sistema CONSOLID. Los suelos de alta plasticidad se ven afectados, debido a que sufren una disminución relevante de su índice plástico. La humedad óptima de compactación no varía entre el suelo tratado con el sistema CONSOLID y el suelo natural, además que dicha humedad es usada para la aplicación del sistema mencionado. Las probetas tratadas con CONSOLID absorben menores cantidades de agua en comparación con las probetas de suelo natural, por lo tanto, el CONSOLID trabaja impermeabilizando el suelo y conservando la humedad de compactación. De esta manera, el sistema CONSOLID ayuda a reducir la variación del volumen del suelo. Los suelos finos presentan un aumento proporcional a su CBR inicial. Su aumento es 6 veces su CBR inicial.

2.2. Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1. Sistema CONSOLID

Definición del sistema CONSOLID

El Sistema CONSOLID es un estabilizador de suelos cohesivos y semi-cohesivos, ya que éstos tienen la propiedad de volver a petrificarse en tiempos prolongados y a presiones muy altas. El sistema actúa al acelerar estos procedimientos por procesos catalíticos, activando el suelo mediante procesos catalizadores o pseudo catalizadores. El Sistema CONSOLID se basa en la aplicación y mezcla con el suelo de dos componentes: el C-444 que es el componente líquido y el SOLIDRY que es el componente en polvo (Consolid Productos Viales, 2011).

CONSOLID o C-444 (Componente líquido)

El CONSOLID o C-444 permite la aglomeración irreversible de las partículas finas. Lo que conlleva a una reducción de la superficie activa del suelo. Actúa sobre el agua absorbida, insertándose entre las partículas del suelo y formando complejas estructuras moleculares que



actúan mediante procesos catalíticos. De esta forma, reduce la tensión superficial de agua que circunda dichas partículas de suelo, promoviendo una mayor compactación y la atracción electromagnética entre ellas. También, provee una mayor resistencia a la deformación y disminuye la saturación capilar del suelo. Para usar este aditivo se debe considerar los siguientes aspectos (Consolid Productos Viales, 2011):

- Petrifica el suelo, compacta y aporta protección capilar (95%).
- Actúa sobre las partículas finas convirtiéndolas en ligantes naturales.
- Incrementa la capacidad soporte del suelo de manera significativa.
- La aplicación habitual es de 0.04% sobre el suelo tratado, con camión cisterna o con cualquier maquinaria que asegure una distribución homogénea sobre el terreno.

SOLIDRY o SD (Componente en polvo)

El SOLIDRY es un producto complementario del C-444 que refuerza la protección contra el agua, bloquea los capilares y permite que el agua de la superficie no penetre en la capa tratada, de esta manera impermeabiliza el suelo. Está diseñado para ser aplicado a suelos de alta plasticidad, llevando su índice plástico a valores tales que el suelo pueda ser tratado fácilmente. De esta manera, impermeabiliza el suelo disminuyendo su sensibilidad al agua. Para su uso se debe tener en cuenta los siguientes puntos (Consolid Productos Viales, 2011):

- La aplicación habitual varía entre 0.5% y 2% respecto del suelo tratado, con una mezcladora o cualquier máquina que asegure distribución homogénea y perfecto mezclado con el suelo.
- Convierte la petrificación en irreversible, salvo rotura mecánica del suelo.
- Actúa sobre la carga iónica de las partículas, facilitando su unión y evitando la entrada de agua.

Ventajas del sistema CONSOLID

Los productos CONSOLID demuestran su efectivo poder de mejoramiento de las propiedades de resistencia y permeabilidad de los finos-arcillosos. Trabaja igual con cualquier tipo de suelo, activa las fuerzas cohesivas propias del suelo y reduce la influencia del agua de forma importante y duradera (Consolid Productos Viales, 2011). Las ventajas del sistema CONSOLID son:

- Petrifica el suelo y elimina su sensibilidad al agua de forma permanente.
- Multiplica la capacidad soporte del suelo original entre 2 y 10 o más veces.



- Reduce significativamente del hinchamiento libre y la absorción por capilaridad.
- Convierte en aptos para la construcción suelos que originalmente no lo eran.
- No es tóxico, no es un reactor químico ni un ligante.
- Es reciclable, ya que el suelo tratado y petrificado puede triturarse y volverse a compactar.

Desventajas del sistema CONSOLID

En suelos altamente plásticos la aplicación del sistema CONSOLID se dificulta la trabajabilidad, al momento de homogeneizar los productos con el suelo (Aguirre & Prado, 2012).

Cambios en las propiedades de los suelos

El tratamiento de suelos con sistema CONSOLID produce cambios en los límites de Atterberg, límites de contracción, CBR y humedad. Estos cambios varían dependiendo de la dosificación utilizada y el tipo de suelo.

La variación del índice plástico es una de las características más importantes del sistema CONSOLID, pues aumenta la trabajabilidad del suelo. Con el aditivo, se logra que las partículas finas sean rodeadas por cationes en su capa de absorción, lo que ocasiona una atracción de estas partículas y forma estructuras de muy bajo grado de orientación. Esto concede al suelo una mayor resistencia a la deformación y una mayor compactación.

Otros aspectos a considerar es el límite de contracción, propiedad que aumenta con la aplicación del sistema CONSOLID. Por lo tanto, si existiera alguna disminución de humedad en una estructura tratada con el producto, el volumen no sufriría ninguna variación ni tampoco descompactación del suelo. Al contar con esta característica, se asegura conservar la forma y resistencia en el suelo. Finalmente, el resultado de tratar el suelo con este sistema es el de aumentar el índice CBR y para ello entra en juego la humedad óptima del suelo. La adición de agua para lograr dicha humedad es fundamental porque no se puede compactar un suelo completamente seco y tampoco uno excesivamente húmedo. La presencia de agua en el suelo crea una película entre las partículas de suelo que logra que éstas se deslicen una sobre otra lubricándolas y acomodándolas. La aplicación del sistema CONSOLID permite una aglomeración de las partículas finas que deriva en una reducción de la superficie exterior a través de la cual interactúa con el medio. La película de agua adherida se destruye y se activa el poder de unión propio del suelo (Aguirre & Prado, 2012).



Rangos de dosificación

Los valores de C-444 y SOLIDRY que el fabricante estima que son necesarios, fueron obtenidos mediante ensayos experimentales (Consolid Productos Viales, 2011). Estos son:

C-444 → 0.4 a 0.8 l/m³

SD → 10 a 20 kg/m³

Aplicación

La aplicación se reduce a un mezclado correcto con la dosificación adecuada de los productos con el suelo y no requiere de ninguna máquina especial (Aguirre & Prado, 2012).

Aplicación de CONSOLID (C-444)

Se presenta como un líquido semi-viscoso que se mezcla sin inconveniente con el agua. Para su aplicación, debe incorporarse el agua necesaria con la cual se obtiene la humedad óptima de compactación del suelo tratado. El mezclado debe ser primero el agua y luego el químico. Se debe prever que la adición del C-444 con agua no exceda la humedad óptima de compactación. Una vez aplicado el C-444, sigue la aplicación del producto SOLIDRY.

Aplicación de SOLIDRY (SD)

Se inicia con la distribución del SOLIDRY, siguiendo las pautas de dosificación establecida, luego se esparce el SOLIDRY, cubriendo toda la superficie del suelo. Se procede a mezclar el material y el SOLIDRY, hasta conseguir una superficie homogénea sin ningún tipo de grumos o manchas blancas. Finalmente, se compacta con los métodos y máquinas recomendadas para el tipo de suelo que se trabaje.

2.2.2. Suelos

De acuerdo a Badillo y Rodríguez (2011), el suelo es un conjunto con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En relación vertical, generalmente, sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal. El suelo tiene perfil, y éste es un hecho del que se hace abundante aplicación.

Rodríguez y Guardia (2012), definen al suelo como un agregado no cementado formado por partículas minerales y materia orgánica en descomposición (partículas sólidas) con algún líquido (generalmente agua) y gas (normalmente aire) en los espacios vacíos.



Suelo estabilizado

La estabilización de un suelo consiste en mejorar sus propiedades físicas y/o mecánicas, a través de procedimientos mecánicos y/o físicos-químicos. En la estabilización se trata de emplear la totalidad del material disponible en el lugar para evitar la gran movilización del terreno. Por lo general, los suelos disponibles de la construcción son muy sensibles a la influencia del agua, la cual ablanda los suelos arcillosos y destruye su estabilidad mecánica. Por lo tanto, una estabilización efectiva es el control total de esta sensibilidad del suelo al agua, que es la clave para una estabilización exitosa de riesgos (Consolid Productos Viales, 2011).

Propiedades índices

Las propiedades índices permiten la diferenciación de suelos de una misma categoría, condiciones de estado del suelo y comportamiento físico. En la presente investigación estas propiedades permitirán la identificación del tipo de suelo, humedad natural y comportamiento plástico de los suelos.

Humedad natural

El contenido de humedad se define como la relación del peso de agua presente y el total de peso de la muestra seca. El Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2000), indica que la humedad es la relación expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Bowles (1981), indica que el contenido de humedad determina la cantidad de agua en una cantidad de suelo, en términos de su peso seco.

$$\omega = \frac{W_{\omega}}{W_s} \times 100 \text{ por ciento.}$$

Donde:

- ω es el contenido de humedad, expresada como porcentaje.
- W_{ω} es el peso de agua presente en la masa de suelos.
- W_s es el peso de los sólidos en el suelo.

Estados de consistencia

Atterberg definió los siguientes estados de consistencia para un suelo susceptible a ser plástico:

Atterberg llamó límite líquido al linde entre los estados semilíquido y plástico. Así mismo, llamo límite plástico al linde entre los estados plástico y semisólido. A las fronteras que definen



el intervalo plástico del suelo (Límite Líquido y Límite Plástico) se les ha llamado límites de plasticidad (Badillo & Rodríguez, 2011).

a) Límite líquido (LL)

Es el contenido de humedad cuando éste se halla entre el estado semilíquido y plástico.

b) Límite plástico (LP)

Es el contenido de humedad cuando éste se halla entre el estado plástico y semisólido.

c) Índice de plasticidad (IP)

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

- IP = Índice de Plasticidad.
- LP = Límite Plástico.
- LL = Límite Líquido.
- o Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).
- o Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informara como NP (no plástico).

En la tabla 1 se muestra los estados de consistencia definidos por Atterberg.

- o Tabla 1. Estados de consistencia.

Estado				
Líquido	Semilíquido	Plástico	Semisólido	Sólido
Tiene las propiedades y apariencia de una suspensión	Tiene las propiedades de un fluido viscoso	El suelo tiene un se deforma permanentemente e irreversiblemente	Tiene la apariencia de un sólido, pero aún se contrae o expande.	El volumen del suelo no varía al disminuir o incrementarse agua.

Fuente: Badillo & Rodríguez, 2011

Clasificación e identificación de suelos

Entre los diversos estudios tendientes a encontrar un sistema de clasificación que satisfaga los distintos campos de aplicación a Mecánica de Suelos, destacan los efectuados por el doctor A. Casagrande en la Universidad de Harvard, los cuales se cristalizaron en el conocido Sistema de Clasificación de Aeropuertos, así originalmente llamado, debido a que estaba orientada para ese uso en aquel tipo de obras.

Este sistema, reconoce que las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que la malla N°200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que la malla mencionada, el criterio básico de clasificación es aún el granulométrico que, aunque no es lo determinante para el comportamiento de un material, sí puede usarse como base para su clasificación en los materiales granulares (Badillo & Rodríguez, 2011).

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

De acuerdo a Badillo y Rodríguez (2011), Este sistema clasifica a los suelos en gruesos y finos, diferenciándolos a través del tamizado por la malla 200. El material retenido en dicha malla es grueso y el pasante fino.

Cuando más del 50% del material es retenido en la malla N° 200, es considerado grueso. Por el contrario, cuando más del 50% del material pasa la malla N° 200, es considerado fino.

Suelos gruesos

En la tabla 2 se muestra la subdivisión de las gravas y las arenas:

Tabla 2. Subdivisión de los suelos gruesos

Material	Grava (<i>G</i>)	Arena (<i>S</i>)
Bien graduado y limpio (<i>W</i>)	<i>GW</i>	<i>SW</i>
Mal graduado y limpio (<i>P</i>)	<i>GP</i>	<i>SP</i>
Con finos no plásticos (<i>M</i>)	<i>GM</i>	<i>SM</i>
Con finos plásticos (<i>C</i>)	<i>GC</i>	<i>SC</i>

Fuente: Badillo & Rodríguez, 2011



La malla N°4 separa a las gravas (G) y las arenas (S), de manera que un material es gravoso, si más del 50% de su fracción gruesa (retenida en la malla No. 200) no pasa la malla No. 4, y es arenoso, si más del 50% pasa la malla No. 4.

Se dice que un material es bien graduado, si su coeficiente de uniformidad es mayor que 4 para gravas y mayor que 6 para arenas. Así mismo, su coeficiente de curvatura debe estar comprendido entre 1 y 3 para los suelos gruesos. Un material es limpio cuando no se exceda del 5% de partículas finas (Badillo & Rodríguez, 2011).

Suelos finos

Los suelos finos que pasan por la malla N° 200 se dividen en:

- a) Limos inorgánicos (*M*).
- b) Arcillas inorgánicas (*C*).
- c) Limos y arcillas orgánicas (*O*).

En la tabla 3 se muestra la subdivisión de cada uno de los suelos finos:

Tabla 3. Subdivisión de los suelos finos

Material	Limos Inorgánicos (<i>M</i>)	Arcillas Inorgánicas (<i>C</i>)	Limos y Arcillas Orgánicas (<i>O</i>)
Suelos de compresibilidad baja o media (<i>L</i>)	<i>ML</i>	<i>CL</i>	<i>OL</i>
Suelos de compresibilidad alta (<i>H</i>)	<i>MH</i>	<i>CH</i>	<i>OH</i>

Fuente: Badillo & Rodríguez, 2011

El material es de compresibilidad baja o media si el límite líquido es menor de 50%, si es mayor al 50% son de compresibilidad alta.

Los suelos orgánicos y fibrosos, como turbas y suelos pantanosos (extremadamente compresibles), forman el grupo de la turba (*Pt*) (Badillo & Rodríguez, 2011).

La carta de plasticidad y las propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de un suelo fino quedan definidas cualitativamente y en forma aproximada a partir de la ubicación de ese suelo en la Carta de Plasticidad (mostrada en la figura 4).

La práctica de laboratorio ha indicado que la compresibilidad de los suelos a igual carga de pre consolidación, es aproximadamente proporcional al límite líquido de manera que los suelos con el mismo límite líquido son similares compresibles. Al comparar las propiedades físicas de suelos que tengan el mismo límite líquido, se encuentra que, creciendo el índice plástico, aumentan las características de tenacidad y resistencia en estado seco, en tanto que disminuye la permeabilidad (Badillo & Rodríguez, 2011).

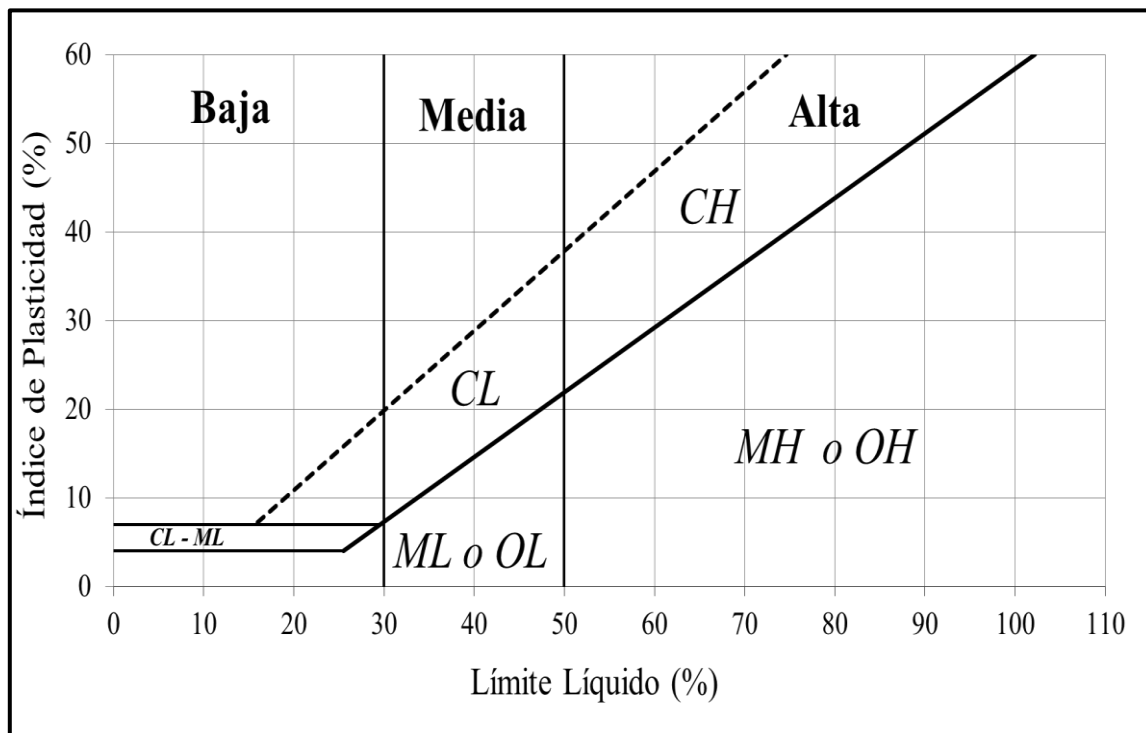


Figura 4: Carta de plasticidad de suelos

Fuente: Badillo & Rodríguez, 2011.

Granulometría

Villalaz (2004), indica que el conocimiento de la composición granulométrica de un suelo grueso sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado. El análisis granulométrico se refiere a la determinación de la cantidad, en porcentaje, de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo. Conocida la

composición granulométrica del material, se le representa gráficamente para formar la llamada curva granulométrica, ilustrada en la figura 5.

A partir de la curva de distribución granulométrica, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D_{10} , D_{85} , D_{60} , etc. El D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente de la partícula de suelo, y el subíndice (10, 85, 60) denota el porcentaje de material más fino.

Una variación del tamaño de los granos presentes en la muestra se obtiene mediante el coeficiente de uniformidad C_u (Bowles, 1981).

La ecuación es la siguiente:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

- C_U es el coeficiente de uniformidad
- D_{60} es el diámetro por el cual pasa el 60% de material
- D_{10} Es el diámetro por el cual pasa el 10% de material

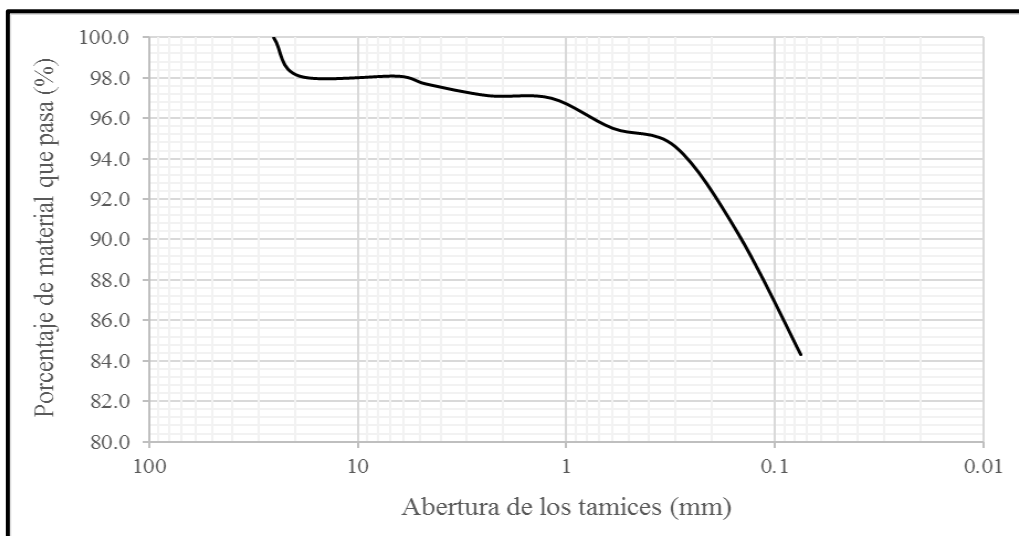


Figura 5: Curva de distribución granulométrica

Fuente: Villalaz, 2004.

Compactación

Villalaz (2004), indica que la compactación de los suelos es importante porque permite aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad de los mismos. Al aplicar a un suelo cierta energía para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con respecto al contenido

de humedad según curva de humedad y densidad seca, en la cual se puede observar la existencia de un grado de humedad con el cual se obtiene el peso volumétrico máximo para el suelo y la correspondiente energía de compactación.

Prueba de Proctor

La prueba de Proctor se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo, que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Esta prueba tiene dos objetivos:

- Determinar el peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{s\text{ máx}}$) que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima (w_o) a la que deberá hacerse la compactación.
- Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción, relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

2.2.3. Albañilería

Según Gallegos & Casabonne (2005), la albañilería es un material compuesto por unidades débilmente unidas o pegadas. Este hecho es confirmado por ensayos y experiencia, que permite afirmar que se trata de un material heterogéneo y anisotrópico y que tiene una resistencia elevada a la compresión, que depende principalmente de la propia unidad. A su vez, la resistencia a la tracción se ve disminuida, debido a que este material estructural está limitado por la capacidad de adhesión entre la unidad y el mortero. En las últimas décadas, la albañilería se ha integrado también con unidades huecas, asentadas con mortero – o apiladas sin utilizar mortero – que se llenan con concreto líquido.

Según San Bartolomé, Quiun & Silva (2011), la albañilería o mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con algún material como el mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser naturales o artificiales.

Unidades de albañilería

Según Gallegos & Casabonne (2005) las unidades de albañilería son componentes básicos para la construcción de la albañilería, las cuales se elaboran a partir de materias primas diversas, tales como: arcilla, concreto, sílice, cal, etc. Estas unidades son fabricadas en condiciones disímiles ya sea siendo de manera altamente sofisticada y bajo estrictos controles industriales

o en ámbitos precarios de manera artesanal y provisionales, sin ningún control de calidad y mediante procesos rudimentarios.

De acuerdo a la norma E.070 (2006), las características generales de las unidades de albañilería son:

- Dimensión y peso: Se denomina ladrillo a la unidad que, por su dimensión y peso puede ser manipulada con una sola mano, tal como se muestra en la figura 6(a). Se denomina bloque a la unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para poder ser manipulado, tal como se muestra en la figura 6(b).



6(a)



6(b)

Figura 6: Denominación de ladrillos según su dimensión y peso

a) ladrillo manipulado con una mano y b) bloque manipulado con dos manos.

Fuente: Gallegos & Casabonne, 2005.

- La cantidad y disposición de huecos: Las unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares, y podrán ser fabricadas de manera artesanal o industrial.
- Estructurales y no estructurales, de acuerdo al porcentaje de huecos de la cara de asiento y su clasificación por resistencia a la compresión, alabeo y variación dimensional.

Tipología de las unidades de albañilería

Según Gallegos & Casabonne (2005), la tipología de las unidades de albañilería se realiza en base al área neta, medida en proporción a la superficie bruta de la cara de asiento, y en las características de los alveolos. En la tipología no interviene el tamaño de la unidad ni la materia prima con la que ésta se elabora. Es decir, para el mismo tipo de material puede haber ladrillos o bloques. Los tipos de unidades de albañilería son:

**a) Unidades de albañilería sólidas (o macizas)**

Según la norma E.070 (2006), es la unidad de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano. Es decir, la presencia de perforaciones no debe superar el 30% del área de la sección bruta. En la figura 7(a) se muestran las unidades de albañilería sólida.

El límite del 30% no es un valor arbitrario, sino que, está ligado al comportamiento dúctil – no frágil – de las unidades en compresión y están avaladas por diversos ensayos que sitúan el límite de vacíos, desde el punto de vista estructural alrededor del 30%. Estas unidades sólidas son las únicas que muestran comportamiento razonablemente dúctil, es decir, sin fallas explosivas (Gallegos & Casabonne, 2005).

b) Unidades de albañilería huecas

Es la unidad de albañilería cuya sección transversal, en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento, tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano (Norma E.070, 2006), tal como se muestra en la figura 7(b).

Las unidades huecas han demostrado tener una falla muy frágil (trituration) por carga vertical y fuerza cortante cuando se les ha empleado en muros portantes confinados. Por lo tanto, se prohíbe su uso en la zona sísmica 3, a no ser que el ingeniero estructural demuestre que la estructura se comportará elásticamente (sin fisuras) ante los sismos severos (San Bartolome Ramos, 2008). Este tipo de unidades son usadas en muros de tabiquería.

c) Unidades de albañilería alveolares

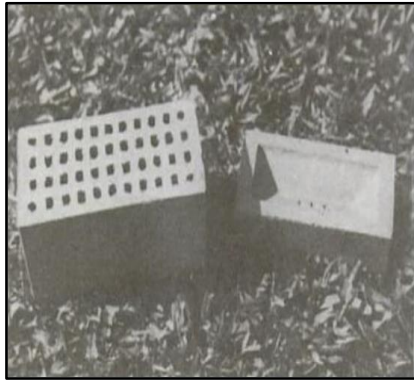
En la norma E.070 (2006), se define a la unidad alveolar como una unidad sólida o hueca con alveolos o celdas de tamaño suficiente como para poder alojar el refuerzo vertical (ver figura 7c). Estas unidades son usadas en la construcción de muros armados.

En este tipo de unidades, el área alveolar excede el 30% del área bruta, pero los alveolos tienen dimensiones tales que puedan llenarse con concreto líquido o grout de tal manera que una vez que se rellenen los alveolos el bloque de cemento se convierte en una unidad sólida. En este caso, todas las propiedades de la sección corresponden a las de la sección neta. En consecuencia, la forma y distribución de los alveolos deber ser conocida para

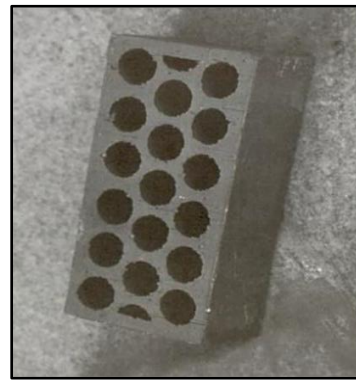
determinar el módulo resistente y el momento de inercia de la sección (Gallegos & Casabonne, 2005).

d) Unidades de albañilería tubulares

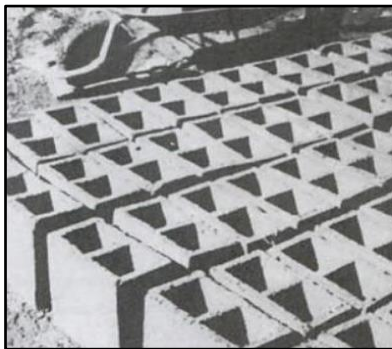
Conocidas también, como unidades de albañilería pandereta, son unidades con huecos paralelos a la superficie de asiento (Norma E.070, 2006). Según Gallegos y Casabonne (2005), a diferencia de las perforaciones presentes en las unidades sólidas, que son perpendiculares a la cara de asiento de la unidad, estas son paralelas a la misma. El tamaño de los huecos y la proporción del área de estos, en relación con el área bruta de la cara lateral de la unidad, varían en grandes cantidades en la producción industrial, tal como se muestra en la figura 7(d). Sus propiedades y características resistentes están determinadas y son consideradas como si la unidad fuese sólida.



7(a)



7(b)



7(c)



7(d)

Figura 7: Tipos de unidades de albañilería

a) unidades de albañilería sólidas, b) unidad de albañilería hueca, c) unidades de albañilería alveolar y d) unidades de albañilería tubulares.

Fuente: Gallegos & Casabonne, 2005.

Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería

En la tabla 4, se muestra la posibilidad de aplicación de las unidades de albañilería según su tipo.

Tabla 4. Limitaciones de aplicación estructural de los tipos de unidades de albañilería.

Tipo	Posibilidad de aplicación			
	Muro en zona sísmica		Muro en zona no sísmica	
	Portante	No portante	Portante	No portante
Sólida	Óptima	Aplicable, pero muy pesada y costosa	Óptima para cargas elevadas	Aplicable, pero muy costosa
Hueca	No aplicable tal cual. Óptima si se llenan los huecos con concreto líquido.	Óptima	Aplicable	Óptima
Alveolar	No aplicable salvo que el área alveolar sea 30% o menos que el área bruta.	Óptima	Aplicable	Óptima
Tubular	No aplicable	Óptima	No aplicable	Óptima

Fuente: Adaptado de Gallegos, H. & Casabone, C., 2005.

Clasificación para fines estructurales

Para efectos del diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la tabla 5. En esta tabla se indica las propiedades clasificatorias para las unidades de albañilería para fines estructurales.

Tabla 5. Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.

Clases de unidad de albañilería para fines estructurales					
Clase	Variación de la dimensión (máxima en porcentaje)			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia característica a la compresión f'_b mínimo en MPa (kg/cm^2) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4	10	4,9 (50)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P ⁽¹⁾	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP ⁽²⁾	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

(1) Bloque usado en la construcción de muros portantes.

(2) Bloque usado en la construcción de muros no portantes.

Fuente: Norma E.070, 2006.

Unidades de tierra cruda

En la norma E.080 (2017) se define al adobe como una unidad de tierra cruda maciza, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

Unidades de tierra cruda estabilizada

Se define a la unidad de tierra estabilizada como un bloque macizo de tierra sin cocer, al cual puede añadirse paja u otro material para mejorar su estabilidad frente a agentes externos. Cuando al adobe se le incorporan otros materiales (asfalto, cemento, cal, etc.) con la finalidad de mejorar sus características como la resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad, se le denomina *adobe estabilizado* (M-VCS, 2010).



Materia prima

Según la norma E.080 (2017), de diseño y construcción con tierra reforzada, los requisitos de los materiales para la construcción con tierra reforzada son:

- a) Tierra: Se debe verificar que la tierra a utilizar contenga un adecuado porcentaje de arcilla, la cual se determina mediante las pruebas indicadas en la norma E.080. Asimismo, asegurarse de que el material se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica.
- b) Agua: la cantidad de agua requerida para moldear las unidades de adobe no debe pasar el 20% respecto al peso del contenido seco. Asimismo, es importante controlar la cantidad de agua que se utiliza, para evitar o disminuir las fisuras durante el secado. El agua cumplirá los siguientes requisitos:
 - Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión
 - Ser limpia y libre de aceites, ácidos, álcalis, salea, materia orgánica y otras que puedan resultar perjudiciales.
 - El agua de mar solo puede ser utilizada con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de supervisión

Para la fabricación del adobe se deberá utilizar la proporción adecuada que permita una trabajabilidad adecuada, las proporciones están en base a la organización del tamaño de las partículas.

Ensayos en las unidades de albañilería de tierra cruda

La importancia de los ensayos de laboratorio para unidades de tierra cruda, en este caso la resistencia del material de tierra a la compresión y la resistencia del material de tierra a tracción, se deben a que estas pruebas permiten conocer la calidad de fabricación del adobe. Por ejemplo, un adobe que obtenga una resistencia de 10-12 kg/cm² o más, es considerado óptimo según la norma E.080 y de buena calidad, mientras que un adobe que obtenga menor resistencia según los parámetros de la norma, será considerado un adobe deficiente y pésimo en cuanto a su calidad.

Un grupo importante de autores como Tejada, Moromi y Red Habitierra, entre otros, coinciden en que la resistencia mínima que debe alcanzar una unidad de albañilería de tierra reforzada debe rondar los valores de 1,00 y 1,20 MPa (10-12 kg/cm²) como mínimo. Para este estudio se



fijó el valor mínimo de resistencia a la compresión simple de 1 MPa, es decir, 10 kg/cm² (Saroza et al., 2008).

A continuación, se describen los ensayos para las unidades de adobe, de acuerdo a la norma E.080 (2017) vigente.

a) Resistencia del material tierra a la compresión

- Se mide en cubos de 0.1 m de arista.
- La resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$f_o = 10.2kgf/cm^2.$$

- Las 4 mejores muestras de 6 deben cumplir que su promedio sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

b) Resistencia del material tierra a la tracción

- La resistencia debe medirse mediante el ensayo brasileño.
- La resistencia última es de $0.81 \frac{kgf}{cm^2}$.
- Las muestras deben tener una humedad inicial de 20-25%, y secado cubierto del sol y viento de 28 días y las 4 mejores muestras de 6 deben cumplir que su promedio sea igual o mayor a la resistencia última indicada.

Beneficios de la construcción con unidades de albañilería de tierra cruda

Las unidades de tierra, permiten construir viviendas de bajo costo y con un menor impacto ambiental, ya que utiliza recursos accesibles y propios de la zona (M-VCS, 2010). Otro beneficio es que su uso es netamente ecológico, pues no involucra ningún proceso que pueda perjudicar de alguna manera el medio ambiente.

Unidades de arcilla

También llamados ladrillos de arcilla o ladrillos cerámicos, pueden ser sólidos, perforados y tubulares. El color característico de las unidades de arcilla va normalmente de amarillo al rojo debido a la característica de la materia prima, que es la arcilla (Gallegos & Casabonne, 2005).

Materia prima

La materia prima básica son arcillas compuestas de sílice y alúmina con cantidades variables de óxidos metálicos y otros ingredientes. La característica principal de las arcillas, como materia prima, es que, al mezclarse con agua estas deben comportarse de una manera plástica de modo que puedan ser formadas en moldes. Sus partículas deberán tener suficiente adhesión



para mantener la estabilidad de la unidad después del formado y ser capaces de ir fundiéndose cuando sean calentadas a temperaturas elevadas. El producto final no debe presentar agrietamientos. No se deben usar arcillas expuestas a la contaminación, ya que estas son más vulnerables a presentar eflorescencia (Gallegos & Casabonne, 2005).

Consideraciones para la fabricación de unidades de albañilería de arcilla cocida

- a. Las unidades al ser moldeadas a presión, se les añade una cantidad no más del 10% de agua en peso, con lo que se conseguirá una consistencia seca y tiesa. En caso de fabricación por extrusión, se le agrega de 12 a 15% de agua en peso. La consecuencia es que, con el método del moldeo, estas unidades se producirán con menos vacíos, por lo tanto, más resistentes que en el método de extrusión.
- b. Se debe tomar en cuenta que las unidades se contraerán al secarse (entre 4 y 16% en volumen aproximadamente).
- c. Las unidades, para cualquier método, tienen un exceso de agua por lo que esta deberá ser removida antes del quemado. Se debe evitar el secado rápido, pues esto generará agrietamientos excesivos. En esta fase de secado en horno, a 200 °C, las unidades se contraen entre 2 y 8% en volumen.
- d. El quemado del ladrillo pasa por varias etapas: deshidratación, oxidación y, en algunos casos, vitrificación. La quema se efectúa con temperaturas de entre 900 y 1300 °C y su duración es de 2 y 5 días, dependiendo de la especificación del ladrillo requerido.
- e. El enfriamiento de las unidades debe ser controlado, pues de ocurrir con rapidez, se generaría el agrietamiento de las unidades (Gallegos & Casabonne, 2005).

Propiedades

Las propiedades de las unidades de albañilería de arcilla cocida son:

- a. Resistencia a la compresión: es la propiedad principal, donde valores altos de resistencia señalan una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición. Valores bajos, en cambio, señalan baja resistencia y poca durabilidad. Este valor es medido actualmente con el ensayo de compresión estándar, y está en función a la resistencia intrínseca seca, altura del testigo y su forma (Gallegos & Casabonne, 2005). Para la determinación de la resistencia a la compresión, se efectúan los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las normas NTP 399.613 y 339.604 (Norma E.070, 2006).



- b. Resistencia a la tracción: esta propiedad es medible mediante dos ensayos usuales: el ensayo de tracción indirecta y el ensayo de tracción por flexión o de módulo de rotura (Gallegos & Casabonne, 2005).
- c. Variabilidad dimensional: esta propiedad es importante ya que a veces se manifiesta con mayores variaciones, y aparece la necesidad de aumentar el espesor de la junta de mortero por encima de lo estrictamente necesario por adhesión, que es de 9 a 12 mm, condicionando a una albañilería menos resistente en compresión (Gallegos & Casabonne, 2005). Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se sigue el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604 (Norma E.070, 2006).
- d. Alabeo: según la norma E.070 (2006), el mayor alabeo (concavidad o convexidad) del ladrillo también conduce a un mayor espesor de la junta. Asimismo, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas más alabeadas o incluso, pueden producir fallas por flexión en la unidad (San Bartolomé, 1994). Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se sigue el procedimiento indicado en la norma NTP 399.613 (2005).
- e. Succión: la succión se define como la medida de agua de la unidad de albañilería en la cara de asiento y es una de las características fundamentales para definir la relación mortero-unidad en la interface de contacto y, por lo tanto, la resistencia a tracción de la albañilería. Esta propiedad es importante debido a que, si la unidad tiene una succión alta (debido a la rápida pérdida de agua la cual es absorbida por la unidad) provoca que el mortero se deforme y endurezca, lo que impide un contacto completo e íntimo con la cara de la siguiente unidad. El resultado es entonces, una adhesión pobre e incompleta que deja uniones de baja resistencia y permeables al agua (Gallegos & Casabonne, 2005).
- f. Absorción: esta propiedad permite conocer la capacidad de absorción de las muestras a ser ensayadas cuando alcanzan un estado de saturación. Los ensayos de absorción se realizan de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613 (Norma E.070, 2006). En el caso de unidades de arcilla, la absorción de la unidad se mide sumergiéndola en agua fría durante 24 horas y, luego, como esta inmersión no llena totalmente los poros, se mide nuevamente hirviendo la unidad en agua durante cinco horas. La relación entre estos dos valores es llamado coeficiente de saturación. El coeficiente de absorción es inversamente proporcional a la durabilidad de la unidad. El



coeficiente máximo para unidades de arcilla es de 30% y para las unidades de concreto es de 18% (Gallegos & Casabonne, 2005).

Ensayos en las unidades de albañilería

Resistencia a la compresión

La norma NTP 399.613 (2005), especifica que para este ensayo se deben utilizar un mínimo de 5 especímenes. Los cuales deberán estar debidamente refrentados. Los ladrillos se ensayaran sobre su mayor dimensión (aquí la carga será aplicada en dirección de la profundidad del ladrillo) y la máquina de ensayo debe satisfacer los requerimientos habituales de práctica especificados e la norma ASTM - E4 (NTP 399.613, 2005).

De acuerdo a Gallegos & Casabonne (2005), la resistencia a la compresión (f_b) se determina dividiendo la carga de rotura (P_u) entre el área bruta (A) (Gallegos & Casabonne, 2005).

$$f_b = \frac{P_u}{A}$$

Donde:

- f_b = Resistencia a la compresión del espécimen en MPa o kg/cm^2 .
- P_u = Máxima carga indicada por la máquina de ensayo en N o kg.
- A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen en mm^2 o cm^2 (NTP 399.613, 2005).

Módulo de rotura

Según la norma NTP 399.613 (2005), para este ensayo se utilizarán 5 especímenes secos como mínimo. Para el ensayo se apoya el espécimen en su base para aplicar la carga en dirección de la altura del espécimen. La carga debe aplicarse al centro del tramo, con una aproximación de 2 mm de dicho centro. Si el espécimen presenta cavidades o depresiones, se coloca de manera tal que estas cavidades o depresiones estén en sus caras inferiores. Los apoyos para los especímenes serán barras de acero sólido de $12,7 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ de diámetro, colocadas a $13 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ de cada extremo y la longitud de apoyo será por lo menos igual al ancho del espécimen. Luego, se aplica la carga sobre la superficie superior del espécimen a través de una plancha de soporte de acero de 6 mm de espesor y 40 mm de ancho y con una longitud por la menos igual al ancho del espécimen.

En la figura 8, se observa un modelo ejemplo del ensayo.

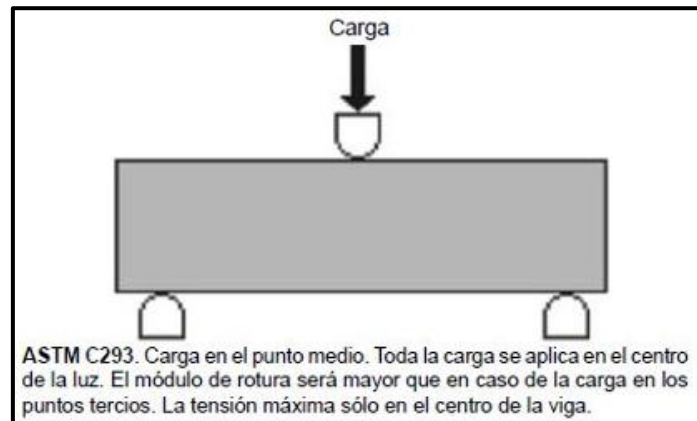


Figura 8: Modelo de ensayo de módulo de rotura

Fuente: ASTM C293, 2016

La carga de rotura se calcula y registra por unidad de ancho de cada espécimen. Por último, se registra el promedio de las cargas de rotura por unidad de ancho para todos los especímenes ensayados, considerándolo como la carga de rotura del lote (NTP 399.613, 2005).

Ensayo de variación dimensional

La determinación de las dimensiones incluye la definición de las dimensiones promedio. El ensayo se efectúa sobre una muestra representativa (por lo menos 20 especímenes) y la precisión de la medida es al milímetro. Luego se promedian los resultados, obteniendo los valores P_1 , P_2 y P_3 (Gallegos & Casabonne, 2005).

Variación en Porcentajes:

$$+V = \frac{P - P_{m\acute{a}x}}{P} \times 100$$

$$-V = \frac{P_{m\acute{i}n} - P}{P} \times 100$$

Donde:

- P_1 , P_2 , P_3 son los valores obtenidos resultantes de la medición, en medidas.
- V es la variación dimensional, expresado en %.

Ensayo de alabeo

Para este ensayo se hace uso de una regla graduada de acero con divisiones desde un extremo de 1 mm, o alternativamente una cuña de medición de 60 mm de longitud por 12,5 mm de espesor en un extremo que va reduciéndose hasta llegar a cero en el otro extremo. Para este ensayo se utilizarán un mínimo de 10 especímenes. La Norma NTP 399.613 (2005), especifica la forma de medición según cada caso, ya sea convexo o cóncavo.

En la figura 9, se observa el instrumento de medición para realizar el ensayo de alabeo.

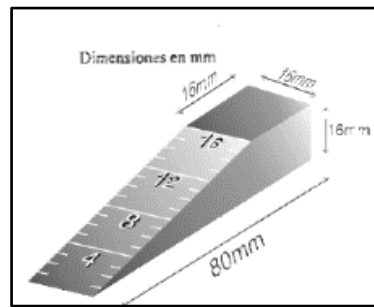


Figura 9: Cuña de medición para el ensayo de alabeo

Fuente: NTP 399.613, 2005.

Ensayo de succión

En la norma NTP 399.613 (2005) también se le denomina como periodo inicial de absorción. Para realizar el ensayo los especímenes se dejan secar al horno o en un ambiente aireado según se especifique. Se mide la longitud y el ancho de la superficie del espécimen de prueba con una aproximación de 1,27 mm, para unidades rectangulares. Seguidamente se pesa el espécimen con una aproximación de 0,5 g y se ajusta la posición de la bandeja de la prueba, de manera que, el fondo este nivelado, lo que se comprueba con nivel de burbuja y se fija el ladrillo referencial saturado encima de los soportes. Luego, se agrega agua hasta que el nivel sea de $3 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ sobre los soportes. Después de sumergirse durante $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$ y secar superficialmente el ladrillo como se especifica en la norma se procede a pesarlo (NTP 399.613, 2005).

El coeficiente de succión se calcula como sigue:

Diferencia de pesos corregida, sobre la base de 200 cm^2 :

$$X = 200W/LB$$

Donde:

- X = Diferencia de pesos corregida, sobre la base de 200 cm^2 .
- W = Diferencia de pesos del espécimen (g).
- L = Longitud del espécimen (cm).
- B = Ancho del espécimen (cm).

Los resultados se aproximarán de la manera siguiente: $0,1 \text{ g}/200 \text{ cm}^2\text{-min}$ (NTP 399.613, 2005).

Ensayo de absorción

Sumersión de 5 y 24 horas

Para este ensayo, se usarán como mínimo 5 especímenes. Estos especímenes deberán estar secos según indica la NTP 399.613 (2005) en sus apartados 6.1.1 y 6.1.2. Posteriormente se procede a saturarlos; se sumerge al espécimen en agua limpia a temperaturas entre 15,5 °C a 30 °C por el tiempo especificado. Se retira el espécimen, se limpia el agua superficial con un paño y pesar el espécimen. Pesar todos los especímenes dentro de los 5 minutos siguientes luego de ser retirados del agua.

$$\text{Absorción}\% = \frac{100 \times (W_s - W_d)}{W_d}$$

Donde:

- W_d = Peso seco del espécimen.
- W_s = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

Se calcula el promedio de absorción de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0,1% (NTP 399.613, 2005).

Ensayo en caliente de 1, 2 y 5 horas

Se utilizan los especímenes utilizados en la prueba de 5 y 24 horas de sumersión en agua fría, y se utilizarán en el estado de saturación que tengan luego de esa prueba. Sumergir el espécimen en agua limpia a temperatura entre 15 °C a 30 °C, de tal manera que el agua circule libremente en todo el espécimen. Calentar hasta el punto de ebullición en una hora, hervir por el tiempo especificado y luego dejar enfriar a una temperatura entre 16 °C a 30 °C. Secar el espécimen, limpiar el agua superficial y pesar el espécimen. Pesar todos los especímenes antes de 5 minutos después de retirarlos del agua (NTP 399.613, 2005).

Ensayo en caliente de 1, 2 y 5 horas:

$$\text{Absorción}\% = \frac{100 \times (W_b - W_d)}{W_d}$$

Donde:

- W_d = Peso seco del espécimen.
- W_b = Peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua caliente.



Se calcula el promedio de absorción de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0,1% (NTP 399.613, 2005).

Coefficiente de saturación

$$\text{Coef. de Sat.} = \frac{W_s^2 - W_d}{W_b^5 - W_d}$$

Donde:

- W_d = peso seco del espécimen.
- W_s^2 = peso del espécimen saturado, después de 24 horas de sumersión en agua fría.
- W_b^5 = peso del espécimen saturado después de 5 horas de sumersión en agua caliente.

Se calcula el promedio de absorción de todos los especímenes ensayados, con aproximación a 0,1% (NTP 399.613, 2005).

Elaboración de las unidades de albañilería

La fabricación de las unidades de albañilería se divide en 5 fases, identificación, preparación, mezclado, prensado y secado.

La identificación se basa en encontrar zonas donde sea adecuado la producción de las unidades de albañilería, aportando una maquinaria móvil para su elaboración y utilizando la tierra local, realizando una identificación de sus propiedades físico-químicas del suelo.

La preparación se trata de obtener un grano de tamaño adecuado, los cuales faciliten una adecuada trabajabilidad al momento de mezclar y un prensado.

El suelo es mezclado con los aditivos en un estado seco, el agua debe ser añadida luego de haber realizado un mezclado correcto de los componentes de las unidades de albañilería.

El secado se debe realizar de manera controlada, seguido de un curado, donde se incorpora estabilizantes de suelos, evitando un secado brusco o rápido y por consiguiente fisuras de retracción en las unidades de albañilería. (Sáinz Guerra & Jové Sandoval, 2010)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

Las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, estabilizadas con sistema CONSOLID, cumplirán con los requerimientos establecidos en las normas E.070 y E.080.



2.3.2. Sub hipótesis

- Hipótesis N°1. – El porcentaje de humedad óptima que permita la elaboración y manipuleo de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, se encontrara entre los límites plástico y líquido característico de cada suelo.
- Hipótesis N°2. – La dosificación óptima de aditivo C-444 que mejorará la propiedad de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, está en el rango de 1.4 l/m^3 a 5.50 l/m^3 .
- Hipótesis N°3. – La dosificación óptima de aditivo SOLIDRY que mejorará la propiedad de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, está en el rango de 10 kg/m^3 a 50 kg/m^3 .
- Hipótesis N°4. – Las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con las dosificaciones óptimas del sistema CONSOLID, serán mejores en contraste a las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas, fabricadas con tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, para ambos casos.

2.4. Definición de variables

2.4.1. Variables de estudio

- Dosificación de aditivo C-444: Componente aglomerante irreversible de las partículas finas. Indicador: Relación de litro por metro cúbico de tierra a utilizar (l/m^3).
- Dosificación de aditivo SOLIDRY: Componente de protección contra el agua (impermeabilizante). Indicador: Relación de peso por metro cúbico de tierra a utilizar (kg/m^3).
- Propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con las dosificaciones óptimas de los aditivos del sistema CONSOLID: Son las características físicas y mecánicas que obtendrán las unidades de albañilería de tierra cruda al ser estabilizadas con sistema CONSOLID en el estado en el que se obtengan tras su fabricación a los 28 días. Indicadores: Variación dimensional (%), alabeo (mm), absorción (%), succión ($\text{gr}/200\text{cm}^2\text{-min}$), coeficiente de saturación (%), resistencia a la compresión (kg/cm^2) y módulo de rotura (kg/cm^2).



2.4.2. Cuadro de operacionalización de variables

"Evaluación de la variación de propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018"							
TIPO	VARIABLES	DESCRIPCIÓN	NIVEL	INDICADOR	UNIDADES	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS	FUENTES
VARIABLES DE ESTUDIO	Dosificación de aditivo C-444	Componente aglomerante irreversible de las partículas finas	Para 1.40 lt por m ³ de mezcla en adición de Consolid 444 Para 2.75 lt por m ³ de mezcla en adición de Consolid 444 Para 4.20 lt por m ³ de mezcla en adición de Consolid 444 Para 5.6 lt por m ³ de mezcla en adición de Consolid 444	Relación de litro por metro cúbico de tierra a utilizar	lt/m ³	Manual del Sistema Consolid Fichas de observación de los instrumentos	Manual de datos técnicos del sistema CONSOLID
	Dosificación de aditivo SOLIDRY	Componente de protección contra el agua (impermeabilizante)	Para 10 kg por m ³ de mezcla en adición de Solidry Para 30 kg por m ³ de mezcla en adición de Solidry Para 50 kg por m ³ de mezcla en adición de Solidry	Relación de peso por metro cúbico de tierra a utilizar	kg/m ³		
	Propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID	Son las características físicas y mecánicas que obtendrán las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID en el estado en el que se obtengan tras su fabricación	Caracterización de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID de acuerdo a sus propiedades físicas y mecánicas	Variación dimensional Alabeo Absorción Succión Resistencia a la compresión Módulo de rotura	% mm % gr/200cm ² /min kg/cm ² kg/cm ²	Norma técnica peruana 399.613 (Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería) Hojas de calculo de los ensayos en laboratorio.	Norma Técnica Peruana (NTP 399.613) Reglamento Nacional de Edificaciones (E.070)



Capítulo III: Metodología

3.1. Metodología de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

La presente tesis de investigación tiene un enfoque *cuantitativo*, ya que se realizarán diferentes ensayos estandarizados por las diferentes normativas peruanas para evaluar las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra estabilizadas con sistema CONSOLID, donde se utilizará la recolección de datos que permita probar tanto la hipótesis general como las hipótesis específicas, en base a una medición numérica y análisis estadístico. La finalidad es establecer pautas de comportamiento y probar diferentes teorías de manera objetiva. Otra de las características que determinan el enfoque a la investigación como cuantitativa es que, durante el proceso, los fenómenos que se observan o se miden no serán afectados por los investigadores. Al no ser afectados, el proceso de la investigación y estudios efectuados serán procesos replicables por cualquier otro investigador (Sampieri et al., 2016).

3.1.2. Nivel o alcance de la investigación

El alcance de la presente investigación es de carácter *descriptivo* debido a que consiste en describir fenómenos, y detallar como se manifiestan de manera natural. Se busca especificar las propiedades físico-mecánicas y características de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID, las cuales serán sometidas a una evaluación y análisis. Posteriormente se describen tendencias de nuestra población o muestra (Sampieri et al., 2016).

3.1.3. Método de la investigación

El método usado para la investigación es de carácter *hipotético-deductivo*, o también conocido como contrastación de hipótesis. La investigación trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis, las cuales no pueden ser comprobadas directamente siendo necesario un proceso de estudio y ensayos para demostrarlos a partir de la verdad o falsedad de las consecuencias observacionales (Behar Rivero, 2008).

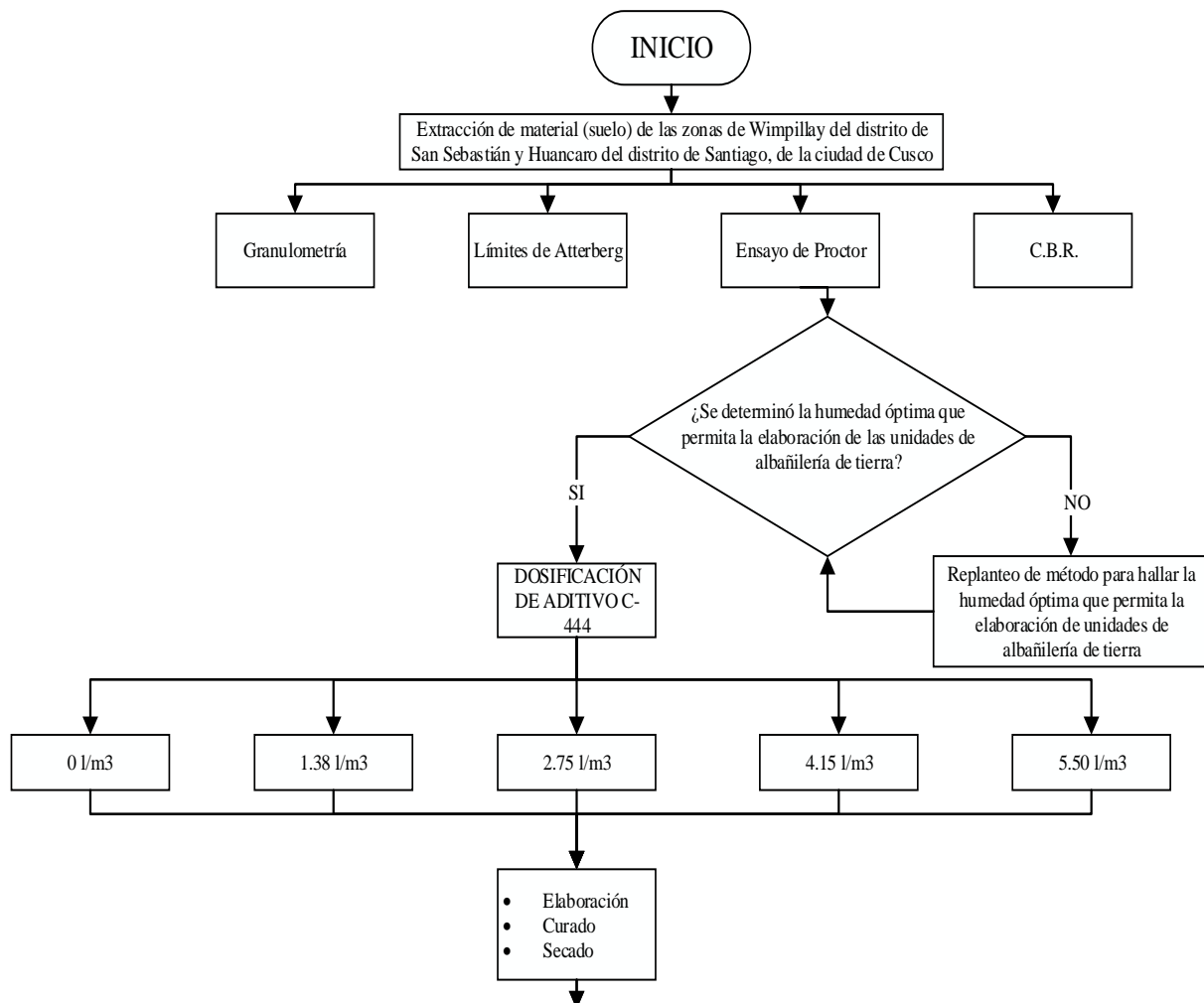
3.2. Diseño de la investigación

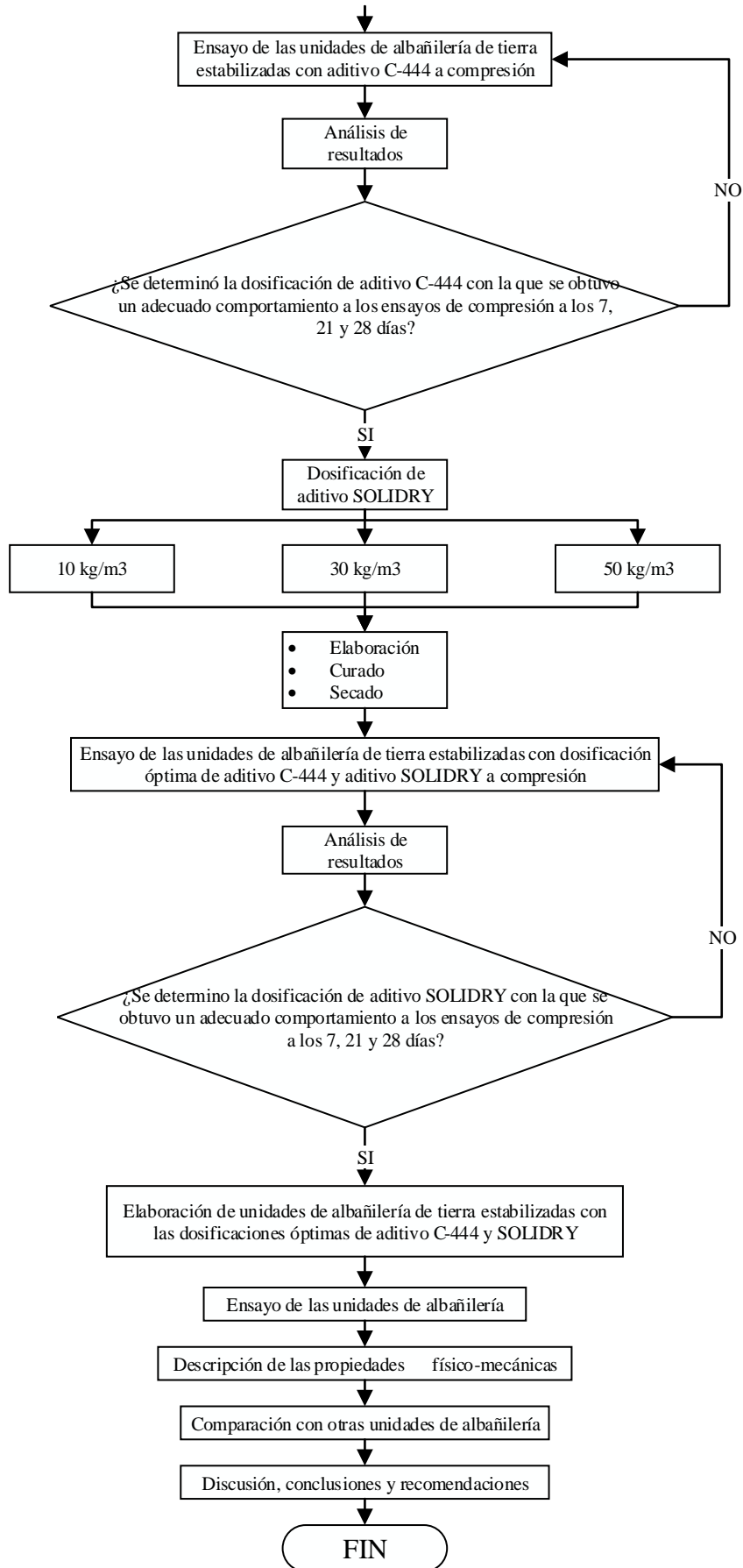
Según Sampieri et al. (2016), el diseño de la investigación es el plan o estrategia que se desarrolla para la obtención de información requerida en la investigación para poder responder al planteamiento.

3.2.1. Diseño metodológico

El diseño de la presente investigación es de carácter *experimental*, pues está se refiere a “elegir o realizar una acción” y posteriormente observar las consecuencias. En el caso de la investigación, se fabricarán unidades de albañilería de tierra cruda comprimidas manualmente y se observarán cuáles son las consecuencias en las propiedades físico-mecánicas de las mismas tras ser estabilizadas con el sistema CONSOLID mediante los ensayos mencionados. Es decir, los investigadores manipularán intencionalmente, en más de dos grados (es decir distintas dosificaciones), los aditivos C-444 y SOLIDRY del sistema CONSOLID, para analizar las consecuencias en las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas, dentro de una situación de control para los investigadores (Sampieriet al., 2016).

3.2.2. Diseño de Ingeniería







3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La teoría de Sampieri et al. (2016) indica que la población es un conjunto de todos los sucesos, en este caso, las unidades de albañilería que concuerdan con una serie de especificaciones o características (dimensiones, materia prima, etc.). En la presente tesis de investigación, la población son todas las unidades de albañilería que han sido elaboradas con la tierra de las zonas de Wimpillay (distrito de San Sebastián) y Huancaro (distrito de Huancaro), de la ciudad de Cusco.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

Se realizó un total de 344 unidades de albañilería con la tierra de la zona de Wimpillay (distrito de San Sebastián) y 317 unidades de albañilería con la tierra de la zona de Huancaro (distrito de Santiago), de la ciudad de Cusco. Estas unidades se usaron para determinar el contenido de humedad óptimo, la dosificación óptima de aditivo C-444 (componente líquido), la dosificación óptima de aditivo SOLIDRY (componente sólido en polvo), y las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra estabilizadas con las dosificaciones óptimas de aditivo del sistema CONSOLID.

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra, en esencia, es un subconjunto de la población (Sampieri et al., 2016). Para el presente caso, la muestra reúne las mismas características que se especifican en el conjunto mayor. Las muestras son, por consiguiente, las unidades de albañilería elaboradas con la tierra de las zonas de Wimpillay (distrito de San Sebastián) y Huancaro (distrito de Santiago) de la ciudad de Cusco.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

El tamaño de la muestra es de 344 unidades de albañilería de tierra de la zona de Wimpillay del distrito de San Sebastián y 317 unidades de albañilería de tierra de la zona de Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, estabilizadas con sistema CONSOLID.

En la tabla 6, se indica el número de unidades elaboradas para cada ensayo.

Tabla 6: Cuantificación de las muestras.

Cuantificación de muestras				
Ensayo	Suelo			
	Santiago		San Sebastián	
Humedad vs Densidad	12		12	
Humedad vs Resistencia	9		9	
Resistencia a la compresión con aditivo C-444	80		89	
Resistencia a la compresión con aditivo SOLIDRY	48		58	
	Estabilizado	No estabilizado	Estabilizado	No estabilizado
Ensayo de determinación del peso (NTP 399.613)	20	20	20	20
Ensayo de determinación del alabeo (NTP 399.613)	22	20	20	22
Ensayo de absorción (NTP 399.613)	5	5	5	5
Ensayo de succión (NTP 399.613)	5	5	6	6
Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613)	20	20	20	22
Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 399.613)	8	7	7	7
Ensayo de módulo de rotura (NTP 399.613)	6	5	7	9
	Total	317	Total	344

3.3.2.3. Método de muestreo

El método de muestreo en la presente tesis de investigación es *no probabilístico*. Al ser la cantidad de muestras igual al de la población podemos afirmar que estas no fueron escogidas usando métodos probabilísticos, por consiguiente se evaluó el total de muestras, dando así a una investigación con muestreo dirigido (Sampieri, Collado, & Lucio, 2016).

3.3.2.4. Criterios de evaluación de muestra

Los criterios de evaluación son los principios, normas o ideas de valoración en relación a los cuales se emite un juicio valorativo sobre el objeto evaluado (García Sanchez, 2010). Los criterios con los que se evaluaron las muestras, definidas como unidades de albañilería de tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, estabilizadas con sistema CONSOLID, son las siguientes:

- De acuerdo a la norma NTP 399.613 del año 2005:
 - Ensayo de determinación del peso: Se ensayarán 05 especímenes como mínimo, enteros y secos. Los especímenes deben mostrar un incremento o pérdida no mayor al 0.2% en dos pesadas sucesivas en un intervalo de 2 horas y se ensayaran 05 especímenes como mínimo). Se utilizó una balanza con capacidad no menor de 3000 g y una aproximación de 0.5 g. La determinación del peso e informe se hicieron de acuerdo al apartado 6.1.3. de la NTP 399.613.



- Ensayo de módulo de rotura: Se ensayarán 05 especímenes enteros completamente secas de acuerdo a la sección 6.1.1. y se hizo el cálculo de acuerdo al apartado 7.3.1. de la NTP 399.613.
- Ensayo a la compresión: Se ensayarán 05 unidades secas de acuerdo a la sección 6.1.1. de la NTP 399.613, de ancho y altura equivalentes a las de la unidad original y longitud igual a media unidad ± 25 mm. Se realizó el ensayo con una máquina que cumpla con los requerimientos habituales de la norma ASTM E4. El cálculo e informe se hicieron de acuerdo al apartado 8.4. de la norma mencionada.
- Ensayo de absorción: Se ensayan como mínimo 05 unidades, según los requerimientos indicados en la sección 8.1.1. y el cálculo e informe se realizaron de acuerdo al apartado 9.3.2. de la NTP 399.613.
- Ensayo de succión: Se ensayarán 05 especímenes enteros de acuerdo a los requerimientos en el apartado 8.1.4. de la NTP 399.613. Se utilizó una balanza, horno de secado. El cálculo e informe se hizo de acuerdo al apartado 11.4. de la norma mencionada.
- Ensayo de variación dimensional: Se ensayarán como mínimo 10 especímenes enteras y secas, que entren en un rango de color y tamaño normal.
- Ensayo de alabeo: Se ensayarán como mínimo 10 especímenes seleccionados para determinar el alabeo.

3.3.3. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión son las características que deben tener los posibles participantes, en este caso las muestras, para considerar su participación en los diferentes ensayos que sean pertinentes en la investigación. Los criterios serán los siguientes:



- Unidades de albañilería elaboradas con los suelos de la zona de Wimpillay, del distrito de San Sebastián, y de la zona de Huancaro, del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco.
- Las unidades tendrán dimensiones de largo de 25 ± 2 cm, ancho de 12.5 ± 2 cm, con una altura variable entre 9 ± 2 cm.

3.4. Instrumentos

3.4.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos instrumentos de ingeniería



3.4.1.1. Ensayo de granulometría

Tabla 7: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de granulometría*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.			
Análisis granulométrico por tamizado Basado en la norma MTC E107 (2000) y ASTM D 422			
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:	
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco		
Descripción:			
1er	Arena lavada		
Peso Inicial c. bandeja:	Peso:		gr
Bandeja:	gr		
Malla	Diametro de la Malla	Peso Retenido	
1"	25.4		
3/4"	19.05		
1/4"	6.35		
N°4	4.75		
N°8	2.36		
N°16	1.18		
N°30	0.6		
N°50	0.3		
N°100	0.15		
N°200	0.075		
Cazuela			
TOTAL			



3.4.1.2. Ensayo de límite líquido y límite plástico

Tabla 8: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de límites de Atterberg*

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 																						
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																						
Límite Líquido y Límite Plástico Basado en la norma MTC E 110, E 111 (2000) y ASTM D 423, 424																						
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:																					
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																						
Descripción:																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Descripción</th> <th style="width: 20%;">Límite Líquido</th> <th style="width: 20%;">Límite Plástico</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero del contenedor</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Código del contenedor</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor (gr)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor más la Muestra</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor mas la muestra</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de golpes</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Límite Líquido	Límite Plástico	Numero del contenedor			Código del contenedor			Peso del contenedor (gr)			Peso del contenedor más la Muestra			Peso del contenedor mas la muestra			Número de golpes			
Descripción	Límite Líquido	Límite Plástico																				
Numero del contenedor																						
Código del contenedor																						
Peso del contenedor (gr)																						
Peso del contenedor más la Muestra																						
Peso del contenedor mas la muestra																						
Número de golpes																						

3.4.1.3. Ensayo de Proctor

Tabla 9: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de Proctor*

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 																																					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																					
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³) En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557																																					
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:																																				
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																																					
Descripción:																																					
Descripción : _____ Metodo : _____ Número de capas : _____ Número de golpes : _____ Diametro del molde: _____ Altura del molde: _____ n°de ensayo _____																																					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Número de prueba</th> <th style="width: 10%;">1</th> <th style="width: 10%;">2</th> <th style="width: 10%;">3</th> <th style="width: 10%;">4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del suelo más el molde</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del molde</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Número de prueba	1	2	3	4	Peso del suelo más el molde	gr				Peso del molde	gr																									
Número de prueba	1	2	3	4																																	
Peso del suelo más el molde	gr																																				
Peso del molde	gr																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Número de prueba</th> <th style="width: 10%;">1</th> <th style="width: 10%;">2</th> <th style="width: 10%;">3</th> <th style="width: 10%;">4</th> <th style="width: 10%;">5</th> <th style="width: 10%;">6</th> <th style="width: 10%;">7</th> <th style="width: 10%;">8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del suelo húmedo más el contenedor</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del suelo seco más el contenedor</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Número de prueba	1	2	3	4	5	6	7	8	Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr								Peso del suelo seco más el contenedor	gr								Peso del contenedor	gr								
Número de prueba	1	2	3	4	5	6	7	8																													
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr																																				
Peso del suelo seco más el contenedor	gr																																				
Peso del contenedor	gr																																				

3.4.1.4. Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería

Tabla 10: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de determinación de humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio		Lugar: Fecha:							
Descripción : Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería.									
PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³								
Peso del suelo humedo compactado	gr								
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr								
Peso del suelo seco más el contenedor	gr								
Peso del contenedor	gr								
Datos de las unidades									
Volumen molde :					cm ³				
Molde:	1	2	3	4	glb				
Ancho:					cm				
Largo:					cm				
Alto:					cm				
Volumen a restar:					cm ³				

3.4.1.5. Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería

Tabla 11: Hoja de recolección de datos para el *ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL								
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.								
Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería.								
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio		Fecha:						
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción:								
ID	a	l	A	h	W	C	C+SH	C+SS
	cm	cm	cm ²	cm	kgf	g	g	g
U1								
U2								
U3								
U4								
U5								

3.4.1.6. Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C - 444

Tabla 12: Hoja de recolección de datos para el ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C - 444

Fecha		7 días					21 días					28 días						
Dosis	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.
	kgf	kgf	g	g	g	kgf	kgf	g	g	g	kgf	kgf	g	g	g	g	g	

3.4.1.7. Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444

Tabla 13: Hoja de recolección de datos para el ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444

Fecha		7 días					21 días					28 días						
Dosis	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.
	kgf	kgf	g	g	g	kgf	kgf	g	g	g	kgf	kgf	g	g	g	g	g	

3.4.1.8. Ensayo de determinación del peso

Tabla 14: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de determinación del peso*



	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL															
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																
Determinación del peso de las unidades de albañilería (NTP 399.613)																
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:														
Lugar:																
Descripción:	<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Peso</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></tbody></table>		ID	Peso	Unidad	g										
ID	Peso															
Unidad	g															

3.4.1.9. Ensayo de alabeo



Tabla 15: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de alabeo*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																													
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																														
Ensayo de alabeo (NTP 399.613)																																														
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:																																												
Lugar:																																														
Descripción:	<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">ID</th><th colspan="2">Cara A</th><th colspan="2">Cara B</th></tr><tr><th>Concavo</th><th>Convexo</th><th>Concavo</th><th>Convexo</th></tr></thead><tbody><tr><td>Unidad</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		ID	Cara A		Cara B		Concavo	Convexo	Concavo	Convexo	Unidad																																		
ID	Cara A			Cara B																																										
	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo																																										
Unidad																																														

3.4.1.10. Ensayo de absorciónTabla 16: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de absorción*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																						
Ensayo de absorción (NTP 399.613)																																						
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:																																				
Lugar:																																						
Descripción:																																						
	<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Wd</th><th>Ws</th><th>Absorción</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th><th>g</th><th>%</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	ID	Wd	Ws	Absorción	Unidad	g	g	%																													
ID	Wd	Ws	Absorción																																			
Unidad	g	g	%																																			

3.4.1.11. Ensayo de succiónTabla 17: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de succión*

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																							
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																																								
Ensayo de succión (NTP 399.613)																																																								
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha:																																																						
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																																																							
Descripción:																																																								
	<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Wd</th><th>Ws</th><th>W</th><th>L</th><th>B</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th><th>g</th><th>g</th><th>cm</th><th>cm</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>	ID	Wd	Ws	W	L	B	Unidad	g	g	g	cm	cm																																											
ID	Wd	Ws	W	L	B																																																			
Unidad	g	g	g	cm	cm																																																			

3.4.1.12. Ensayo de variación dimensional

Tabla 18: Hoja de recolección de datos para el ensayo de variación dimensional

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL													
Evaluación de la variación de propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, respecto a unidades de albañilería de arcilla cocida y de tierra cruda estabilizadas con paja, CUSCO 2018															
Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613)															
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio								Fecha:					
Lugar:															
Descripción:															
ID	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LO	A1	A2	A3	A4	AO	H1	H2	H3	H4	HO
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

3.4.1.13. Ensayo de resistencia a la compresión

Tabla 19: Hoja de recolección de datos para el ensayo de resistencia a la compresión

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.											
Resistencia a la compresión (NTP 399.613)											
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio								Fecha:	
Lugar:											
Descripción:											
ID	Cara superior				Cara inferior				W		
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho	Largo	Ancho			
Unidad	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	kgf		

3.4.1.14. Ensayo de módulo de rotura

Tabla 20: Hoja de recolección de datos para el *ensayo de módulo de rotura*

	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>																																											
<p>Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.</p>																																												
<p>Módulo de rotura (NTP 399.613)</p>																																												
<p>Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio</p>		<p>Fecha:</p>																																										
<p>Lugar:</p>																																												
<p>Descripción:</p>																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">ID</th> <th style="width: 15%;">b</th> <th style="width: 15%;">d</th> <th style="width: 15%;">l</th> <th style="width: 15%;">x</th> <th style="width: 10%;">W</th> </tr> <tr> <th>Unidad</th> <th>cm</th> <th>cm</th> <th>cm</th> <th>cm</th> <th>kg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			ID	b	d	l	x	W	Unidad	cm	cm	cm	cm	kg																														
ID	b	d	l	x	W																																							
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg																																							

3.5. Procedimientos de recolección de datos

3.5.1. Extracción de material

Para la extracción del material se hizo uso de un camión canter de 3 m³ de capacidad, palas y picos, tal como se muestra en la figura 10.



Figura 10: Extracción de material suelo de las zonas de San Sebastián y Santiago

Se extrajo el material que se encontraba 30 cm por debajo del nivel del suelo para evitar la recolección de suelo orgánico que pueda perjudicar los ensayos. Este material fue extraído tal cual se encontró, es decir, no fue seleccionado. Para propósitos de elaboración de las unidades se tamizó el material por la malla $\frac{1}{4}$ ".

3.5.2. Ensayo de granulometría

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza, de precisión a 0.01 gr.
- Martillo de goma.
- Tamices que cumpla con la NTP 350.001.
- Cuchara de metal.
- Brocha.

b) Procedimiento:

- 1) Se extendió y dejó orear la muestra para que esta pierda humedad y mediante un combo de goma, se desmenuza los terrones, tal como se muestra en la figura 11.



Figura 11: Proceso de desmenuzamiento de terrones de tierra para análisis granulométrico

- 2) Se lavó la muestra mediante la malla N°200 con agua potable y se realizó este proceso hasta que el agua que pasa por el tamiz mantenga su transparencia.
- 3) Se vertió y dejó sedimentar el material en un recipiente. Se vertió el agua sobrante y se llevó al horno por 24 horas a una temperatura constante de 110 ± 5 °C.
- 4) Se tamizó la muestra seca libre de finos por una serie de tamices.

5) Se procedió registrar el suelo retenido en cada tamiz con una balanza de precisión de 0.01 g, tal como se muestra en la figura 12.



Figura 12: Pesado del material retenido en el ensayo de granulometría

c) Toma de datos:

Tabla 21: Ensayo de granulometría – Suelo Santiago.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO				
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.				
Análisis granulométrico por tamizado Basado en la norma MTC E107 (2000) y ASTM D 422				
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Fecha: 22/01/2018 Velásquez Flores, Oskar Fabricio			
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco			
Descripción:	Santiago			
Granulometría				
Peso Inicial c. bandeja:	543.7	Peso:	364.7	gr
Bandeja:	179	gr		
		Malla	Peso Retenido	
	25.4	1"	0.0	
	19.05	3/4"	10.7	
	6.35	1/4"	4.1	
	4.75	N°4	3.4	
	2.36	N°8	7.8	
	1.18	N°16	1.6	
	0.6	N°30	19.2	
	0.3	N°50	11.4	
	0.15	N°100	45.8	
	0.075	N°200	37.5	
		Cazuela	222.1	
		TOTAL	363.6	

Tabla 22: Ensayo de granulometría – Suelo San Sebastián.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.			
Análisis granulométrico por tamizado			
Basado en la norma MTC E107 (2000) y ASTM D 422			
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto		Fecha: 22/01/2018
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio		
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco		
Descripción:	San Sebastián		
Granulometría			
Peso Inicial c. bandeja:	772.4	Peso:	593.4 gr
Bandeja:	179	gr	
	Malla	Peso Retenido	
	25.4	1"	0.0
	19.05	3/4"	11.3
	6.35	1/4"	0.0
	4.75	N°4	2.2
	2.36	N°8	3.5
	1.18	N°16	0.7
	0.6	N°30	8.8
	0.3	N°50	5.4
	0.15	N°100	25.5
	0.075	N°200	35.6
		Cazuela	500.2
		TOTAL	593.2

3.5.3. Ensayo de límite líquido

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Cuchara de Casagrande.
- Acanalador.
- Balanza con sensibilidad de 0.01 gr.
- Estufa.
- Cápsulas.
- Horno de secado.

b) Procedimiento:

- 1) Se extendió y dejó orear la muestra para que esta pierda humedad y mediante un combo de goma, se desmenuza los terrones.

- 2) Se tamizó el material por el tamiz N° 40 tomándose aproximadamente entre 150 a 200 gr de material, tal como se muestra en la figura 13.

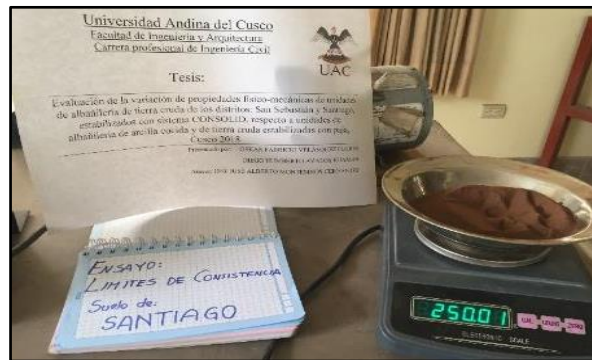


Figura 13: Material tamizado por la malla N° 40

- 3) Se colocó la muestra sobre una vasija de porcelana, y se le añadió agua (15 a 20 ml), se amasó la muestra hasta lograr que este sea uniforme.
- 4) Se colocó una porción de la muestra sobre la cazuela sobre el sitio en que esta reposa en la base y comprimiéndola hacia abajo, extendiendo el suelo hasta obtener la posición mostrada en la figura 14.

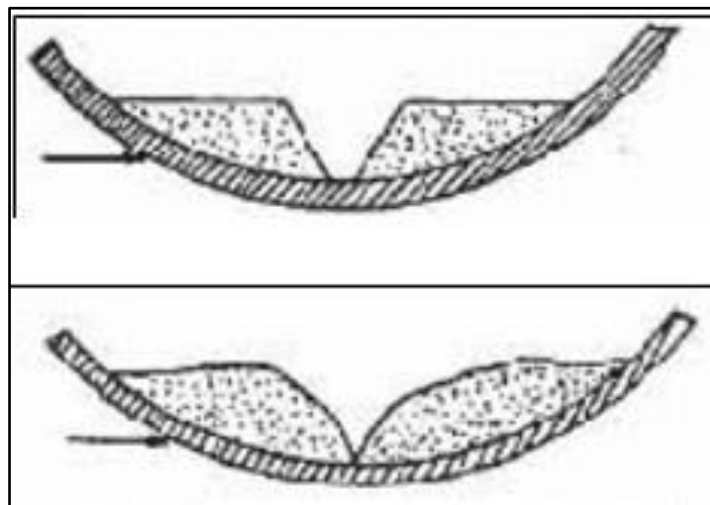


Figura 14: Muestra antes y después del ensayo de límites de consistencia

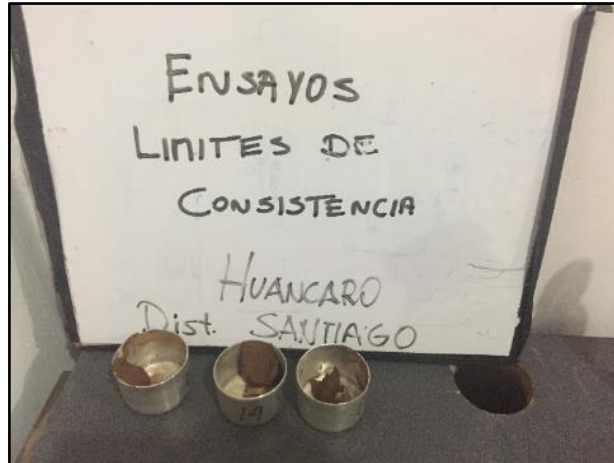
Fuente: MTC, 2000.

- 5) Se elevó y golpeó la taza de bronce girando la manija, hasta cerrar la ranura a lo largo de aproximadamente 13 mm o 0.5". Al cerrarse la ranura se registró el número de golpes que fueron requeridos para cerrarla.
- 6) Se extrajo una tajada de suelo, que incluyó la parte que hizo contacto, y se colocó en una cápsula. Se registró su peso y fue llevada al horno. Ver figura 15(a) y 15(b).

7) Dicho proceso se repitió un total de 3 veces, para cada suelo, para diferente número de golpes y humedades.



15(a)



15(b)

Figura 15: Ensayo de límites de consistencia



a) Extracción de material de la cuchara de Casagrande y b) Material extraído de la cuchara de Casagrande colocado en cápsulas.

c) Toma de datos:

Tabla 23: Ensayo de límite líquido – Suelo Santiago.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.				
Límite Líquido Basado en la norma MTC E 110 y ASTM D 423				
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto	Fecha: 24/01/2018		
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio			
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco			
Descripción:	Santiago			
	Descripción	Límite Líquido		
	Numero del contenedor	s	2	3
	Codigo del contenedor	MLL 1	MLL 2	MLL 3
	Peso del contenedor (gr)	16.57	16.39	16.83
	Peso del contenedor más la Muestra	28.24	27.73	31.29
	Peso del contenedor mas la muestra	25.9	25.42	28.19
	Número de golpes	29	24	20

Tabla 24: Ensayo de límite líquido – Suelo San Sebastián.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																														
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																														
Límite Líquido Basado en la norma MTC E 110 (2000) y ASTM D 423																														
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha: 24/01/2018																												
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																													
Descripción:	San Sebastián																													
<table border="1"><thead><tr><th>Descripción</th><th colspan="3">Límite Líquido</th></tr></thead><tbody><tr><td>Numero del contenedor</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>Codigo del contenedor</td><td>MLL 1</td><td>MLL 2</td><td>MLL 3</td></tr><tr><td>Peso del contenedor (gr)</td><td>16.6</td><td>16.71</td><td>16.05</td></tr><tr><td>Peso del contenedor más la Muestra</td><td>28.33</td><td>30.57</td><td>27.53</td></tr><tr><td>Peso del contenedor mas la muestra</td><td>25.26</td><td>26.9</td><td>24.47</td></tr><tr><td>Número de golpes</td><td>28</td><td>23</td><td>19</td></tr></tbody></table>			Descripción	Límite Líquido			Numero del contenedor	1	2	3	Codigo del contenedor	MLL 1	MLL 2	MLL 3	Peso del contenedor (gr)	16.6	16.71	16.05	Peso del contenedor más la Muestra	28.33	30.57	27.53	Peso del contenedor mas la muestra	25.26	26.9	24.47	Número de golpes	28	23	19
Descripción	Límite Líquido																													
Numero del contenedor	1	2	3																											
Codigo del contenedor	MLL 1	MLL 2	MLL 3																											
Peso del contenedor (gr)	16.6	16.71	16.05																											
Peso del contenedor más la Muestra	28.33	30.57	27.53																											
Peso del contenedor mas la muestra	25.26	26.9	24.47																											
Número de golpes	28	23	19																											

3.5.4. Ensayo de límites plástico

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Tamiz N°40
- Vidrio grueso esmerilado
- Balanza, con aproximación a 0.01 g.
- Horno

b) Procedimiento:

- 1) Se toma 20 g de la muestra preparada para el límite líquido se amasa con agua, formando una esfera con la masa de suelo, tal como se muestra en la figura 16.



Figura 16: Muestra para ensayo de límite plástico

- 2) Se moldea la muestra formando un elipsoide y luego se rueda con los dedos sobre el vidrio esmerilado, hasta que se desmorone en un diámetro aproximado de 1/8"
- 3) A continuación, se procede a pesar la muestra húmeda, después es trasladada al horno, para que de esta forma se calcule el contenido de humedad, tal como se muestra en la figura 17.





Figura 17: Muestra de ensayo de límite plástico siendo pesado antes de ser llevado a horno

c) Toma de datos:

Tabla 25: Ensayo de límite plástico – Suelo Santiago.

<div style="display: inline-block; text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p> </div>																											
<p>Evaluación de la variación de propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, CUSCO 2018</p>																											
<p><u>Límite Plástico</u> Basado en la norma MTC E 111 (2000)</p>																											
<p>Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Fecha: 24/01/2018 Velásquez Flores, Oskar Fabricio</p> <p>Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco</p> <p>Descripción: Santiago</p>																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Descripción</th> <th colspan="3">Límite Plástico</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Numero del contenedor</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Codigo del contenedor</td> <td>MLP 1</td> <td>MLP 2</td> <td>MLP 3</td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor (gr)</td> <td>9.22</td> <td>8.66</td> <td>8.76</td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor más la Muestra</td> <td>12.49</td> <td>11.11</td> <td>12.56</td> </tr> <tr> <td>Peso del contenedor mas la muestra</td> <td>12.1</td> <td>10.83</td> <td>12.01</td> </tr> </tbody> </table>	Descripción	Límite Plástico			1	2	3	Numero del contenedor	1	2	3	Codigo del contenedor	MLP 1	MLP 2	MLP 3	Peso del contenedor (gr)	9.22	8.66	8.76	Peso del contenedor más la Muestra	12.49	11.11	12.56	Peso del contenedor mas la muestra	12.1	10.83	12.01
Descripción		Límite Plástico																									
	1	2	3																								
Numero del contenedor	1	2	3																								
Codigo del contenedor	MLP 1	MLP 2	MLP 3																								
Peso del contenedor (gr)	9.22	8.66	8.76																								
Peso del contenedor más la Muestra	12.49	11.11	12.56																								
Peso del contenedor mas la muestra	12.1	10.83	12.01																								

Tabla 26: Ensayo de límite Plástico – Suelo San Sebastián.

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																													
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																														
Límite Plástico Basado en la norma MTC E 111 (2000) y ASTM D 424																														
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fecha: 24/01/2018																												
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																													
Descripción:	San Sebastián																													
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Descripción</th><th colspan="3">Límite Plástico</th></tr><tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr></thead><tbody><tr><td>Numero del contenedor</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr><tr><td>Codigo del contenedor</td><td>MLP 1</td><td>MLP 2</td><td>MLP 3</td></tr><tr><td>Peso del contenedor (gr)</td><td>8.9</td><td>8.76</td><td>8.45</td></tr><tr><td>Peso del contenedor más la Muestra</td><td>10.52</td><td>10.6</td><td>11.82</td></tr><tr><td>Peso del contenedor mas la muestra</td><td>10.28</td><td>10.38</td><td>11.38</td></tr></tbody></table>				Descripción	Límite Plástico			1	2	3	Numero del contenedor	1	2	3	Codigo del contenedor	MLP 1	MLP 2	MLP 3	Peso del contenedor (gr)	8.9	8.76	8.45	Peso del contenedor más la Muestra	10.52	10.6	11.82	Peso del contenedor mas la muestra	10.28	10.38	11.38
Descripción	Límite Plástico																													
	1	2	3																											
Numero del contenedor	1	2	3																											
Codigo del contenedor	MLP 1	MLP 2	MLP 3																											
Peso del contenedor (gr)	8.9	8.76	8.45																											
Peso del contenedor más la Muestra	10.52	10.6	11.82																											
Peso del contenedor mas la muestra	10.28	10.38	11.38																											

3.5.5. Ensayo de Proctor Modificado

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Molde de 4 pulgadas.
- Pisón o martillo manual de 44.5N.
- Balanza.
- Horno.
- Tamices $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ " y N° 4.
- Regla.

b) Procedimiento:

- 1) En base a la granulometría realizada, se escogió el método a usar para la prueba.
- 2) Se extendió y dejó orear la muestra, para que esta pierda humedad y haciendo uso del combo de goma, se desmenuzaron los terrones de tierra. Se tamizó la muestra a través del tamiz N° 4 y se determinó su contenido de humedad, tal como se aprecia en la figura 18.



Figura 18: Tamizado de material para ensayo de Proctor

- 3) Se preparó la muestra de 2.3 kg y se añadió agua hasta lograr un contenido de humedad lo más cercano al óptimo.*
- 4) Se separó la muestra en 5 porciones equivalentes, y se colocó cada porción en el molde, compactándolo así a 25 golpes por cada capa, tal como se muestra en la figura 19(a)
- 5) Se enrasó el material con ayuda de un enrazador, se pesó dicho molde con la muestra enrasada, como se muestra en la figura 19(b). Luego, se extrajó muestras de la parte superior e inferior del molde, estas se colocaron en capsulas, se registró sus pesos y luego fueron llevadas al horno para poder hallar su contenido de humedad.
- 6) Se repitió el proceso 4 veces con diferentes contenidos de humedad que varían entre $\pm 3\%$.



19(a)



19(b)

Figura 19: Ensayo de Proctor

- a) Proceso de compactado a 25 golpes en 5 capas y b) Registro de pesos de las muestras de Proctor.

c) Toma de datos:

Tabla 27: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (primer ensayo)



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto				Fecha: 15/03/2018				
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio								
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de Santiago								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de ensayo:	1								
Número de prueba		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3884	3983	3946	3845				
Peso del molde	gr	1948	1948	1944	1948				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	60.92	67.91	60.09	64.04	59.68	57.63	55.71	53.92
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	58.89	65.23	57.38	61.02	56.47	54.86	52.87	51.47
Peso del contenedor	gr	36.79	36.8	36.17	36.89	36.53	36.8	36.74	37.01

Tabla 28: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (segundo ensayo)



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto				Fecha: 15/03/2018				
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio								
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de Santiago								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de ensayo:	2								
Número de prueba		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3844	3934	3898	3875.0				
Peso del molde	gr	1944	1944	1944	1944				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	28.13	29.42	64.68	67.58	71.18	65.8	68.2	67.5
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	27.13	28.26	61.55	64.25	66.68	61.99	63.45	62.84
Peso del contenedor	gr	15.85	15.72	36.7	36.23	37.08	37.07	36.8	36.5

Tabla 29: Ensayo de Proctor – Suelo Santiago (tercer ensayo)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fecha: 15/03/2018					
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de Santiago								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de ensayo:	3								
Número de prueba		1	2	3	4				
Peso del suelo más el molde	gr	3863	3903	3925	3861.0				
Peso del molde	gr	1948	1944	1944	1948				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	47.26	46.19	52.52	64.08	55.56	59.87	51.27	45.47
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	46.43	45.42	50.93	61.12	53.4	56.82	49.11	44.08
Peso del contenedor	gr	37.04	37.08	36.52	36.22	37.16	36.31	36.07	36.19

Tabla 30: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (primer ensayo)

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fecha: 19/03/2018					
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de San Sebastián								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de prueba:	1								
Número de prueba		1	2	3	4				
Peso del suelo más el molde	gr	3633	3783	3838	3852				
Peso del molde	gr	1953	1953	1953	1953				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	48.72	53.35	23.50	23.13	26.03	28.33	22.69	25.30
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	47.69	51.95	22.61	22.30	24.62	26.72	21.66	23.89
Peso del contenedor	gr	37.01	36.80	15.85	15.83	15.68	15.87	15.78	15.75

Tabla 31: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (segundo ensayo)





 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio		Fecha: 19/03/2018						
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de San Sebastián								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de ensayo:	2								
Número de prueba		1	2	3	4				
Peso del suelo más el molde	gr	3519.0	3705.0	3788.0	3772.0				
Peso del molde	gr	1870.4	1870.4	1870.4	1870.4				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	43.28	38.14	44.87	39.18	41.65	46.44	34.87	39.07
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	40.81	36.03	41.53	36.64	38.41	42.61	31.96	34.55
Peso del contenedor	gr	16.34	16.21	16.60	16.82	16.38	16.75	16.21	16.10

Tabla 32: Ensayo de Proctor – Suelo San Sebastián (tercer ensayo)

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL									
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.									
Ensayo compactación de suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³)									
En base a la norma MTC E 115 (2000) y ASTM 1557									
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio		Fecha: 19/03/2018						
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco								
Descripción :	Muestra de San Sebastián								
Metodo :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Diametro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Número de ensayo:	3								
Número de prueba		1	2	3	4				
Peso del suelo más el molde	gr	5545	5565	5695	5710				
Peso del molde	gr	3840	3815	3820	3810				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	32.92	40.66	44.56	42.38	36.46	39.54	60.68	56.10
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	31.90	38.36	41.46	39.34	33.24	35.56	54.24	50.46
Peso del contenedor	gr	20.02	14.87	11.33	11.43	11.25	11.40	18.54	18.83

3.5.6. Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza, de precisión a 0.01g.
- Maquina compresora manual de un ladrillo marca FORZA.
- Regla metálica.
- Malla ¼”.
- Bandeja de metal.
- Cápsulas.
- Horno.
- Cocina a gas.

b) Procedimiento:

- 1) Se tamizó el material utilizando la malla ¼” para cada suelo de las zonas respectivas.
- 2) Se halló el contenido de humedad natural para cada suelo.
- 3) Se plantearon diferentes porcentajes de humedad para la elaboración de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro.

Santiago → 13% a 22%

San Sebastián → 15% a 32%

- 4) Se mezcló la tierra de cada zona con el agua necesaria para llegar a las humedades planteadas por los tesisas, tal como se muestra en la figura 20. La fabricación fue inmediata al mezclado.



Figura 20: Mezcla de agua con tierra de la zona de Huancaro para la elaboración de unidades de albañilería

- 5) Se elaboraron las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro con los porcentajes de humedad planteados haciendo uso de la máquina compresora de ladrillos marca FORZA. Las unidades producidas presentaron desmoronamientos en los vértices, tal como se puede observar en la figura 21.



Figura 21: Ladrillo resultado de la compactación con la máquina FORZA

- 6) Se dejó a la intemperie dichas unidades por 24 horas, luego se tomó el contenido de humedad de cada unidad para corroborar el porcentaje de agua que contenía con ayuda de cápsulas como contenedores, tal como se muestra en la figura 22, donde se encuentran las cápsulas con material tierra.



Figura 22: Material suelo extraído de la unidad de albañilería para hallar su humedad natural

- 7) Este proceso se realizó para ambos suelos, un total de 3 veces para cada suelo, muy similar a lo que se hizo con el ensayo de Proctor para permitir conocer la humedad con la cual se trabaja mejor el suelo y con el cual obtenga una densidad adecuada y poder elaborar una unidad bien compactada.

c) Toma de datos:

Tabla 33: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (primer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4
Volumen del molde :	cm ³	2688.48	2750.98	2719.73	2719.73
Peso del suelo humedo compactado	gr	4650	4973	5505	5343

Contenido de humedad		1	2	3	4	5	6	7	8
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	66.5	69.64	67.99	64.72	60.87	68.97	80.5	83.1
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	61.23	64.02	61.57	59.02	54.6	61.68	70.14	71.86
Peso del contenedor	gr	22.23	22.45	22.69	24.49	22.51	24.25	23.97	22.04

Datos de las unidades					
Volumen molde :	2688.48	2750.98	2719.73	2719.73	cm ³
Molde:	1	2	3	4	glb
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm
Largo:	25	25	25	25	cm
Alto:	9	9.2	9.1	9.1	cm
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³

Tabla 34: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (segundo ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4
Volumen del molde :	cm ³	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48
Peso del suelo humedo compactado	gr	4175	4415	5220	5115

Contenido de humedad		1	2	3	4	5	6	7	8
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	67.32	70.17	69.87	68.38	68.91	69.55	79.95	78.78
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	62.35	64.78	63.48	62.35	61.65	62.35	69.78	68.45
Peso del contenedor	gr	24.12	23.45	23.68	24.68	23.45	24.6	23.6	21.56

Datos de las unidades					
Volumen molde :	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48	cm ³
Molde:	1	2	3	4	glb
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm
Largo:	25	25	25	25	cm
Alto:	9.1	9.1	9	9	cm
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³

Tabla 35: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo Santiago (tercer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4215	4390	5185	5155				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	81.04	84.25	82.78	80.93	82.79	84.05	86.28	86.8
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	75.45	78.4	75.65	74.24	74.56	75.65	76.36	77.12
Peso del contenedor	gr	32.54	33.54	31.25	32.35	31.25	31.45	31.33	33.21

Datos de las unidades					
Volumen molde :	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48	cm ³
Molde:	1	2	3	4	glb
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm
Largo:	25	25	25	25	cm
Alto:	9.1	9.1	9	9	cm
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³

Tabla 36: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (primer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4810	4875	7805	4710				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	117.54	136.78	125.32	106.63	116.65	136.61	153.96	148.2
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	106.08	122.95	112.03	95.51	103.02	119.58	131.52	126.11
Peso del contenedor	gr	42.92	46.42	47.36	41.31	43.17	45.83	45.43	44.95

Datos de las unidades					
Volumen molde :	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48	cm ³
Molde:	1	2	3	4	glb
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm
Largo:	25	25	25	25	cm
Alto:	9.2	9.2	9.2	9	cm
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³

Tabla 37: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (segundo ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4720	5060	4870	4660				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	123.82	100.18	127.78	127.46	140.82	138.48	168.06	158.36
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	110.22	91.1	110.54	111.22	118.72	116.12	137.92	131.12
Peso del contenedor	gr	43.01	45.66	42.98	45.48	45.01	41.37	47.42	46.48
Datos de las unidades									
Volumen molde :	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48	cm ³				
Molde:	1	2	3	4	glb				
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm				
Largo:	25	25	25	25	cm				
Alto:	9.2	9.2	9.2	9	cm				
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³				

Tabla 38: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería – Suelo San Sebastián (tercer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4695	5025	4860	4775				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	69.06	65.14	71.24	67.05	62.75	71.32	82.98	85.78
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	61.18	57.82	62.18	59.02	54.6	61.68	70.14	71.86
Peso del contenedor	gr	23.54	21.83	22.69	24.49	22.51	24.25	23.97	22.04
Datos de las unidades									
Volumen molde :	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48	cm ³				
Molde:	1	2	3	4	glb				
Ancho:	12.5	12.5	12.5	12.5	cm				
Largo:	25	25	25	25	cm				
Alto:	9.2	9.2	9.2	9	cm				
Volumen a restar:	124.02	124.02	124.02	124.02	cm ³				



3.5.7. Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza.
- Máquina compresora manual marca FORZA.
- Cocina a gas.
- Regla metálica o metro.
- Malla ¼”.
- Bandeja de metal.
- Cápsulas.
- Horno.
- Máquina para ensayo de compresión

b) Procedimiento:

- 1) Se tamizó el material por la malla ¼” para cada suelo de las zonas respectivas.
- 2) Se halló el contenido de humedad natural para cada suelo.
- 3) Se plantearon diferentes porcentajes de humedad para la elaboración de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro.
Santiago → 13% a 22%
San Sebastián → 15% a 32%
- 4) Se mezcló la tierra de cada zona con el agua necesaria para llegar a las humedades planteadas por los tesisas.
- 5) Se elaboraron las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay y Huancaro, como se muestra en la figura 23(a), con los porcentajes de humedad planteados, haciendo uso de la máquina compresora de ladrillos marca FORZA.
- 6) Se volvió a tomar la humedad de cada suelo para corroborar el porcentaje de agua que contenían con ayuda de cápsulas como contenedores. Posteriormente se ingresaron a un horno como se ilustra en la figura 23(b).



23(a)



23(b)

Figura 23: Preparación del material para el ensayo de resistencia a la compresión

a) Elaboración de unidades de albañilería con la máquina marca FORZA y b) Cápsulas en horno para hallar contenido de humedad.

7) Se ensayaron las unidades de albañilería a compresión y se anotaron los valores de carga última. La figura 24(a) muestra la unidad seca ensayada cuando esta ya ha llegado a su resistencia máxima y dejó de resistir carga y la figura 24(b) muestra el resultado del ensayo de resistencia a la compresión. Dicho resultado será posteriormente corregido mediante la ecuación de carga dividido entre el área de contacto puesto que el valor que arroja la máquina solo es referencial, aunque si se aproxima a la realidad.



24(a)



24(b)

Figura 24: Ensayo de resistencia a la compresión

a) Ensayo finalizado y b) Registro de la última carga máxima.

c) Toma de datos:

Tabla 39: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería- suelo de Santiago.



		<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>						
<p>Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.</p>								
<p>Ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería</p>								
<p>Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto</p>			<p>Fecha: 04/06/2018</p>					
<p>Velásquez Flores, Oskar Fabricio</p>								
<p>Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco</p>								
<p>Descripción: Suelo de Santiago</p>								
ID	a	l	A	h	W	C	C+SH	C+SS
	cm	cm	cm ²	cm	kgf	g	g	g
SA1	12.01	24.20	291	9.20	2130	22.7	68	61.6
						24.5	64.7	59
SA2	12.01	24.20	291	9.10	2600	23.7	69.9	68.4
						24.7	68.4	62.4
SA3	12.04	24.20	291	9.10	2700	31.3	82.8	75.7
						32.4	80.9	74.2
SA4	12.03	24.20	291	9.20	4020	22.5	60.9	54.60
						24.3	69	61.7
SA5	12.06	24.20	292	9.15	3960	23.5	68.9	61.7
						24.60	69.6	62.4
SA6	11.96	24.10	288	9.10	3612	31.3	82.8	74.6
						31.5	84.1	75.7
SA7	11.98	23.90	286	9.50	1650	24	80.5	70.1
						22	83.10	71.9
SA8	12.03	23.90	288	9.30	3070	23.60	80	69.8
						21.6	78.8	68.5
SA9	12.02	24.20	291	9.45	2400	31.3	86.3	76.4
						33.2	86.80	77.1

Tabla 40: Ensayo para determinar la humedad óptima respecto la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería – suelo de San Sebastián.

ID		a	l	A	h	W	C	C+SH	C+SS
		cm	cm	cm ²	cm	kgf	g	g	g
SS1	11.65	23.60	275	9.20	2000	42.9	117.0	106.0	
						46.4	135.0	121.0	
SS2	11.76	23.60	278	9.10	2230	41.4	105.0	95.6	
						46.5	102.0	93.3	
SS3	11.90	23.80	283	9.10	2210	47.5	120.0	109.0	
						46.0	115.0	104.0	
SS4	12.00	23.90	287	9.20	9680	43.2	117.0	103.0	
						45.8	137.0	120.0	
SS5	11.80	23.50	277	9.15	9970	45.0	108.0	96.3	
						43.3	139.0	121.0	
SS6	11.90	23.70	282	9.10	9030	43.0	147.0	126.0	
						45.5	137.0	120.0	
SS7	11.90	23.60	281	9.50	5400	45.4	156.0	132.0	
						45.0	149.0	126.0	
SS8	11.89	23.70	282	9.30	5700	47.4	130.0	112.0	
						41.3	110.0	94.5	
SS9	11.95	23.60	282	9.45	5550	43.0	129.0	111.0	
						45.5	130.0	111.0	

3.5.8. Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Máquina compresora manual ladrillera marca FORZA.
- Cocina a gas.
- Regla metálica o metro.
- Malla ¼”.
- Bandeja de metal.
- Cápsulas.
- Horno.
- Balanza de precisión.
- Máquina para ensayo de compresión.
- Aditivo C-444.

b) Procedimiento:

- 1) Se tamizó el material por la malla ¼” para cada suelo de las zonas respectivas.
- 2) Se halló el contenido de humedad natural para cada suelo.
- 3) Para la realización de este ensayo, se utilizaron distintas dosificaciones del aditivo C - 444 del sistema CONSOLID, porcentajes que variaban desde la cantidad recomendada por el manual del sistema CONSOLID de España desde 0.8 l/m³ en adelante (ver anexo 3).
- 4) Se disuelve el aditivo líquido C-444 con agua en la proporción 1:4 respectivamente.
- 5) Se procedió a mezclar las dosificaciones de aditivo C-444 desconcentrado planteadas por los tesisistas, como se indica en la tabla 41 dadas en litros por metro cúbico, con el agua necesaria para llegar a las humedades óptimas, planteadas en el paso 6.

Tabla 41: Dosificaciones planteadas de aditivo C-444.

Dosificaciones de aditivo C-444	
Santiago	San Sebastián
0 l/m ³	0 l/m ³
1.40 l/m ³	1.40 l/m ³
2.75 l/m ³	2.75 l/m ³
4.15 l/m ³	4.15 l/m ³
5.50 l/m ³	5.50 l/m ³

6) Las humedades planteadas se tomaron en base a los ensayos anteriores siendo los siguientes:

Santiago → $20.5 \pm 1\%$

San Sebastián → $24 \pm 1\%$

7) Se mezcló la amalgamación del aditivo y agua con la tierra de cada suelo hasta lograr una consistencia uniforme.

8) Se elaboraron las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444 en sus diferentes dosificaciones con ayuda de la maquina compresora de ladrillos marca FORZA. En la figura 25(a) se muestra a los tesistas junto a las unidades de albañilería de tierra cruda elaboradas.

9) Se dejaron secar las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444 por 7, 21 y 28 días al aire libre tal como se muestra en la figura 25(b).



25(a)



25(b)

Figura 25: Elaboración de unidades de albañilería con aditivo C-444

a) Unidades de albañilería elaboradas y b) Proceso de secado de las unidades.

10) Se realizaron los ensayos de compresión a las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444 a 7, 21 y 28 días, y se registraron las cargas a primera falla y cargas últimas. Estas unidades fueron ensayadas en el laboratorio de GEOTEST en Marcavalle tal como se muestra en la figura 26(a) y 26(b).



26(a)



26(b)

Figura 26: Ensayo de resistencia a la compresión

a) Ensayos realizado en GEOTEST 1y b) Ensayo realizado en GEOTEST 2.

11) Una vez ensayadas las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444, se procedió a extraer una muestra de tierra por cada unidad del centro de la misma para conocer su humedad natural al día correspondiente del ensayo con ayuda de cápsulas, tal como se muestra en la figura 27.



Figura 27: Extracción de tierra de las unidades de albañilería ensayadas



c) Toma de datos:

Tabla 42: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444 – Suelo de Santiago.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																				
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																						
Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444																						
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio										Fecha:		Indicada								
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																				
Descripción:		Suelo de Santiago																				
Ancho:		12.5 cm																				
Largo:		25 cm																				
Área bruta:		312.5 cm ²																				
Dosis	Fecha	19 de junio del 2018					03 de julio del 2018					10 de julio del 2018										
		ID	F1		F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1		F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1		F2	C.	C+SH.	C+SS.
			kgf	kgf	g	g				kgf	kgf	g	g				kgf	kgf	g	g		
0 l/m ³	S0-01	5900	6140	11.42	36.54	33.98	S0-06	7000	7200	18.68	51.82	50.24	S0-11	5670	7690	14.66	52.20	51.22				
	S0-02	5840	6140	11.36	29.40	27.62	S0-07	7800	8210	18.72	44.88	43.74	S0-12	6100	7870	8.66	53.58	52.14				
	S0-03	3705	4550	11.46	43.30	40.54	S0-08	7710	8400	18.55	49.74	48.12	S0-13	6230	8380	19.10	62.02	60.76				
	S0-04	4820	5260	11.42	33.44	31.36	S0-09	6800	7720	18.02	51.00	49.14	S0-14	6630	8340	15.16	56.34	55.32				
	S0-05	4200	4210	10.58	37.88	35.40	S0-10	6900	7910	18.32	53.78	51.60	S0-15	5870	6790	14.90	57.58	56.24				
1.40 l/m ³	S4-01	3160	3360	11.44	37.78	35.50	S4-06	6700	7720	18.68	45.48	43.58	S4-11	4900	6370	14.66	53.26	52.24				
	S4-02	2840	3100	11.60	33.14	31.12	S4-07	6900	7670	18.72	53.56	51.16	S4-12	7000	8000	8.66	47.58	46.58				
	S4-03	3150	3350	11.30	30.54	28.74	S4-08	6800	8060	18.54	41.56	40.24	S4-13	6500	7700	19.10	64.56	63.50				
	S4-04	4010	4210	11.36	29.40	27.62	S4-09	6700	7640	18.02	49.72	47.66	S4-14	6900	7450	15.16	64.64	63.62				
	S4-05	3760	3960	11.46	43.30	40.54	S4-10	6740	7700	18.30	45.40	43.74	S4-15	6780	7570	14.90	59.08	58.10				
2.75 l/m ³	S8-01	4810	5010	11.28	36.70	34.20	S8-06	6570	7150	18.66	63.90	61.94	S4-16	5560	7600	15.70	58.86	57.90				
	S8-02	4660	4860	11.42	36.54	33.98	S8-07	5300	6800	18.70	63.14	61.10	S8-11	6770	6820	11.42	76.92	75.26				
	S8-03	4650	5100	11.36	29.40	27.62	S8-08	4900	7230	18.54	61.56	59.66	S8-12	6600	6660	11.34	76.02	74.50				
	S8-04	4920	5120	11.46	43.30	40.54	S8-09	5900	7320	18.00	61.54	59.62	S8-13	5560	7620	11.44	71.70	70.42				
	S8-05	5210	5300	10.74	29.66	27.52	S8-10	4950	6960	18.30	59.12	57.24	S8-14	6060	6550	11.20	62.54	61.38				
4.15 l/m ³	S12-01	3870	3900	11.20	29.52	27.66	S8-15	6150	6630	11.76	73.42	72.00	S8-16	6190	6950	11.44	76.10	74.60				
	S12-02	4630	4710	11.42	33.44	31.36	S12-06	4900	6890	19.54	65.06	63.36	S12-11	5460	6160	11.34	65.52	64.48				
	S12-03	4020	4970	11.40	33.34	31.14	S12-07	4950	6510	15.24	61.14	59.46	S12-12	6250	6620	11.30	63.96	63.04				
	S12-04	5010	5200	10.58	37.88	35.40	S12-08	4900	6840	19.52	59.54	58.00	S12-13	6470	6620	11.36	76.92	75.54				
	S12-05	4760	4800	36.54	33.98	11.35	S12-09	4960	6900	18.76	67.08	65.24	S12-14	6250	6470	11.52	67.14	65.78				
5.50 l/m ³	S16-01	5010	6120	11.60	33.14	31.12	S12-10	4800	6810	18.90	67.24	65.92	S12-15	6270	6470	11.32	62.16	61.54				
	S16-02	3710	5530	11.30	30.54	28.74	S16-06	5000	7110	8.84	53.66	52.04	S12-16	6240	6540	11.64	67.12	65.92				
	S16-03	5610	5700	11.44	37.78	35.50	S16-07	4950	7200	15.50	61.68	60.10	S16-11	6870	7720	38.02	139.20	136.20				
	S16-04	5650	5850	11.20	41.36	39.04	S16-08	5300	7170	9.14	50.50	49.02	S16-12	6480	6960	38.20	130.78	128.58				
	S16-05	4300	4630	11.44	37.50	35.16	S16-09	4650	7340	14.66	59.92	58.34	S16-13	6490	7240	38.60	124.60	122.50				
						S16-10	4650	6890	8.66	47.04	45.50	S16-14	6460	6520	37.36	132.46	130.32					
												S16-15	6870	7380	39.40	111.08	109.32					
												S16-16	6680	7370	23.92	101.80	100.12					



Tabla 43: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C- 444 – Suelo de San Sebastián.

Fecha		29 de junio del 2018 7 días					13 de julio del 2018 21 días					20 de julio 28 días						
Dosis	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.
	kgf	kgf	g	g	g	kgf		kgf	g	g	g	kgf		kgf	g	g	g	
0 l/m ³	SS0-01	5450	5590	19.10	60.68	54.84	SS0-07	6980	8140	11.40	61.52	58.14	SS0-12	7760	9490	18.44	58.16	55.02
	SS0-02	4560	5060	18.16	53.78	48.78	SS0-08	7000	8170	10.58	65.10	60.88	SS0-13	6120	9140	22.50	71.32	67.26
	SS0-03	4920	5140	18.40	52.06	47.14	SS0-09	6650	7660	18.38	73.24	68.84	SS0-14	6950	9240	15.06	51.96	48.94
	SS0-04	3790	4570	18.86	76.06	67.22	SS0-10	6559	8750	19.10	81.40	76.30	SS0-15	5600	7260	19.22	61.74	58.20
	SS0-05	4660	5110	11.50	47.46	42.50	SS0-11	7100	8550	18.56	83.04	78.02	SS0-16	6400	8240	18.42	49.66	47.10
	SS0-06	4870	5870	18.56	53.74	49.14												
1.40 l/m ³	SS1-01	5670	5770	11.36	53.84	48.02	SS1-07	7600	8750	14.34	50.30	48.56	SS1-13	6430	8840	14.68	54.68	52.24
	SS1-02	4280	4280	11.36	58.9	51.7	SS1-08	8290	8900	14.72	52.42	50.58	SS1-14	7740	9090	8.66	40.88	38.90
	SS1-03	3840	3840	11.42	66.5	57.68	SS1-09	7940	8620	14.24	55.08	53.14	SS1-15	8060	8820	19.10	55.58	53.56
	SS1-04	3760	3770	11.42	61.02	53.6	SS1-10	7320	8330	14.58	51.42	49.96	SS1-16	7580	9240	19.32	59.56	57.18
	SS1-05	4160	4170	11.46	70.24	61.5	SS1-11	8240	9000	14.72	55.36	53.50	SS1-17	7480	9220	15.18	56.90	54.48
	SS1-06	4570	4570	11.34	59.94	52.9	SS1-12	7920	7980	14.10	55.52	53.60	SS1-18	7930	8000	18.78	64.20	61.50
													SS1-19	8180	8320	15.22	62.46	59.70
2.75 l/m ³	SS2-01	4420	4420	11.66	63.74	55.92	SS2-07	8500	8560	14.68	46.46	45.32	SS2-13	7780	9230	11.56	47.92	45.90
	SS2-02	4090	4180	18.3	66.64	59.36	SS2-08	7640	7760	14.26	56.32	54.84	SS2-14	7250	8820	18.54	51.24	49.44
	SS2-03	2800	3080	11.74	68.38	59.6	SS2-09	8070	8240	14.46	56.96	55.16	SS2-15	8120	8250	14.88	51.74	49.70
	SS2-04	2940	3060	11.32	58.68	51.2	SS2-10	7345	7980	14.58	55.48	54.06	SS2-16	8140	8950	19.30	58.88	56.96
	SS2-05	2830	2840	11.44	74.48	64.24	SS2-11	7370	8200	14.58	47.60	46.46	SS2-17	6450	8230	15.70	59.32	56.96
	SS2-06	2560	2550	11.2	62.26	53.84	SS2-12	6710	6710	14.78	49.64	48.58	SS2-18	7450	8080	14.90	56.54	54.44
4.15 l/m ³	SS3-01	3460	3500	38.2	102.8	92.66	SS3-07	6685	7620	18.86	72.04	66.94	SS3-13	6750	7820	14.40	42.54	40.18
	SS3-02	3420	3420	37.36	108.1	96.42	SS3-08	6310	7350	18.30	69.32	64.30	SS3-14	6280	7910	17.90	53.80	50.88
	SS3-03	3850	3850	38.04	111	98.55	SS3-09	6920	7840	18.16	81.74	75.74	SS3-15	5900	9100	18.72	61.14	57.64
	SS3-04	2570	2570	23.92	110.4	95.48	SS3-10	7100	7810	11.20	53.92	49.86	SS3-16	4100	7840	19.08	58.66	55.20
	SS3-05	2010	2010	23.84	114.7	98.6	SS3-11	6950	7370	11.28	71.86	66.06	SS3-17	5900	8090	18.54	56.34	53.10
	SS3-06	2390	2390	38.2	115.5	102.1	SS3-12	7100	7930	11.60	59.38	55.22	SS3-18	5900	8210	18.84	44.08	41.80
													SS3-19	5950	8240	19.60	62.70	59.04
5.50 l/m ³	SS4-01	1590	1590	38.54	127.4	123.6	SS4-07	7610	7920	11.18	62.94	59.80	SS4-12	5200	8480	14.34	49.88	46.90
	SS4-02	2460	2460	38.6	116.1	102.7	SS4-08	6890	7130	11.42	67.38	63.76	SS4-13	5470	8410	18.30	50.80	48.10
	SS4-03	3360	3360	39.38	108.7	97.6	SS4-09	7060	8100	11.30	71.60	67.86	SS4-14	5060	8790	18.00	58.12	55.36
	SS4-04	3760	3820	37.58	113.1	100.9	SS4-10	6750	8150	11.30	58.26	55.66	SS4-15	5910	9140	18.54	52.74	50.28
	SS4-05	2400	2400	23.7	112.2	96.58	SS4-11	8100	8350	10.72	62.00	58.06	SS4-16	6400	8830	18.70	50.14	47.70
	SS4-06	2050	2050	38.74	135.5	117.7								SS4-17	6800	8210	18.70	58.72



3.5.9. Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Máquina compresora manual ladrillera marca FORZA.
- Cocina a gas.
- Regla metálica.
- Malla ¼”.
- Bandeja de metal.
- Cápsulas.
- Horno.
- Balanza, de precisión a 0.01 gr.
- Máquina para ensayo de compresión.
- Aditivo C-444 con dosificaciones de 2.75 l/m³ y 1.4 l/m³.
- Aditivo SOLIDRY con dosificaciones de 10 kg/m³, 30 kg/m³ y 50kg/m³

b) Procedimiento:

- 1) Se tamizó el material por la malla ¼” para cada suelo de las zonas de Wimpillay y Huancaro.
- 2) Se halló el contenido de humedad natural para cada suelo.
- 3) Se procedió a mezclar las dosificaciones de aditivo C-444 (desconcentrado) obtenidas de los ensayos anteriores, como se indica en la tabla 44 dadas en litros por metro cúbico, con el agua necesaria para llegar a las humedades óptimas, como se muestra en la tabla 45, de cada suelo para cada caso.

Tabla 44: Dosificaciones de aditivo C-444 para cada suelo.

Dosificaciones de aditivo C-444	
Santiago	San Sebastián
2.75 l/m ³	1.40 l/m ³

Tabla 45: Humedad respectiva para la elaboración de unidades de albañilería.

Humedades seleccionadas	
Santiago	San Sebastián
20.5 ± 1%	24 ± 1%

- 4) Se mezcló la amalgamación del aditivo y agua con la tierra de cada suelo hasta que se logró una consistencia uniforme.
- 5) Se procede a añadir el aditivo en polvo SOLIDRY a la mezcla anterior. Esta mezcla se hizo con las dosificaciones planteadas por los tesisistas como se indica en la tabla 46, dadas en kilogramos por metro cúbico. La mezcla debe quedar homogénea y sin manchas blancas visibles. En la figura 28 se muestra el aditivo SOLIDRY siendo añadido después de haber mezclado la tierra con el aditivo C-444 desconcentrado.

Tabla 46: Dosificaciones de aditivo SOLIDRY.

Dosificaciones de aditivo SOLIDRY	
Santiago	San Sebastián
10 kg/m ³	10 kg/m ³
30 kg/m ³	30 kg/m ³
50 kg/m ³	50 kg/m ³



Figura 28: Mezclado de tierra con aditivo SOLIDRY

- 6) Se elaboraron las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con la dosificación de aditivo C-444 obtenida de ensayos anteriores, y con las dosificaciones planteadas de aditivo SOLIDRY con ayuda de la maquina compresora de ladrillos marca FORZA.
- 7) Se dejaron secar al aire libre las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY por 7, 21 y 28 días.
- 8) Se registró la altura de cada unidad de albañilería de tierra cruda estabilizada con aditivo C-444 y SOLIDRY.
- 9) Se realizaron los ensayos de compresión a las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY a 7, 14, 21 y 28 días, y se registraron las cargas a primera falla y cargas últimas. En la figura 29(a) se muestra las unidades antes



c) Toma de datos:

Tabla 47: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY +C-444 – Suelo de Santiago

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																			
Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444																			
Testistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio										Fecha: Indicada									
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																			
Descripción: Suelo de Santiago																			
Ancho: 12.5 cm Dosificación de aditivo C-444: 2.75 l/m ³ Largo: 25 cm Área bruta: 312.5 cm ²																			
Fecha	31 de julio del 2018						15 de agosto del 2018						22 de agosto del 2018						
	7 días						21 días						28 días						
	Dosif.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.
		kgf	kgf	g	g	g		kgf	kgf	g	g	g		kgf	kgf	g	g	g	
10 kg/m ³	S1-01	5510	5840	38.20	107.86	103.76	S1-06	4340	6300	21.74	98.00	94.38	S1-11	5350	5950	21.74	105.46	104.56	
	S1-02	5340	5630	38.74	83.40	81.08	S1-07	5750	6140	21.76	113.15	108.68	S1-12	5870	5960	21.76	93.4	92.26	
	S1-03	5110	5390	38.50	113.78	108.26	S1-08	5970	6060	21.64	95.81	92.30	S1-13	5340	5460	21.62	100.96	100.14	
	S1-04	5430	5590	37.58	101.52	97.20	S1-09	5290	6350	21.66	105.28	101.90	S1-14	5450	5760	21.68	93.86	92.78	
	S1-05	5290	5880	23.70	90.30	85.34	S1-10	6060	6340	43.26	144.73	139.52	S1-15	5480	5780	44.36	148.06	146.5	
30 kg/m ³													S1-16	5360	5390	47.44	160.52	158.84	
	S2-01	5770	6060	31.64	96.56	91.62	S2-06	6670	7150	44.36	178.30	174.14	S2-11	6700	6970	41.38	142.18	140.08	
	S2-02	5910	6140	23.84	117.30	108.32	S2-07	6300	7030	47.44	184.14	178.62	S2-12	6850	7120	46.5	130.94	129.48	
	S2-03	4900	5890	21.72	113.04	106.62	S2-08	6700	7130	41.38	166.24	161.36	S2-13	5870	5990	43.26	159.2	155.94	
	S2-04	5890	6170	21.64	82.98	78.56	S2-09	6340	7290	46.50	159.28	155.16	S2-14	6310	6430	43	157.94	155.04	
	S2-05	5910	6310	21.66	82.54	77.04	S2-10	6270	7350	42.98	162.18	156.62	S2-15	6450	6780	43	145.1	142.82	
50 kg/m ³													S2-16	6560	6980	45.92	157.34	154.72	
	S3-01	6360	6630	38.74	120.74	114.40	S3-06	6700	7130	43.00	152.10	145.65	S3-11	6500	7810	45.02	140.52	136.7	
	S3-02	6960	7160	23.84	126.84	118.68	S3-07	6760	7680	45.90	177.50	172.44	S3-12	6850	7160	42.38	152.74	149.7	
	S3-03	6870	7130	21.72	114.58	108.32	S3-08	7300	8070	45.02	174.94	168.80	S3-13	6370	7820	45.5	130.64	128.28	
	S3-04	6650	7000	21.64	94.44	89.16	S3-09	6900	7630	42.38	124.12	120.92	S3-14	7200	7630	38.2	107.56	105.04	
	S3-05	6750	6940	21.66	101.18	95.00	S3-10	6700	7590	45.50	167.74	161.92	S3-15	6560	7850	37.58	94.58	92.38	
													S3-16	6700	7880	23.7	89.62	88.1	



Tabla 48: Ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444 – Suelo de San Sebastián.

Fecha		25 de julio del 2018					8 de agosto del 2018					15 de agosto del 2018						
		7 días					21 días					28 días						
Dosis	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.	ID	F1	F2	C.	C+SH.	C+SS.
		kgf	kgf	g	g	g		kgf	kgf	g	g	g		kgf	kgf	g	g	g
10 kg/m ³	SS1-01	4020	4070	31.64	93.92	86.00	SS1-07	5520	5530	19.60	56.96	54.60	SS1-13	4070	5700	14.33	56.85	54.84
	SS1-02	4120	4330	38.52	114.34	105.82	SS1-08	5540	5550	18.84	51.18	49.16	SS1-14	5930	5930	8.56	44.06	42.22
	SS1-03	3940	3960	38.74	101.94	92.48	SS1-09	5430	5430	18.54	49.88	47.60	SS1-15	5820	5820	14.37	50.56	48.72
	SS1-04	3770	3790	38.20	102.00	93.16	SS1-10	5560	5570	19.10	47.78	45.88	SS1-16	5570	5590	14.57	50.81	49.06
	SS1-05	3790	3810	37.26	97.20	89.98	SS1-11	5940	6030	18.72	51.46	49.22	SS1-17	5050	5050	14.73	51.05	49.32
	SS1-06	3590	3590	23.84	97.72	87.14	SS1-12	5480	5490	17.88	50.26	48.42	SS1-18	6190	6200	8.52	44.59	43.10
30 kg/m ³	SS2-01	2120	2550	23.72	81.54	72.80	SS2-07	3200	3200	14.40	47.16	45.04	SS2-14	3460	3460	8.75	40.54	39.04
	SS2-02	2430	2480	23.74	78.26	69.96	SS2-08	3510	3510	18.42	57.70	55.34	SS2-15	3460	3540	14.33	48.07	46.30
	SS2-03	2580	2580	37.56	102.84	93.56	SS2-09	1580	1580	19.22	48.60	46.78	SS2-16	3470	3630	14.85	59.33	57.10
	SS2-04	2360	2410	11.42	59.78	54.14	SS2-10	2320	2320	15.04	50.72	48.28	SS2-17	3310	3310	14.64	47.77	46.34
	SS2-05	2680	2680	11.26	50.06	44.26	SS2-11	3640	3650	19.04	56.48	54.26	SS2-18	3770	3770	14.50	57.43	55.44
	SS2-06	2260	2490	11.40	73.18	63.86	SS2-12	3260	3270	18.76	53.26	50.90	SS2-19	3690	3720	14.63	52.29	50.42
	SS2-13	3390	3490	18.90	58.04	55.30	SS2-20	3570	3570	14.70	58.57	56.52						
50 kg/m ³	SS3-01	2030	2030	10.58	64.60	57.36	SS3-08	1930	1930	18.84	61.68	58.44	SS3-15	1910	2080	14.85	48.95	47.06
	SS3-02	1680	1680	10.74	72.56	64.78	SS3-09	2310	2310	18.68	45.88	43.88	SS3-16	2100	2230	8.78	32.36	31.12
	SS3-03	2270	2270	10.98	62.10	53.36	SS3-10	2240	2240	9.26	50.16	47.18	SS3-17	2610	2610	14.53	52.08	50.48
	SS3-04	2130	2130	11.30	58.06	51.92	SS3-11	2180	2180	19.50	53.02	50.76	SS3-18	2230	2240	14.74	53.74	52.14
	SS3-05	1680	1680	11.20	53.50	47.46	SS3-12	2260	2260	8.86	41.22	38.72	SS3-19	2000	2000	14.74	58.34	56.12
	SS3-06	1640	1640	11.18	72.46	64.32	SS3-13	2440	2448	15.50	48.98	46.84	SS3-20	2670	2760	14.79	60.74	58.20
	SS3-07	1760	1760	11.42	75.52	63.44	SS3-14	2110	2120	9.14	39.76	37.28						

3.5.10. Ensayo de determinación del peso

a) Equipos utilizados en la prueba

- Balanza de precisión a 1 gr.
- Horno de secado.

b) Procedimiento:

- 1) Se procedió a secar las unidades de albañilería durante 24 horas en un horno ventilado con temperaturas entre 110 °C y 115 °C por no menos de 24 horas y que hasta en dos pesadas sucesivas, en un intervalo de 2 horas, muestren un incremento o pérdida no mayor a 0,2%. El proceso de secado en horno se aprecia en la figura 31(a).
- 2) Después del proceso de secado se enfriaron a una temperatura constante de 24 °C \pm 8 °C, y con una humedad relativa de entre 30% y 70%. La superficie de las unidades no deberá variar.
- 3) Se procede a pesar las unidades de albañilería para cada caso, como se muestra en la figura 31(b).



31(a)



31(b)

Figura 31: Determinación del peso de las unidades.

- a) Proceso de secado de las unidades de albañilería y b) Registro del peso de las unidades secas

c) Toma de datos:

Tabla 49: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.	
Determinación del peso de las unidades de albañilería (NTP 399.613)	
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Fechas: 30/10/2018 Velásquez Flores, Oskar Fabricio
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo	
ID	Peso
Unidad	g
SA-1	5159.20
SA-2	5108.90
SA-3	5183.80
SA-4	5181.10
SA-5	5161.30
SA-6	5126.10
SA-7	5145.30
SA-8	5130.20
SA-9	5150.00
SA-10	5150.20
SA-11	5160.10
SA-12	5195.10
SA-13	5168.30
SA-14	5123.50
SA-15	5187.30
SA-16	5143.10
SA-17	5111.50
SA-18	5095.60
SA-19	5144.50
SA-20	5065.56

Tabla 50: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO 	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.	
Determinación del peso de las unidades de albañilería (NTP 399.613)	
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio
Fechas:	30/10/2018
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY	
ID	Peso
Unidad	g
XSA-1	5228.7
XSA-2	5155.9
XSA-3	5215.8
XSA-4	5206.3
XSA-5	5174.2
XSA-6	5207.1
XSA-7	5101.1
XSA-8	5108.3
XSA-9	5071.0
XSA-10	5072.6
XSA-11	5089.6
XSA-12	5154.9
XSA-13	5144.9
XSA-14	5131.5
XSA-15	5075.2
XSA-16	5089.7
XSA-17	5142.6
XSA-18	5142.5
XSA-19	5119.4
XSA-20	5144.4

Tabla 51: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.





 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																		
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																																		
Determinación del peso de las unidades de albañilería (NTP 399.613)																																																		
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fechas: 06/11/2018																																																
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																																																	
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo																																																		
<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Peso</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td>SS-1</td><td>4943.6</td></tr><tr><td>SS-7</td><td>4876.6</td></tr><tr><td>SS-8</td><td>4869.6</td></tr><tr><td>SS-9</td><td>4899.2</td></tr><tr><td>SS-10</td><td>4924.4</td></tr><tr><td>SS-11</td><td>4919.8</td></tr><tr><td>SS-12</td><td>4946.2</td></tr><tr><td>SS-13</td><td>4910.2</td></tr><tr><td>SS-14</td><td>4924.6</td></tr><tr><td>SS-15</td><td>4940.7</td></tr><tr><td>SS-16</td><td>4874.7</td></tr><tr><td>SS-17</td><td>4930.4</td></tr><tr><td>SS-18</td><td>4901.9</td></tr><tr><td>SS-19</td><td>4893.1</td></tr><tr><td>SS-20</td><td>4923.6</td></tr><tr><td>SS-21</td><td>4929.6</td></tr><tr><td>SS-22</td><td>4912.9</td></tr><tr><td>SS-23</td><td>4881.5</td></tr><tr><td>SS-24</td><td>4916.7</td></tr><tr><td>SS-25</td><td>4877.5</td></tr><tr><td>SS-26</td><td>4837.5</td></tr><tr><td>SS-27</td><td>4891.2</td></tr></tbody></table>			ID	Peso	Unidad	g	SS-1	4943.6	SS-7	4876.6	SS-8	4869.6	SS-9	4899.2	SS-10	4924.4	SS-11	4919.8	SS-12	4946.2	SS-13	4910.2	SS-14	4924.6	SS-15	4940.7	SS-16	4874.7	SS-17	4930.4	SS-18	4901.9	SS-19	4893.1	SS-20	4923.6	SS-21	4929.6	SS-22	4912.9	SS-23	4881.5	SS-24	4916.7	SS-25	4877.5	SS-26	4837.5	SS-27	4891.2
ID	Peso																																																	
Unidad	g																																																	
SS-1	4943.6																																																	
SS-7	4876.6																																																	
SS-8	4869.6																																																	
SS-9	4899.2																																																	
SS-10	4924.4																																																	
SS-11	4919.8																																																	
SS-12	4946.2																																																	
SS-13	4910.2																																																	
SS-14	4924.6																																																	
SS-15	4940.7																																																	
SS-16	4874.7																																																	
SS-17	4930.4																																																	
SS-18	4901.9																																																	
SS-19	4893.1																																																	
SS-20	4923.6																																																	
SS-21	4929.6																																																	
SS-22	4912.9																																																	
SS-23	4881.5																																																	
SS-24	4916.7																																																	
SS-25	4877.5																																																	
SS-26	4837.5																																																	
SS-27	4891.2																																																	

Tabla 52: Ensayo de determinación del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																																															
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																																																	
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																																																	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																																																	
Determinación del peso de las unidades de albañilería (NTP 399.613)																																																	
Tesistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas: 06/11/2018																																													
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio																																															
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																																															
Descripción: Suelo de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY																																																	
<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Peso</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td>XSS-6</td><td>4842.90</td></tr><tr><td>XSS-7</td><td>4938.00</td></tr><tr><td>XSS-8</td><td>4918.50</td></tr><tr><td>XSS-9</td><td>4827.10</td></tr><tr><td>XSS-10</td><td>4836.40</td></tr><tr><td>XSS-11</td><td>4839.40</td></tr><tr><td>XSS-12</td><td>4770.70</td></tr><tr><td>XSS-13</td><td>4835.50</td></tr><tr><td>XSS-14</td><td>4850.80</td></tr><tr><td>XSS-15</td><td>4849.20</td></tr><tr><td>XSS-16</td><td>4825.80</td></tr><tr><td>XSS-17</td><td>4785.30</td></tr><tr><td>XSS-18</td><td>4786.70</td></tr><tr><td>XSS-19</td><td>4776.10</td></tr><tr><td>XSS-20</td><td>4676.80</td></tr><tr><td>XSS-21</td><td>4755.90</td></tr><tr><td>XSS-22</td><td>4745.40</td></tr><tr><td>XSS-23</td><td>4686.80</td></tr><tr><td>XSS-24</td><td>4684.10</td></tr><tr><td>XSS-25</td><td>4755.60</td></tr></tbody></table>						ID	Peso	Unidad	g	XSS-6	4842.90	XSS-7	4938.00	XSS-8	4918.50	XSS-9	4827.10	XSS-10	4836.40	XSS-11	4839.40	XSS-12	4770.70	XSS-13	4835.50	XSS-14	4850.80	XSS-15	4849.20	XSS-16	4825.80	XSS-17	4785.30	XSS-18	4786.70	XSS-19	4776.10	XSS-20	4676.80	XSS-21	4755.90	XSS-22	4745.40	XSS-23	4686.80	XSS-24	4684.10	XSS-25	4755.60
ID	Peso																																																
Unidad	g																																																
XSS-6	4842.90																																																
XSS-7	4938.00																																																
XSS-8	4918.50																																																
XSS-9	4827.10																																																
XSS-10	4836.40																																																
XSS-11	4839.40																																																
XSS-12	4770.70																																																
XSS-13	4835.50																																																
XSS-14	4850.80																																																
XSS-15	4849.20																																																
XSS-16	4825.80																																																
XSS-17	4785.30																																																
XSS-18	4786.70																																																
XSS-19	4776.10																																																
XSS-20	4676.80																																																
XSS-21	4755.90																																																
XSS-22	4745.40																																																
XSS-23	4686.80																																																
XSS-24	4684.10																																																
XSS-25	4755.60																																																

3.5.11. Ensayo de alabeo

a) Equipos utilizados en la prueba:

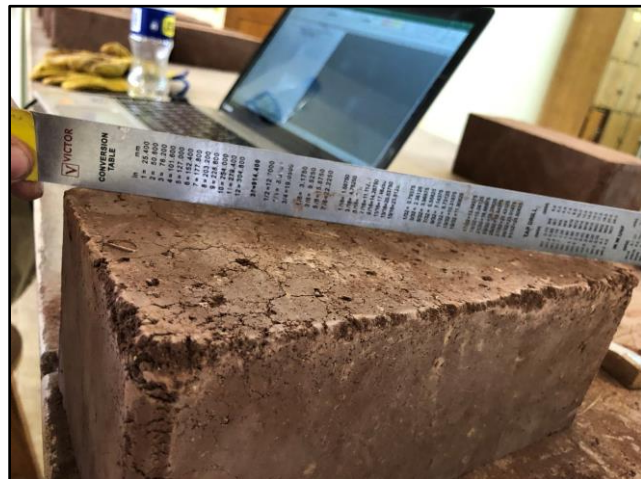
- Regla metálica de 30 cm.
- Cuña de medición con divisiones de 1 mm.
- Brocha.

b) Procedimiento:

- 1) Se colocó una varilla de borde recto a lo largo de la superficie medida, adoptando la posición longitudinal o diagonal que de la mayor desviación de la línea recta. Utilizando la cuña se midió la distancia de mayor abertura con una aproximación de 1 mm y registró dicha medición. Los instrumentos utilizados se muestran en la figura 32(a). Algunas de las unidades no presentaban ninguna desviación, tal como se muestra en la figura 32(b).
- 2) El proceso se repitió para las unidades estabilizadas como no estabilizadas de los suelos del distrito de Santiago y San Sebastián.
- 3) Una vez realizada la medición de las desviaciones se procedió a registrarlas en las hojas de recolección de datos realizados anticipadamente.



32(a)



32(b)

Figura 32: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería

- a) Herramientas para la determinación del alabeo y b) Procedimiento del ensayo de alabeo.

c) Toma de datos:

Tabla 53: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de alabeo (NTP 399.613)					
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas:	30/10/2018
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio			
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco			
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo					
ID	Cara A		Cara B		
Unidad	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo	
1X	-	0.1	-	1.0	
2X	-	1.0	-	0.1	
3X	-	0.9	-	0.1	
4X	-	0.5	-	0.2	
5X	-	0.9	-	0.5	
6X	-	1.0	-	1.0	
7X	-	1.0	-	-	
8X	-	1.0	-	1.0	
9X	-	1.0	-	0.5	
10X	-	0.5	-	0.5	
11X	-	1.0	-	-	
12X	-	1.0	-	1.5	
13X	-	1.0	-	1.0	
14X	-	0.2	-	0.5	
15X	-	0.4	-	0.1	
16X	-	1.0	-	0.1	
17X	-	0.1	-	2.0	
18X	-	1.0	-	0.1	
19X	-	0.5	-	0.1	
20X	-	1.2	-	1.0	

Tabla 54: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de alabeo (NTP 399.613)					
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas:	30/10/2018
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio			
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco			
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	Cara A		Cara B		
Unidad	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo	
XSA-1	-	0.50	-	-	
XSA-2	-	1.00	-	-	
XSA-3	-	0.50	-	-	
XSA-4	-	0.10	-	-	
XSA-5	-	0.10	-	0.10	
XSA-6	-	1.00	-	0.10	
XSA-7	-	-	-	-	
XSA-8	-	1.00	-	-	
XSA-9	-	1.00	-	-	
XSA-10	-	1.00	-	-	
XSA-11	-	1.00	-	0.10	
XSA-12	-	1.00	-	0.50	
XSA-13	-	0.50	-	1.00	
XSA-14	-	1.00	-	0.50	
XSA-17	-	-	-	0.10	
XSA-18	-	1.00	-	-	
XSA-19	-	1.50	-	0.20	
XSA-20	-	0.50	-	1.00	
XSA-21	-	1.00	-	-	
XSA-22	1	-	-	1	

Tabla 55: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.



	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.				
Ensayo de alabeo (NTP 399.613)				
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio		Fechas: 06/11/2018		
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo				
ID	Cara A		Cara B	
Unidad	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo
SS-6	-	1.5	-	-
SS-7	-	2.5	-	-
SS-8	-	1.0	-	-
SS-9	-	2.5	-	-
SS-10	-	1.0	-	-
SS-11	-	1.5	-	-
SS-12	-	1.0	-	-
SS-13	-	2.0	0.5	-
SS-14	-	2.0	-	-
SS-15	-	2.0	-	-
SS-16	-	2.0	-	-
SS-17	-	1.0	-	-
SS-18	-	3.0	-	-
SS-19	-	1.0	-	-
SS-20	-	1.0	-	-
SS-21	-	2.0	0.5	-
SS-22	-	3.0	-	-
SS-23	-	2.0	-	-
SS-24	-	2.5	-	-
SS-25	-	2.0	-	-
SS-26	-	3.0	-	-
SS-27	-	1.5	1	-

Tabla 56: Ensayo de alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

ID	Cara A		Cara B	
	Concavo	Convexo	Concavo	Convexo
XSS-6	-	1.00	-	-
XSS-7	-	1.50	0.50	-
XSS-8	-	-	-	1.00
XSS-9	-	2.00	1.00	-
XSS-10	-	1.00	0.10	-
XSS-11	-	2.00	-	-
XSS-12	-	-	-	-
XSS-13	-	-	-	-
XSS-14	-	1.00	-	-
XSS-15	-	-	-	-
XSS-16	-	1.00	-	-
XSS-17	-	1.00	0.10	-
XSS-18	-	1.00	-	-
XSS-19	-	0.50	-	-
XSS-20	-	-	-	-
XSS-21	-	0.5	-	-
XSS-22	-	2	-	-
XSS-23	-	0.10	-	-
XSS-24	-	0.50	-	-
XSS-25	-	1.00	-	1.00

3.5.12. Ensayo de absorción

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Balanza, precisión de 0.01 gr.
- Recipientes.
- Franela.
- Agua.
- Brocha.

b) Procedimiento:

- 1) Se utilizaron unidades completamente secas para el presente ensayo, a los cuales se registró su peso previo al ensayo.
- 2) Se sumergieron los especímenes en agua potable limpia, durante 24 horas, tal como se muestra en la figura 33. El agua deberá tener una temperatura entre 15 °C a 30 °C durante el desarrollo del ensayo.



Figura 33: Unidades de albañilería sumergidas en agua potable durante 24 horas

- 3) Pasado el tiempo específico se retiraron los especímenes del agua, se limpiaron con un paño el agua excedente y se procedió a registrar su peso. Este paso se hizo dentro de los primeros 5 minutos tras ser retirados del agua, tal como se muestra en la figura 34.



Figura 34: Proceso de registro del peso de la unidad después de ser sumergida en agua durante 24 horas

c) Toma de datos:

Tabla 57: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.



	<p>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</p>																						
<p>Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.</p>																							
<p>Ensayo de absorción (NTP 399.613)</p>																							
<p>Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio</p>		<p>Fechas: 30/10/2018</p>																					
<p>Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco</p>																							
<p>Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo</p>																							
<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Wd</th> <th>Ws</th> </tr> <tr> <th>Unidad</th> <th>g</th> <th>g</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SA-17</td> <td>5111.10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SA-18</td> <td>5094.10</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SA20</td> <td>5065.00</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SA-21</td> <td>5159.50</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>SA-22</td> <td>5119.30</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			ID	Wd	Ws	Unidad	g	g	SA-17	5111.10	-	SA-18	5094.10	-	SA20	5065.00	-	SA-21	5159.50	-	SA-22	5119.30	-
ID	Wd	Ws																					
Unidad	g	g																					
SA-17	5111.10	-																					
SA-18	5094.10	-																					
SA20	5065.00	-																					
SA-21	5159.50	-																					
SA-22	5119.30	-																					

Tabla 58: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																								
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																								
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																								
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																										
Ensayo de absorción (NTP 399.613)																										
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas: 30/10/2018																						
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio																								
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																								
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY																										
<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Wd</th><th>Ws</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td>XSA-12</td><td>5154.9</td><td>5595</td></tr><tr><td>XSA-13</td><td>5144.9</td><td>5642.9</td></tr><tr><td>XSA-14</td><td>5131.5</td><td>5623.1</td></tr><tr><td>XSA-15</td><td>5075.2</td><td>5651.2</td></tr><tr><td>XSA-16</td><td>5089.7</td><td>5675.3</td></tr></tbody></table>						ID	Wd	Ws	Unidad	g	g	XSA-12	5154.9	5595	XSA-13	5144.9	5642.9	XSA-14	5131.5	5623.1	XSA-15	5075.2	5651.2	XSA-16	5089.7	5675.3
ID	Wd	Ws																								
Unidad	g	g																								
XSA-12	5154.9	5595																								
XSA-13	5144.9	5642.9																								
XSA-14	5131.5	5623.1																								
XSA-15	5075.2	5651.2																								
XSA-16	5089.7	5675.3																								

Tabla 59: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.





		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																								
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																								
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																								
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																										
Ensayo de absorción (NTP 399.613)																										
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas: 06/11/2018																						
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio																								
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																								
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo																										
<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Wd</th><th>Ws</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td>SS-6</td><td>4943.6</td><td>-</td></tr><tr><td>SS-7</td><td>4876.6</td><td>-</td></tr><tr><td>SS-8</td><td>4869.6</td><td>-</td></tr><tr><td>SS-9</td><td>4899.2</td><td>-</td></tr><tr><td>SS-10</td><td>4924.4</td><td>-</td></tr></tbody></table>						ID	Wd	Ws	Unidad	g	g	SS-6	4943.6	-	SS-7	4876.6	-	SS-8	4869.6	-	SS-9	4899.2	-	SS-10	4924.4	-
ID	Wd	Ws																								
Unidad	g	g																								
SS-6	4943.6	-																								
SS-7	4876.6	-																								
SS-8	4869.6	-																								
SS-9	4899.2	-																								
SS-10	4924.4	-																								

Tabla 60: Ensayo de absorción de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO																								
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA																										
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL																										
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.																										
Ensayo de absorción (NTP 399.613)																										
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto		Fechas: 06/11/2018																						
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio																								
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco																								
Descripción: Suelo de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY																										
<table border="1"><thead><tr><th>ID</th><th>Wd</th><th>Ws</th></tr><tr><th>Unidad</th><th>g</th><th>g</th></tr></thead><tbody><tr><td>XSS-6</td><td>4842.9</td><td>-</td></tr><tr><td>XSS-7</td><td>4938</td><td>-</td></tr><tr><td>XSS-8</td><td>4918.5</td><td>-</td></tr><tr><td>XSS-9</td><td>4827.1</td><td>-</td></tr><tr><td>XSS-11</td><td>4839.4</td><td>-</td></tr></tbody></table>						ID	Wd	Ws	Unidad	g	g	XSS-6	4842.9	-	XSS-7	4938	-	XSS-8	4918.5	-	XSS-9	4827.1	-	XSS-11	4839.4	-
ID	Wd	Ws																								
Unidad	g	g																								
XSS-6	4842.9	-																								
XSS-7	4938	-																								
XSS-8	4918.5	-																								
XSS-9	4827.1	-																								
XSS-11	4839.4	-																								

3.5.13. Ensayo de succión

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Bandeja.
- Recipiente.
- Soportes para ladrillo.
- Balanza, precisión 0.01 gr.
- Cronómetro.

b) Procedimiento:

- 1) Se utilizó un recipiente con agua. Para el desarrollo del ensayo la base del recipiente deberá ser plana, con dimensiones no menores a 200 mm de largo y 150 mm de ancho.
- 2) Se utilizaron barras de acero no corrosible, de 12 cm a 15 cm de longitud y espesor igual 6 mm.

- 3) Se colocó el espécimen seco encima de las barras de acero, los cuales que permitieron el contacto de la cara inferior de la unidad con el agua, y se añadió agua hasta que alcanzar una altura de $3 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ desde la base del ladrillo. Tal como se muestra en la figura 35(a) y 35(b).



35(a)



35(b)

Figura 35: Ensayo de succión

- a) Unidad de albañilería siendo ensayada y b) Uso del cronómetro para limitar a $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$.
- 4) Después de pasado $1 \text{ min} \pm 1 \text{ s}$ del contacto de la superficie inferior de la unidad con agua, se retiró del recipiente, y sin salpicar, se procedió a limpiar el agua excedente y se registró su peso dentro de los 10 primeros segundos tras haberlo retirado del recipiente.

c) Toma de datos:

Tabla 61: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de succión (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 30/10/2018	
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo					
ID	Wd	Ws	W	L	B
Unidad	g	g	g	cm	cm
SA-12	5195.10	5130.50	-64.60	24.20	12.08
SA-13	5168.30	5150.00	-18.30	24.10	12.05
SA-14	5123.50	5090.00	-33.50	24.30	12.11
SA-15	5171.80	5158.20	-13.60	24.10	12.08
SA-16	5143.10	5128.60	-14.50	24.10	12.10

Tabla 62: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de succión (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 30/10/2018	
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	Wd	Ws	W	L	B
Unidad	g	g	g	cm	cm
XSA-7	5101.10	5129.00	27.9	245	124.00
XSA-8	5108.30	5141.10	32.8	245	123.80
XSA-9	5071.00	5106.00	35.0	245	124.20
XSA-10	5072.60	5108.40	35.8	246	124.00
XSA-11	5089.20	5119.60	30.4	246	124.00

Tabla 63: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.





		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de succión (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto			Fechas: 06/11/2018	
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio				
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo					
ID	Wd	Ws	W	L	B
Unidad	g	g	g	cm	cm
SS-17	4918.80	4901.80	-17.00	23.40	11.78
SS-18	4901.60	4871.40	-30.20	23.45	11.71
SS-19	4892.70	4869.50	-23.20	23.55	11.66
SS-20	4923.50	4906.30	-17.20	23.60	11.78
SS-21	4928.50	4913.20	-15.30	23.50	11.83
SS-22	4912.40	4882.80	-29.60	23.65	11.65

Tabla 64: Ensayo de succión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA			
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de succión (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto			Fechas: 06/11/2018	
	Velásquez Flores, Oskar Fabricio				
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	Wd	Ws	W	L	B
Unidad	g	g	g	cm	cm
XSS-18	4784.4	4768.4	-16	23.80	11.96
XSS-19	4769.4	4757.4	-12	23.75	11.90
XSS-20	4654.6	4638.9	-15.7	24.00	11.90
XSS-21	4749.2	4747.7	-1.5	23.80	11.82
XSS-22	4742.8	4755.4	12.6	24.00	11.89
XSS-23	4683.9	4693.1	9.2	23.90	11.86

3.5.14. Ensayo de variación dimensional

a) Equipos utilizados en la prueba:

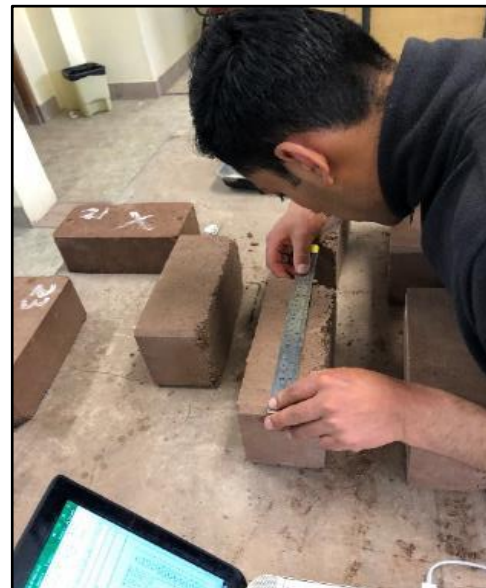
- Vernier.
- Regla metálica de 30 cm.
- Brocha.

b) Procedimiento:

- 1) Se limpiaron los especímenes con una brocha, se realizó este proceso para así eliminar los escombros y cualquier partícula que pueda interferir con la realización del ensayo de variación dimensional.
- 2) Se procedió a medir con la regla graduada o vernier, mostrados en la figura 36(a), los puntos medios de las aristas opuestas, 4 mediciones para el largo, 4 para el ancho y 4 mediciones para la altura, tal como se muestra en la figura 36(b).



36(a)



36(b)

Figura 36: Ensayo de variación dimensional

a) Herramientas del ensayo de variación dimensional: regla y vernier, y b) Registro de medidas de variación dimensional de las unidades de albañilería.

- 3) Se registraron las mediciones de largo, ancho y altura por cada espécimen en la hoja recolección de datos.



c) Toma de datos:

Tabla 65: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL															
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.															
Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613)															
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio										Fechas: 30/10/2018					
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco															
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo															
ID	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
Unidad	L1	L2	L3	L4	LO	A1	A2	A3	A4	AO	H1	H2	H3	H4	HO
SA-1	242.0	241.0	241.5	242.5	241.75	120.1	120.8	121.4	121.1	120.75	92.8	91.2	92.2	93.3	92.50
SA-2	242.0	241.0	242.0	242.5	242.00	120.1	120.6	121.4	121.4	121.00	91.5	92.6	92.5	91.2	92.00
SA-3	242.0	241.5	242.0	242.0	242.00	120.4	120.8	121.5	121.5	121.00	92.3	92.7	92.4	91.1	92.25
SA-4	241.5	241.0	241.0	241.5	241.25	120.3	120.9	121.5	121.8	121.25	91.8	92.6	92.6	91.1	92.00
SA-5	242.0	241.0	242.0	242.0	241.75	120.6	120.8	121.6	121.6	121.25	92.2	93.0	93.0	91.8	92.50
SA-6	241.0	240.0	240.0	241.0	240.50	119.6	119.6	120.4	120.5	120.00	91.3	92.3	92.1	90.4	91.50
SA-7	240.0	241.0	242.0	241.0	241.00	120.1	119.7	121.3	120.0	120.25	91.2	91.4	92.1	90.8	91.50
SA-8	239.0	241.0	242.0	240.0	240.50	120.4	119.3	121.4	119.8	120.25	91.2	91.4	92.0	90.4	91.25
SA-9	241.0	241.0	240.0	241.0	240.75	120.6	120.0	120.8	119.7	120.25	91.7	91.9	91.2	91.8	91.75
SA-10	240.0	242.0	242.0	242.0	241.50	120.6	119.7	121.2	120.1	120.50	91.4	91.4	92.3	90.8	91.50
SA-11	242.0	242.0	240.0	241.0	241.25	120.7	120.2	121.0	119.7	120.50	92.0	92.3	91.5	92.4	92.00
SA-12	240.0	241.0	241.5	241.0	241.00	121.4	121.1	119.8	121.3	121.00	91.9	93.3	93.1	91.7	92.50
SA-13	241.0	242.0	242.0	241.0	241.50	119.7	120.4	119.8	119.7	120.00	90.8	91.4	90.7	90.7	91.00
SA-14	241.5	242.0	241.0	241.0	241.50	121.4	119.3	120.1	121.5	120.50	91.5	92.1	91.3	91.7	91.75
SA-15	240.0	241.0	241.0	242.0	241.00	121.6	121.8	120.4	120.5	121.00	92.1	91.6	91.8	91.8	91.75
SA-16	241.0	241.0	241.5	241.0	241.25	120.5	119.8	120.3	121.2	120.50	92.0	92.2	91.3	90.9	91.50
SA-17	242.0	240.0	241.0	241.0	241.00	119.3	120.0	121.0	119.9	120.00	91.7	91.5	91.1	90.2	91.25
SA-18	241.0	240.0	239.0	241.0	240.25	119.8	120.3	121.1	119.4	120.25	91.2	91.5	90.5	91.6	91.25
SA-19	240.0	239.0	241.0	240.5	240.25	120.3	121.0	120.7	120.6	120.75	91.3	91.3	91.3	91.3	91.25
SA-20	240.0	241.0	242.5	241.0	241.25	120.5	119.6	120.2	120.8	120.25	91.5	91.3	91.2	90.2	91.00



Tabla 66: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA										ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.															
Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613)															
Tesisistas:		Avalos Huaman, Diego Humberto										Fechas: 30/10/2018			
		Velásquez Flores, Oskar Fabricio													
Lugar:		Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco													
Descripción:		Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY													
ID	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LO	A1	A2	A3	A4	AO	H1	H2	H3	H4	HO
XSA-1	246.0	246.0	246.0	246.0	246.00	122.80	124.20	123.20	122.20	123.00	94.4	94.0	92.8	93.1	93.50
XSA-2	246.0	246.0	247.0	246.0	246.25	122.90	123.80	123.40	121.90	123.00	91.9	92.8	94.0	93.7	93.00
XSA-3	246.0	246.0	247.0	245.0	246.00	121.90	123.80	123.30	122.70	123.00	91.2	92.6	94.0	93.8	93.00
XSA-4	246.0	246.0	248.0	245.0	246.25	122.80	124.10	123.30	122.00	123.00	94.3	93.6	92.4	93.0	93.25
XSA-5	246.0	246.0	246.0	245.0	245.75	122.00	123.90	123.00	122.80	123.00	93.9	93.9	92.6	92.6	93.25
XSA-6	246.0	246.0	247.0	245.0	246.00	122.60	123.70	123.20	121.80	122.75	93.2	93.2	92.0	92.6	92.75
XSA-7	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	122.80	123.00	124.00	122.00	123.00	93.2	92.4	94.1	94.0	93.50
XSA-8	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	122.30	123.30	123.80	122.70	123.00	93.7	93.7	93.0	92.4	93.25
XSA-9	246.0	245.0	247.0	245.0	245.75	122.60	123.10	124.20	122.50	123.00	94.0	94.0	92.9	93.4	93.50
XSA-10	246.0	246.0	246.0	246.0	246.00	122.00	122.90	124.00	122.70	123.00	93.5	93.9	93.3	92.1	93.25
XSA-11	246.0	246.0	246.0	245.0	245.75	123.30	122.80	124.00	121.80	123.00	93.3	92.9	93.8	94.6	93.75
XSA-12	245.0	246.0	246.5	246.0	246.00	122.20	123.30	123.70	122.80	123.00	93.2	95.4	93.4	93.5	94.00
XSA-13	246.0	245.0	246.0	245.0	245.50	122.90	122.70	122.70	123.30	123.00	94.0	93.3	92.6	93.9	93.50
XSA-14	246.0	245.0	245.5	245.5	245.50	122.30	123.00	123.60	122.60	123.00	92.9	92.6	92.8	92.0	92.50
XSA-15	245.0	246.0	246.0	244.0	245.25	123.30	123.00	122.20	123.80	123.00	92.2	93.2	93.2	93.7	93.00
XSA-16	245.0	246.0	246.0	246.0	245.75	122.90	123.40	122.00	123.50	123.00	94.1	94.0	92.7	92.9	93.50
XSA-17	245.5	246.0	245.0	245.0	245.50	122.80	123.50	122.90	122.80	123.00	92.9	93.9	92.4	93.4	93.25
XSA-18	245.0	245.5	245.0	246.0	245.50	123.20	123.10	122.00	123.60	123.00	93.3	93.8	92.2	93.2	93.25
XSA-19	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	122.50	123.10	123.50	122.80	123.00	92.9	94.1	92.9	94.0	93.50
XSA-20	246.0	245.0	245.0	245.5	245.50	122.10	123.00	123.50	122.80	122.75	92.9	94.0	93.8	93.9	93.75



Tabla 67: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 															
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.															
Ensayo de variación dimensional (NTP 399.613)															
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio											Fechas: 06/11/2018				
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco															
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo															
ID	Largo (mm)					Ancho (mm)					Altura (mm)				
	L1	L2	L3	L4	LO	A1	A2	A3	A4	AO	H1	H2	H3	H4	HO
SS-6	236.5	236.0	234.0	237.0	236.00	117.9	117.1	117.9	117.7	117.75	89.9	90.5	90.4	89.1	90.00
SS-7	235.0	234.5	234.0	236.0	235.00	117.8	117.4	117.5	117.3	117.50	90.1	89.7	90.8	90.2	90.25
SS-8	235.0	234.0	234.0	235.0	234.50	117.0	117.4	117.1	115.9	116.75	89.9	90.8	90.9	89.4	90.25
SS-9	236.5	234.5	235.0	236.0	235.50	117.4	117.1	116.8	118.4	117.50	90.3	90.6	90.5	89.4	90.25
SS-10	237.0	235.0	235.0	236.0	235.75	117.9	117.1	117.7	118.0	117.75	89.9	90.0	91.2	90.0	90.25
SS-11	235.0	235.0	234.0	236.0	235.00	117.4	117.5	117.8	116.6	117.25	90.6	90.4	89.9	89.3	90.00
SS-12	236.0	235.0	235.0	236.5	235.75	117.9	117.4	118.0	117.1	117.50	90.4	90.3	91.0	90.6	90.50
SS-13	235.0	235.0	233.5	236.0	235.00	117.1	117.6	117.3	116.8	117.25	91.3	90.3	90.2	89.6	90.25
SS-14	236.0	234.5	236.0	235.0	235.50	116.7	117.7	117.9	117.8	117.50	90.0	91.1	89.8	90.2	90.25
SS-15	236.5	235.5	234.0	236.5	235.75	117.9	117.6	117.8	116.7	117.50	90.0	90.7	90.8	89.4	90.25
SS-16	235.5	235.0	236.0	237.0	236.00	117.4	117.3	116.8	118.1	117.50	90.4	90.3	89.8	88.4	89.75
SS-17	235.5	234.5	234.0	235.0	234.75	117.8	117.2	117.8	116.0	117.25	90.6	90.1	91.0	90.0	90.50
SS-18	237.5	235.0	234.5	234.5	235.50	117.7	117.4	117.1	117.3	117.50	90.8	90.0	90.6	89.6	90.25
SS-19	235.0	236.0	235.5	235.0	235.50	117.5	117.0	116.6	117.1	117.00	90.1	91.0	90.6	90.3	90.50
SS-20	236.5	235.0	236.0	236.5	236.00	117.1	117.4	117.8	118.2	117.75	90.3	90.7	90.0	89.5	90.25
SS-21	237.0	234.0	235.0	235.0	235.25	116.9	117.5	118.3	118.1	117.75	90.7	91.0	89.8	89.6	90.25
SS-22	235.5	235.5	236.5	235.0	235.75	117.8	117.6	116.5	117.7	117.50	90.2	89.8	91.0	90.0	90.25
SS-23	236.5	234.5	234.5	236.5	235.50	118.5	116.7	116.3	117.1	117.25	89.2	90.9	90.7	90.5	90.25
SS-24	236.0	235.0	234.0	235.0	235.00	117.6	117.0	117.3	117.4	117.25	89.0	90.7	90.0	90.7	90.00
SS-25	236.5	234.5	235.0	234.5	235.25	117.5	117.7	116.9	117.0	117.25	89.8	90.6	90.2	89.5	90.00
SS-26	236.0	235.0	234.5	236.0	235.50	116.5	116.9	117.6	117.9	117.25	89.7	90.2	89.7	89.0	89.75
SS-27	236.0	237.0	234.5	236.0	236.00	118.1	117.4	118.0	118.3	118.00	90.0	91.1	90.7	89.5	90.25



Tabla 68: Ensayo de variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

ID		Largo (mm)				Ancho (mm)					Altura (mm)				
		L1	L2	L3	L4	LO	A1	A2	A3	A4	AO	H1	H2	H3	H4
XSS-6	238.0	240.0	238.0	238.0	238.50	119.50	119.00	119.80	118.70	119.25	91.4	90.0	91.3	91.6	91.00
XSS-7	240.0	240.0	239.0	239.0	239.50	120.10	119.70	120.10	119.10	119.75	91.9	91.4	91.5	91.8	91.75
XSS-8	239.0	239.0	240.0	240.5	239.75	118.70	119.00	120.20	118.60	119.25	93.1	93.6	93.1	93.5	93.25
XSS-9	240.0	240.5	239.0	240.0	240.00	119.50	118.90	119.70	118.70	119.25	91.4	90.5	91.3	91.4	91.25
XSS-10	240.0	241.5	239.0	241.0	240.50	120.30	120.00	119.60	119.40	119.75	92.0	91.5	91.9	92.4	92.00
XSS-11	241.0	242.0	241.0	240.0	241.00	120.10	119.50	119.90	120.00	120.00	98.0	98.5	98.4	97.4	98.00
XSS-12	236.0	238.5	238.5	236.5	237.50	118.00	118.00	118.00	118.70	118.25	90.2	91.0	90.0	90.4	90.50
XSS-13	240.0	239.0	239.0	239.5	239.50	119.60	119.30	119.60	119.20	119.50	90.9	91.7	90.8	91.3	91.25
XSS-14	239.0	241.0	239.0	239.0	239.50	120.20	119.60	119.10	118.90	119.50	91.1	91.3	91.9	90.6	91.25
XSS-15	240.5	239.0	239.5	241.0	240.00	119.20	119.70	119.50	118.40	119.25	91.2	90.5	90.3	91.0	90.75
XSS-16	240.0	241.0	239.0	240.0	240.00	119.30	118.60	119.20	118.90	119.00	91.6	92.2	90.9	90.5	91.25
XSS-17	240.0	241.0	238.5	239.5	239.75	119.00	119.20	119.10	118.40	119.00	90.8	90.8	90.9	90.6	90.75
XSS-18	238.0	238.0	238.5	239.0	238.50	119.20	119.30	119.60	118.30	119.00	90.0	90.8	90.7	92.0	91.00
XSS-19	238.0	237.5	236.0	239.0	237.75	118.80	118.10	119.00	119.30	118.75	91.1	91.5	90.3	89.8	90.75
XSS-20	238.5	240.0	238.5	238.5	239.00	118.30	118.00	119.00	118.40	118.50	90.9	89.3	90.5	90.9	90.50
XSS-21	238.0	239.0	238.0	240.0	238.75	118.60	119.00	118.20	118.20	118.50	90.2	90.8	90.6	91.2	90.75
XSS-22	238.0	240.0	240.0	238.0	239.00	118.30	118.20	118.90	117.80	118.25	90.7	90.1	91.1	91.7	91.00
XSS-23	238.0	237.5	239.0	237.0	238.00	117.70	117.80	118.60	117.00	117.75	90.1	90.7	91.6	90.0	90.50
XSS-24	235.0	237.0	235.0	235.5	235.75	117.70	117.00	117.00	116.60	117.00	90.1	89.0	89.8	89.6	89.75
XSS-25	239.0	237.0	237.0	240.5	238.50	118.30	117.80	117.90	117.50	118.00	90.60	90.20	91.00	89.70	90.50

3.5.15. Ensayo de resistencia a la compresión

a) Equipos utilizados en la prueba

- Máquina de ensayo de compresión.
- Regla metálica.
- Vernier.
- Planchas metálicas.
- Neopreno.

b) Procedimiento:

- 1) Se ensayaron unidades secas.
- 2) Antes del ensayo se procedió a tomar las medidas de las caras superior e inferior de mayor dimensión, medidas necesarias para el cálculo de la resistencia máxima.
- 3) Como refrendado se utilizaron planchas rectangulares de neopreno, y para poder uniformizar toda la carga se utilizaron planchas rectangulares de acero.
- 4) Se colocó la unidad de albañilería en la maquina compresora y se procedió a dar inicio al ensayo de resistencia a la compresión, como se muestra en la figura 37(a), posteriormente se registró la resistencia máxima que llego a obtener la unidad, los resultados obtenidos por la máquina, como ejemplo en la figura 37(b), fueron corregidos mediante la ecuación presentada en la norma NTP 399.613 (2005).



37(a)



37(b)

Figura 37: Ensayo de resistencia a la compresión

- a) Unidad de albañilería preparada para ser ensayada y b) Valor de carga máxima arrojada por la máquina de la UAC.

c) Toma de datos:

Tabla 69: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.

 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Resistencia a la compresión (NTP 399.613)					
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto			Fechas: 30/10/2018		
Velásquez Flores, Oskar Fabricio					
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo					
ID	Cara superior		Cara inferior		W
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
Unidad	cm	cm	cm	cm	kgf
SA-1	24.20	12.01	24.15	12.14	6190
SA-2	24.20	12.01	24.20	12.14	5770
SA-3	24.20	12.04	24.20	12.15	5690
SA-4	24.15	12.03	24.10	12.15	5740
SA-5	24.20	12.06	24.20	12.16	5670
SA-6	24.10	11.96	24.00	12.04	5700
SA-19-G	23.90	12.03	23.90	12.10	6780

Tabla 70: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



 UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL 					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Resistencia a la compresión (NTP 399.613)					
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto			Fechas: 30/10/2018		
Velásquez Flores, Oskar Fabricio					
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	Cara superior		Cara inferior		W
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
Unidad	cm	cm	cm	cm	kgf
XSA-1	24.60	12.28	24.60	12.32	6050
XSA-2	24.60	12.29	24.70	12.34	6690
XSA-3	24.60	12.19	24.70	12.33	6650
XSA-4	24.60	12.28	24.80	12.33	6320
XSA-5	24.60	12.20	24.60	12.30	6880
XSA-6	24.60	12.26	24.70	12.32	6850
XSA-23-G	24.45	12.31	24.50	12.38	8670
XSA-24-G	24.50	12.31	24.50	12.37	7760

Tabla 71: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.




UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Resistencia a la compresión (NTP 399.613)					
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fechas: 06/11/2018				
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo					
ID	Cara superior		Cara inferior		W
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
Unidad	cm	cm	cm	cm	kgf
SS-1	23.80	11.90	23.50	11.80	9490
SS-2	23.90	12.00	23.50	11.80	8550
SS-3	23.50	11.80	23.40	11.70	10410
SS-4	23.70	11.90	23.70	11.70	9250
SS-5	23.70	11.90	23.60	11.70	8440
SS-24	23.60	11.76	23.40	11.73	9510
SS-26	23.60	11.65	23.45	11.76	8730

Tabla 72: Ensayo de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
	FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL				
					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Resistencia a la compresión (NTP 399.613)					
Tesistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio	Fechas: 06/11/2018				
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	Cara superior		Cara inferior		W
	Largo	Ancho	Largo	Ancho	
Unidad	cm	cm	cm	cm	kgf
XSS-1	23.8	11.9	23.8	11.9	6460
XSS-2	23.7	11.8	23.6	11.9	6670
XSS-3	23.7	12	23.6	11.9	6320
XSS-4	23.7	11.8	23.8	12	6590
XSS-5	23.9	12	23.7	12	6600
XSS-17	24	11.9	23.85	11.91	7040
XSS-24	23.5	11.77	23.5	11.7	6980

3.5.16. Ensayo de módulo de rotura

a) Equipos utilizados en la prueba:

- Máquina de ensayo de compresión.
- Regla.
- Vernier.
- Planchas metálicas.
- Neopreno.

b) Procedimiento:

- 1) Se ensayaron unidades secas.
- 2) Se colocaron apoyos según lo especificado en la NTP 399.316 (2005), que indica que el apoyo superior debía ubicarse al medio de la unidad de albañilería, y los apoyos inferiores debían ser ubicados a no menos de 2.5 cm hacia adentro de los extremos de la unidad.
- 3) Se registró la altura del espécimen y la distancia entre los apoyos antes del ensayo. Se colocó la unidad de albañilería en la máquina compresora como se muestra en la figura 38(a), posteriormente se registró la resistencia máxima que llegó a obtener la unidad. El ensayo culmina cuando la unidad llega a la una falla completa, como se puede apreciar en la figura 38(b). Los resultados obtenidos fueron reemplazados en la ecuación presentada en la norma NTP 399.613 (2005). Después del ensayo se registró la distancia entre el centro de la unidad y la falla.



38(a)



38(b)

Figura 38: Ensayo de módulo de rotura

a) Unidad de albañilería lista para el ensayo y b) Falla de la unidad de albañilería

c) Toma de datos:

Tabla 73: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Módulo de rotura (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 30/10/2018	
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de Santiago sin aditivo					
ID	b	d	l	x	W
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg
SA-7	12.01	9.12	19.10	0.50	320
SA-8	12.04	9.12	19.30	0.70	340
SA-9	12.06	9.17	19.20	2.00	310
SA-10	12.06	9.14	19.10	1.20	330
SA-11	12.07	9.20	19.20	1.57	370

Tabla 74: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de Santiago.



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL					
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Ensayo de módulo de rotura (NTP 399.613)					
Tesistas:	Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 30/10/2018	
Lugar:	Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco				
Descripción: Suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	b	d	l	x	W
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg
XSA-17	12.33	9.22	20	3.03	360
XSA-18	12.29	9.41	19.9	1.05	370
XSA-19	12.28	9.29	19.8	0.5	230
XSA-20	12.32	9.33	19.7	0.5	210
XSA-21	12.25	9.29	19.8	2.28	220
XSA-22	12.21	9.29	19.9	0.9	310

Tabla 75: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.





		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Módulo de rotura (NTP 399.613)					
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 06/11/2018		
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de San Sebastián sin aditivo					
ID	b	d	l	x	W
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg
SS-11	11.78	9.04	18.60	3.28	120
SS-12	11.80	9.03	18.50	2.41	180
SS-13	11.73	9.03	18.50	1.85	110
SS-14	11.79	9.11	18.60	1.32	50
SS-15	11.78	9.07	18.80	2.22	190
SS-16	11.68	9.03	18.60	1.74	150
SS-23	11.63	9.09	18.50	3.00	50
SS-25	11.69	9.06	18.50	3.12	270
SS-27	11.80	9.11	18.90	0.83	280

Tabla 76: Ensayo de módulo de rotura de las unidades de albañilería de tierra cruda con los porcentajes de aditivo óptimo del suelo de San Sebastián.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO			
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos: San Sebastián y Santiago, estabilizados con sistema CONSOLID, Cusco 2018.					
Módulo de rotura (NTP 399.613)					
Tesisistas: Avalos Huaman, Diego Humberto Velásquez Flores, Oskar Fabricio			Fechas: 06/11/2018		
Lugar: Laboratorio de suelos de la Universidad Andina del Cusco					
Descripción: Suelo de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY					
ID	b	d	l	x	W
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg
XSS-10	11.96	9.15	19.1	2.19	130
XSS-12	11.80	9.02	18.4	1.29	270
XSS-13	11.96	9.09	18.5	3.57	150
XSS-14	11.91	9.11	18.8	0.43	250
XSS-15	11.95	9.12	18.5	1.51	310
XSS-16	11.95	9.12	18.9	0.96	190
XSS-25	23.70	9.10	18.7	1.84	270

3.6. Procedimiento de análisis de datos

3.6.1. Análisis del ensayo de límite líquido y límite plástico

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Para la determinación del límite líquido y el límite plástico se utilizó la fórmula de contenido de humedad:

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.

Luego, para el límite líquido se graficó una curva logarítmica de Contenido de humedad versus número de golpes, y se trazó una recta a los 25 golpes para determinar el límite líquido de cada suelo. Mientras que para el límite plástico se determinó el promedio de los contenidos de humedad encontrados para dicho ensayo mediante la fórmula:

$$\text{Promedio} = \frac{\sum_{i=m}^n P_i}{n}$$

Donde:

- n = número de muestras ensayadas
- P_i = Porcentaje de agua o contenido de humedad de cada ensayo

b) Diagramas, tablas:

Tabla 77: Ensayo para determinar el límite líquido y el límite plástico - Suelo de Santiago

Descripción	Límite Líquido			Límite Plástico		
	1	2	3	1	2	3
Numero del contenedor	1	2	3	1	2	3
Codigo del contenedor	MLL 1	MLL 2	MLL 3	MLP 1	MLP 2	MLP 3
Peso del contenedor (gr)	16.57	16.39	16.83	9.22	8.66	8.76
Peso del contenedor más la Muestra	28.24	27.73	31.29	12.49	11.11	12.56
Peso del contenedor mas la muestra	25.9	25.42	28.19	12.1	10.83	12.01
Peso del agua (gr)	2.34	2.31	3.1	0.39	0.28	0.55
Peso de las partículas sólidas (gr)	9.33	9.03	11.36	2.88	2.17	3.25
Contenido de Humedad (%)	25%	26%	27%	13.54	12.90	16.92
Número de golpes	29	24	20			
Promedio C. de humedad (%)				14.46		

Tabla 78: Ensayo para determinar el límite líquido y el límite plástico - Suelo de San Sebastián

Descripción	Límite Líquido			Límite Plástico		
	1	2	3	1	2	3
Numero del contenedor						
Codigo del contenedor	MLL 1	MLL 2	MLL 3	MLP 1	MLP 2	MLP 3
Peso del contenedor (gr)	16.6	16.71	16.05	8.9	8.76	8.45
Peso del contenedor más la Muestra	28.33	30.57	27.53	10.52	10.6	11.82
Peso del contenedor mas la muestra	25.26	26.9	24.47	10.28	10.38	11.38
Peso del agua (gr)	3.07	3.67	3.06	0.24	0.22	0.44
Peso de las partículas sólidas (gr)	8.66	10.19	8.42	1.38	1.62	2.93
Contenido de Humedad (%)	35%	36%	36%	17.39	13.58	15.02
Número de golpes	28	23	19			
Promedio C. de humedad (%)				15.33		

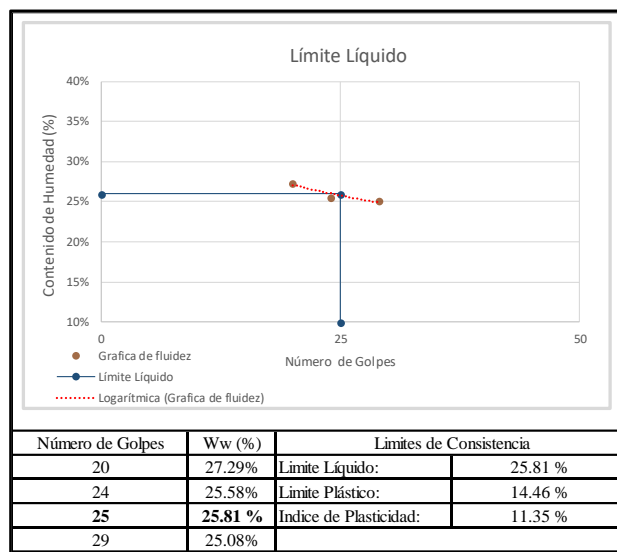


Figura 39: Gráfico de fluidez del suelo de Santiago

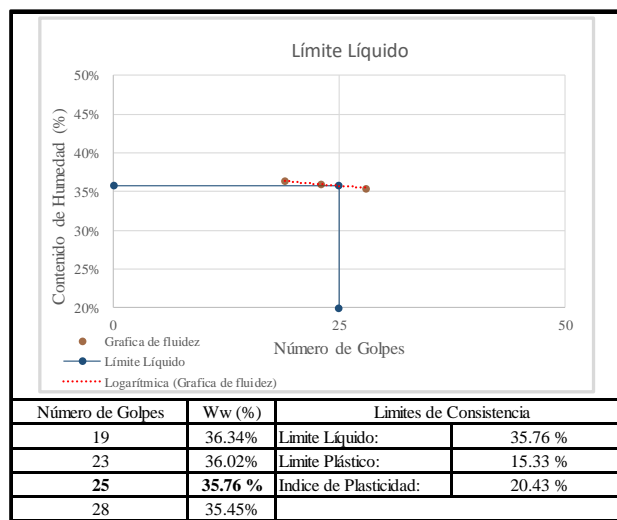


Figura 40: Gráfico de fluidez del suelo de San Sebastián

c) Análisis de la prueba:

Mediante el ensayo de límite líquido logramos determinar que nuestro material del distrito de Santiago de Cusco (con coordenadas Latitud: 13°33'13.11" S y Longitud 71°59'25.39" O) presenta un límite líquido de 25.81%, a diferencia del material extraído del distrito de San Sebastián (con coordenadas Latitud: 13°32'43.59" S y Longitud 71°57'17.29" O) que presenta un límite líquido superior de 35.76%.

CLASIFICACIÓN S.U.C.S.

El suelo del distrito de Santiago, por tener un límite líquido de 25.81% menor de 50% es considerado baja compresibilidad, según el gráfico de carta de plasticidad, este suelo es clasificado como un suelo conformado por arcillas inorgánicas de baja compresibilidad (CL), tal como se muestra en la figura 41.

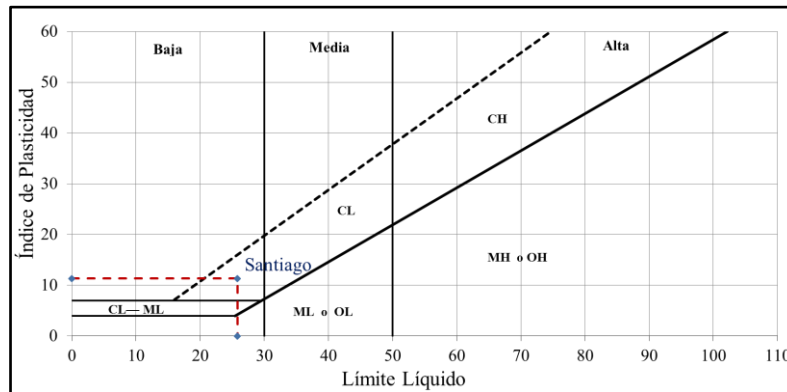


Figura 41: Carta de plasticidad, clasificación del suelo de Santiago.

El suelo del distrito de San Sebastián, por tener un límite líquido de 35.76% menor de 50% y mayor que 30% es considerado de mediana compresibilidad, según el gráfico de carta de plasticidad, este suelo es clasificado como un suelo conformado por arcillas inorgánicas de mediana compresibilidad (CL), tal como se muestra en la figura 42.

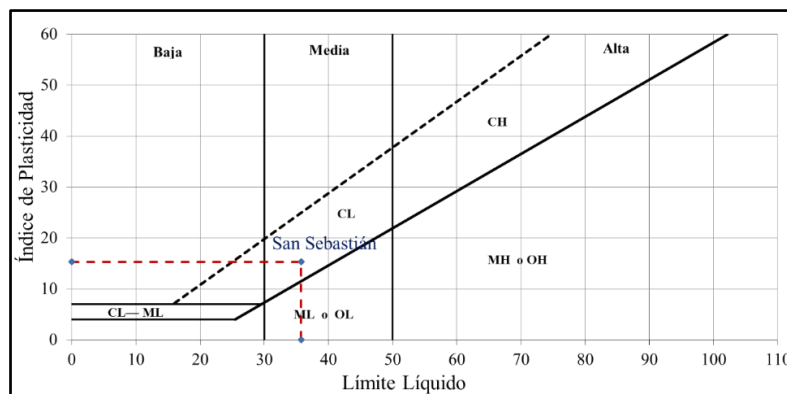


Figura 42: Carta de plasticidad, clasificación del suelo de San Sebastián.

3.6.2. Análisis del ensayo de granulometría

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Calcular el porcentaje retenido en cada tamiz, dividiendo el peso retenido en cada uno de ellos por el peso de la muestra original.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 79: Ensayo para determinar la granulometría – Suelo de Santiago.

Material Lavado								
Peso Inicial con bandeja:	543.7	gr	Peso:	364.7	gr			
Bandeja:	179	gr						
Malla	Abertura	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	Porcentaje de Peso retenido	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje de Peso retenido acumulado	Peso que pasa (gr)	Porcentaje del peso que pasa
1"	25.4	0.0	0.000	0.00	0.000	0.00	364.7	100.00
3/4"	19.05	10.7	10.82	2.97	10.82	2.97	353.9	97.03
3/8"	9.5	0.0	0.00	0.00	10.82	2.97	353.9	97.03
1/4"	6.35	4.1	4.22	1.16	15.04	4.13	349.7	95.87
Nº4	4.75	3.4	3.52	0.97	18.57	5.09	346.1	94.91
Nº8	2.36	7.8	7.92	2.17	26.49	7.26	338.2	92.74
Nº16	1.18	1.6	1.72	0.47	28.21	7.74	336.5	92.26
Nº30	0.60	19.2	19.32	5.30	47.53	13.03	317.2	86.97
Nº50	0.30	11.4	11.52	3.16	59.06	16.19	305.6	83.81
Nº100	0.15	45.8	45.92	12.59	104.98	28.78	259.7	71.22
Nº200	0.075	37.5	37.62	10.32	142.60	39.10	222.1	60.90
Cazuela		222.1	222.10	60.90	364.70	100.00	0.0	0.00
TOTAL		363.6	364.70	100.000				
Corrección:	0.122	Dif. Pesos	0.302	%				

Tabla 80: Ensayo para determinar la granulometría – San Sebastián

Material Lavado								
Peso Inicial con bandeja:	772.4	gr	Peso:	593.4	gr			
Bandeja:	179	gr						
Malla	Abertura	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	Porcentaje de Peso retenido	Peso retenido acumulado (gr)	Porcentaje de Peso retenido acumulado	Peso que pasa (gr)	Porcentaje del peso que pasa
1"	25.4	0.0	0.000	0.00	0.000	0.00	593.4	100.000
3/4"	19.05	11.3	11.32	1.91	11.32	1.91	582.1	98.092
3/8"	9.5	0.0	0.00	0.00	11.32	1.91	582.1	98.092
1/4"	6.35	0.0	0.02	0.00	11.34	1.91	582.1	98.088
Nº4	4.75	2.2	2.22	0.37	13.57	2.29	579.8	97.714
Nº8	2.36	3.5	3.52	0.59	17.09	2.88	576.3	97.120
Nº16	1.18	0.7	0.72	0.12	17.81	3.00	575.6	96.998
Nº30	0.60	8.8	8.82	1.49	26.63	4.49	566.8	95.512
Nº50	0.30	5.4	5.42	0.91	32.06	5.40	561.3	94.598
Nº100	0.15	25.5	25.52	4.30	57.58	9.70	535.8	90.297
Nº200	0.075	35.6	35.62	6.00	93.20	15.71	500.2	84.294
Cazuela		500.2	500.20	84.29	593.40	100.00	0.0	0.000
TOTAL		593.2	593.40	100.000				
Corrección:	0.022	Dif. Pesos	0.034	%				

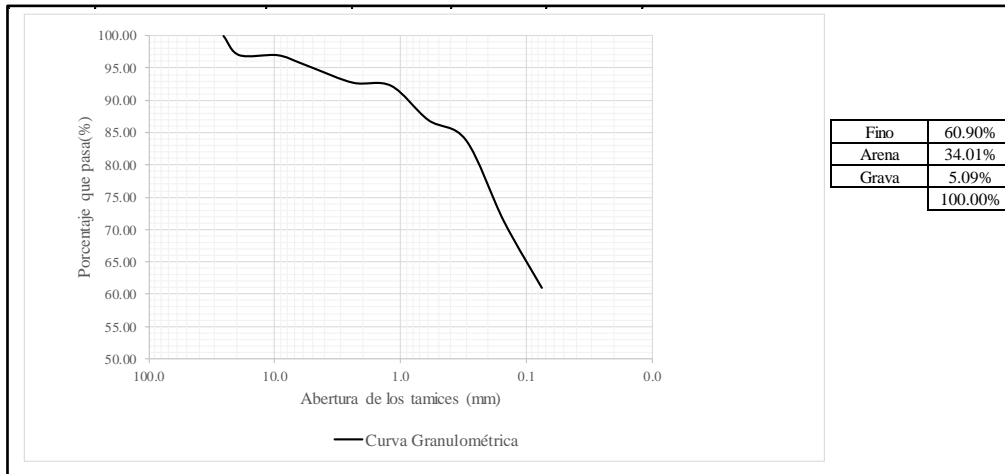


Figura 43: Grafica de la curva granulométrica del suelo de la zona de Santiago

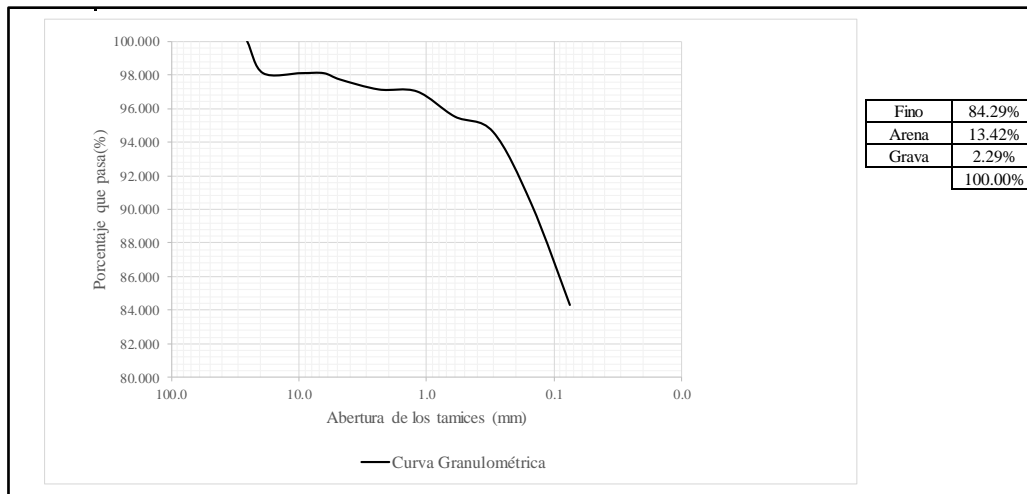


Figura 44: Grafica de la curva granulométrica del suelo de la zona de San Sebastián

c) Análisis de la prueba:

A través del análisis de granulometría se puede determinar que el material proveniente de la zona de Santiago, está compuesta por 60.90% de grano fino (suelo que pasa la malla No.200), un 34.01% es arena (suelo que pasa la malla No. 4) y un 5.09% es grava (malla retenida en el tamiz No. 4). El material que se elige para la elaboración del ladrillo, es a aquella muestra que pasa el tamiz ¼”. Es decir, se tomará el 94.91% del suelo para elaborar los ladrillos.

El análisis de granulometría determino que el material proveniente de la zona de San Sebastián, está compuesta por 84.29% de grano fino (suelo que pasa la malla No.200), un 13.42% es arena (suelo que pasa la malla No. 4) y un 2.29% es grava (malla retenida en el tamiz No. 4). El material que se elige para la elaboración del ladrillo, es a aquella muestra que pasa el tamiz ¼”. Es decir, se tomará el 97.71% del suelo para elaborar los ladrillos.

3.6.3. Análisis del ensayo de Proctor

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Primero se calculó el contenido de humedad natural mediante la fórmula siguiente:

$$w = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

- w = es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.

Según Saiz, (1968) el contenido óptimo de humedad es aproximadamente la mitad del límite líquido, por lo que para la presente investigación se decidió tomar valores inferiores a 12% y seguidamente se incrementó contenidos de humedad equivalentes a 3%.

Estos datos fueron necesarios para hallar la densidad de suelo húmedo y la densidad del suelo seco con las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad de suelo húmedo} = \frac{\text{Densidad de suelo húmedo}}{\text{Volumen del molde}} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Densidad de suelo seco} = \frac{\text{Densidad del suelo húmedo} \times 100}{\text{Contenido de agua} + 100} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Para hallar la densidad máxima y la humedad óptima se tomó el vértice de la parábola, dibujada a partir de los contenidos de humedad encontrados y sus respectivas densidades secas.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 81: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (primer ensayo).

Descripción:		Muestra de Santiago							
Metodo:		"A"							
Número de capas:		5							
Número de golpes:		25							
Diámetro del molde:		10.1 cm							
Altura del molde:		11.7 cm							
Volumen:		937.39 cm							
Numero de ensayo:		1							
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3884		3983		3946		3845	
Peso del molde	gr	1948		1948		1944		1948	
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1936		2035		2002		1897	
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	60.92	67.91	60.09	64.04	59.68	57.63	55.71	53.92
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	58.89	65.23	57.38	61.02	56.47	54.86	52.87	51.47
Peso del contenedor	gr	36.79	36.8	36.17	36.89	36.53	36.8	36.74	37.01
Peso del agua	gr	2.03	2.68	2.71	3.02	3.21	2.77	2.84	2.45
Peso del suelo seco	gr	22.1	28.43	21.21	24.13	19.94	18.06	16.13	14.46
Contenido de Agua									
	%	9.31		12.65		15.72		17.28	
Densidad suelo Húmedo	gr/cm3	2.07		2.17		2.14		2.02	
Densidad Suelo Seco	gr/cm3	1.889		1.927		1.846		1.726	

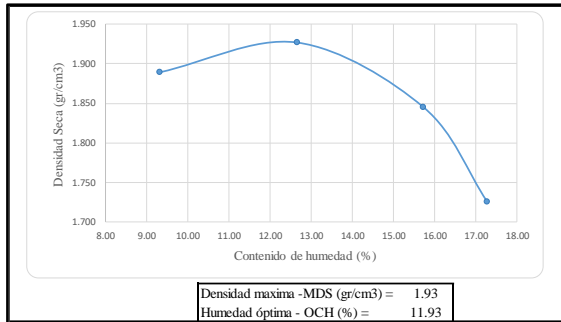
Tabla 82: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (segundo ensayo).

Descripción:		Muestra de Santiago							
Metodo:		"A"							
Número de capas:		5							
Número de golpes:		25							
Diámetro del molde:		10.1 cm							
Altura del molde:		11.7 cm							
Volumen:		937.39 cm							
Numero de ensayo:		2							
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3844		3934		3898		3850.0	
Peso del molde	gr	1944		1944		1944		1944	
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1900		1990		1954		1931	
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	28.13	29.42	64.68	67.58	71.18	65.8	68.2	67.5
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	27.13	28.26	61.55	64.25	66.68	61.99	63.45	62.84
Peso del contenedor	gr	15.85	15.72	36.7	36.23	37.08	37.07	36.8	36.5
Peso del agua	gr	1	1.16	3.13	3.33	4.5	3.81	4.75	4.66
Peso del suelo seco	gr	11.28	12.54	24.85	28.02	29.6	24.92	26.65	26.34
Contenido de Agua									
	%	9.06		12.24		15.25		17.76	
Densidad suelo Húmedo	gr/cm3	2.03		2.12		2.08		2.06	
Densidad Suelo Seco	gr/cm3	1.859		1.891		1.809		1.749	

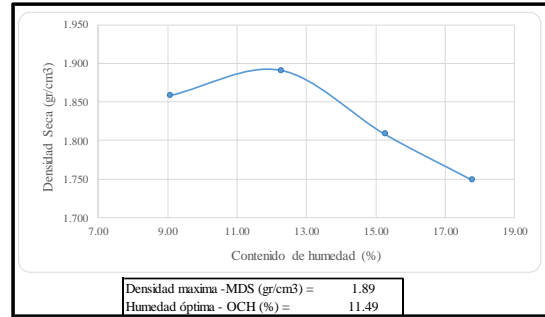
Tabla 83: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (tercer ensayo).

Descripción:		Muestra de Santiago							
Metodo:		"A"							
Número de capas:		5							
Número de golpes:		25							
Diámetro del molde:		10.1 cm							
Altura del molde:		11.7 cm							
Volumen:		937.39 cm							
Numero de ensayo:		3							
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3863		3903		3925		3861.0	
Peso del molde	gr	1948		1944		1944		1948	
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1915		1959		1981		1913	
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	47.26	46.19	52.52	64.08	55.56	59.87	51.27	45.47
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	46.43	45.42	50.93	61.12	53.4	56.82	49.11	44.08
Peso del contenedor	gr	37.04	37.08	36.52	36.22	37.16	36.31	36.07	36.19
Peso del agua	gr	0.83	0.77	1.59	2.96	2.16	3.05	2.16	1.39
Peso del suelo seco	gr	9.39	8.34	14.41	24.9	16.24	20.51	13.04	7.89
Contenido de Agua									
	%	9.04		11.46		14.09		17.09	
Densidad suelo Húmedo	gr/cm3	2.04		2.09		2.11		2.04	
Densidad Suelo Seco	gr/cm3	1.874		1.875		1.852		1.743	

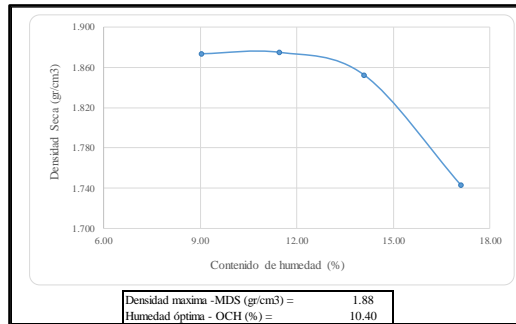
Para el suelo de Santiago se obtuvieron las siguientes curvas gráficas mostradas a continuación (Ver figura 45). En la parte inferior se indica los valores máximos obtenidos tanto en las coordenadas y las abscisas, que son denotadas como densidad máxima y humedad óptima respectivamente.



45(a)



45(b)



45(c)

Figura 45: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de Santiago

a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo.

Tabla 84: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (primer ensayo).

Descripción:	Muestra de San Sebastián								
Método :	"A"								
Número de capas :	5								
Número de golpes :	25								
Dímetro del molde:	10.1 cm								
Altura del molde:	11.7 cm								
Volumen:	937.39 cm								
Número de ensayo:	1								
PRUEBA N°		1	2	3	4				
Peso del suelo más el molde	gr	3633	3783	3838	3852				
Peso del molde	gr	1953	1953	1953	1953				
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1680	1830	1885	1899				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	48.72	53.35	23.50	23.13	26.08	28.33	22.69	25.30
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	47.69	51.95	22.61	22.30	24.62	26.72	21.66	23.89
Peso del contenedor	gr	37.01	36.80	15.85	15.83	15.68	15.87	15.78	15.75
Peso del agua	gr	1.035	1.4	0.89	0.83	1.415	1.615	1.035	1.415
Peso del suelo seco	gr	10.675	15.15	6.76	6.47	8.935	10.845	5.875	8.135
Contenido de Agua		%		9.47	13.00	15.36	17.51		
Densidad suelo Húmedo	gr/cm³	1.79	1.95	2.01	2.03				
Densidad Suelo Seco	gr/cm³	1.637	1.728	1.743	1.724				

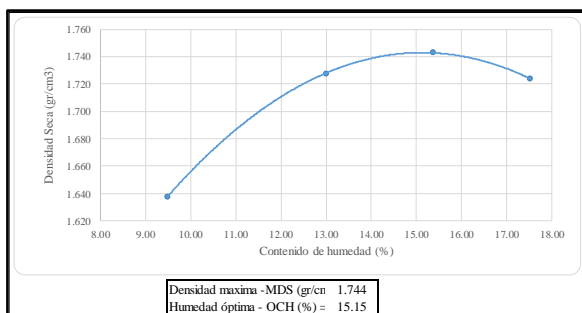
Tabla 85: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (segundo ensayo).

Descripción :		Muestra de San Sebastián							
Metodo :		"A"							
Número de capas :		5							
Número de golpes :		25							
Diámetro del molde:		10.1 cm							
Altura del molde:		11.7 cm							
Volumen:		937.39 cm							
Número de ensayo:		2							
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	3519.0		3705.0		3788.0		3772.0	
Peso del molde	gr	1870.4		1870.4		1870.4		1870.4	
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1648.6		1834.6		1917.6		1901.6	
Contenido de humedad		1		2		3		4	
Número de prueba		1		2		3		4	
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	43.28	38.14	44.87	39.18	41.65	46.44	34.87	39.07
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	40.81	36.03	41.53	36.64	38.41	42.61	31.96	34.55
Peso del contenedor	gr	16.34	16.21	16.60	16.82	16.38	16.75	16.21	16.10
Peso del agua	gr	2.47	2.11	3.34	2.54	3.24	3.83	2.91	4.52
Peso del suelo seco	gr	24.47	19.82	24.93	19.82	22.03	25.86	15.75	18.45
Contenido de Agua	%	10.37		13.11		14.76		21.49	
Densidad suelo Húmedo	gr/cm ³	1.76		1.96		2.05		2.03	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.593		1.730		1.783		1.670	

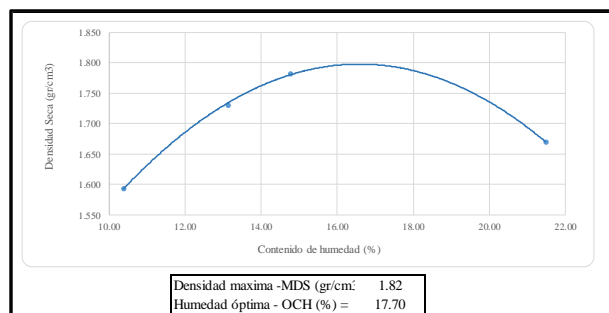
Tabla 86: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (tercer ensayo).

Descripción:		Muestra de Santiago							
Metodo :		"A"							
Número de capas :		5							
Número de golpes :		25							
Diámetro del molde:		10.1 cm							
Altura del molde:		11.7 cm							
Volumen:		937.39 cm							
Número de ensayo:		3							
PRUEBA N°		1		2		3		4	
Peso del suelo más el molde	gr	5545		5565		5695		5710	
Peso del molde	gr	3840		3815		3820		3810	
Peso del suelo húmedo compactado	gr	1705		1750		1871		1900	
Contenido de humedad		1		2		3		4	
Número de prueba		1		2		3		4	
Peso del suelo húmedo más el contenedor	gr	32.92	40.66	44.56	42.38	36.46	39.54	60.68	56.10
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	31.90	38.36	41.46	39.34	33.24	35.56	54.24	50.46
Peso del contenedor	gr	20.02	14.87	11.33	11.43	11.25	11.40	18.54	18.83
Peso del agua	gr	1.02	2.3	3.1	3.04	3.22	3.98	6.44	5.64
Peso del suelo seco	gr	11.88	23.49	30.13	27.91	21.99	24.16	35.7	31.63
Contenido de Agua	%	9.19		10.59		15.56		17.94	
Densidad suelo Húmedo	gr/cm ³	1.82		1.87		2.00		2.03	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.666		1.688		1.727		1.719	

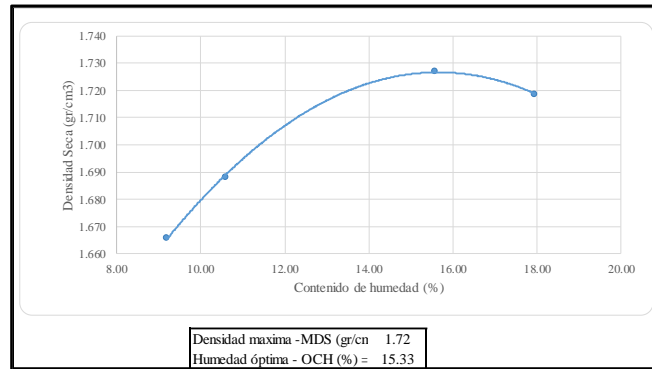
De la misma manera para el *suelo de San Sebastián* se obtuvieron las siguientes curvas gráficas mostradas a continuación (Ver figura 46). En la parte inferior se indica los valores máximos obtenidos tanto en las coordenadas y las abscisas, que son denotadas como densidad máxima y humedad óptima respectivamente.



46(a)



46(b)



46(c)

Figura 46: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián.

a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo

c) Análisis de la prueba:

Habiendo realizado 3 ensayos de Proctor, con resultados de 11.93%, 11.49% y 10.40% para el contenido de humedad óptimo del suelo perteneciente a la zona de Santiago. Se determinó, que se consideraría 11% como el contenido de humedad óptimo a una energía de compactación de 2 700 KN-m/m³.

De igual forma para los 3 ensayos de Proctor, con resultados de 15.15%, 17.70% y 15.33% para el contenido de humedad óptimo del suelo perteneciente a la zona de San Sebastián. Se determinó, que se consideraría 15% como el contenido de humedad óptimo a una energía de compactación de 2 700 KN-m/m³.

3.6.4. Análisis del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad versus de las unidades de albañilería

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Este ensayo se desarrolló casi igual que el ensayo de Proctor, pero este fue adaptado a las necesidades de los tesisistas por obtener una humedad que conjunta con el suelo permita la elaboración de unidades de albañilería. Se plantearon diferentes porcentajes de humedad, teniendo como límite inferior el valor hallado por el ensayo de Proctor, y teniendo como límite superior el límite líquido. Los valores variaron entre 3% a 5%, dependiendo de cada suelo.

Se procedió así pues a compactar las unidades tratando de utilizar la misma fuerza manual y posteriormente registrando su peso.



Una vez hecho esto, se extrajo material del centro de la unidad para obtener el peso del agua de la siguiente manera:

$$\text{Peso del agua} = (PSH + C) - (PSS + C)$$

Donde:

- PSH = Peso del suelo húmedo, en gramos.
- PSS = Peso del suelo seco, en gramos.
- C = Contenedor, en gramos.

También se halló el peso del suelo seco:

$$\text{Peso del suelo seco} = (PSS + C) - C$$

Donde:

- PSS = Peso del suelo seco, en gramos.
- C = Contenedor, en gramos.

El contenido de agua se halló de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de agua} = \frac{P.A.}{PSS} \times 100$$

Donde:

- $P.A.$ = Peso del agua, en gramos.
- PSS = Peso del suelo seco, en gramos.
- Contenido de agua en porcentaje.

Estos datos fueron necesarios para hallar la densidad de suelo húmedo y la densidad del suelo seco con las siguientes fórmulas:

$$\text{Densidad de suelo húmedo} = \frac{\text{Densidad de suelo húmedo}}{\text{Volumen del molde}} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

$$\text{Densidad de suelo seco} = \frac{\text{Densidad del suelo húmedo} \times 100}{\text{Contenido de agua} + 100} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Para hallar la densidad máxima y la humedad óptima se tomó el vértice de la parábola, dibujada a partir de los contenidos de humedad encontrados y sus respectivas densidades secas.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 87: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (primer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4					
Volumen del molde :	cm ³	2688.48	2750.98	2719.73	2719.73					
Peso del suelo humedo compactado	gr	4650	4973	5505	5343					
Contenido de humedad										
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8	
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	66.5	69.64	67.99	64.72	60.87	68.97	80.5	83.1	
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	61.23	64.02	61.57	59.02	54.6	61.68	70.14	71.86	
Peso del contenedor	gr	22.23	22.45	22.69	24.49	22.51	24.25	23.97	22.04	
Peso del agua	gr	5.27	5.62	6.42	5.7	6.27	7.29	10.36	11.24	
Peso del suelo seco	gr	39	41.57	38.88	34.53	32.09	37.43	46.17	49.82	
Contenido de Agua	%	13.52		16.51		19.51		22.50		
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.73		1.81		2.02		1.96		
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.524		1.552		1.694		1.604		
									Densidad maxima -MDS (gr/cm ³) =	1.70
									Humedad óptima - OCH (%) =	19.84

Tabla 88: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (segundo ensayo).

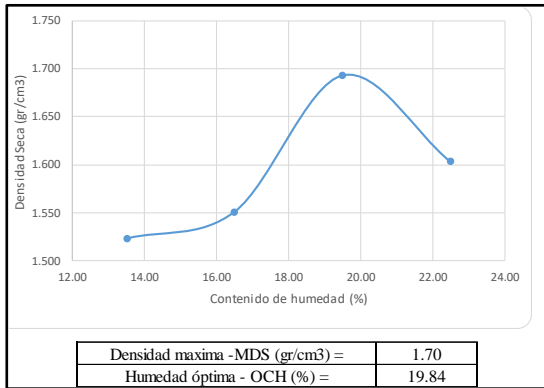
PRUEBA N°		1	2	3	4					
Volumen del molde :	cm ³	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48					
Peso del suelo humedo compactado	gr	4175	4415	5220	5115					
Contenido de humedad										
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8	
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	67.32	70.17	69.87	68.38	68.91	69.55	79.95	78.78	
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	62.35	64.78	63.48	62.35	61.65	62.35	69.78	68.45	
Peso del contenedor	gr	24.12	23.45	23.68	24.68	23.45	24.6	23.6	21.56	
Peso del agua	gr	4.97	5.39	6.39	6.03	7.26	7.2	10.17	10.33	
Peso del suelo seco	gr	38.23	41.33	39.8	37.67	38.2	37.75	46.18	46.89	
Contenido de Agua	%	13.02		16.03		19.04		22.03		
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.54		1.62		1.94		1.90		
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.358		1.399		1.631		1.559		
									Densidad maxima -MDS (gr/cm ³) =	1.64
									Humedad óptima - OCH (%) =	19.82

Tabla 89: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo Santiago (tercer ensayo).

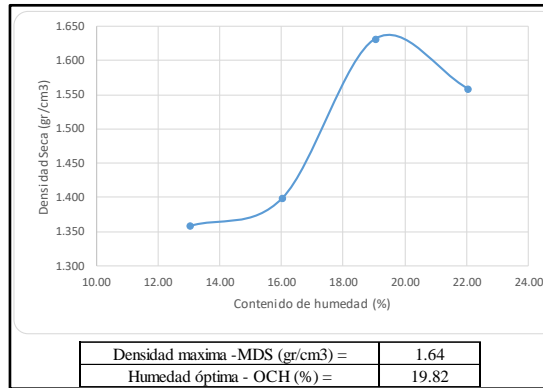
PRUEBA N°		1	2	3	4					
Volumen del molde :	cm ³	2719.73	2719.73	2688.48	2688.48					
Peso del suelo humedo compactado	gr	4215	4390	5185	5155					
Contenido de humedad										
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8	
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	81.04	84.25	82.78	80.93	82.79	84.05	86.28	86.8	
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	75.45	78.4	75.65	74.24	74.56	75.65	76.36	77.12	
Peso del contenedor	gr	32.54	33.54	31.25	32.35	31.25	31.45	31.33	33.21	
Peso del agua	gr	5.59	5.85	7.13	6.69	8.23	8.4	9.92	9.68	
Peso del suelo seco	gr	42.91	44.86	44.4	41.89	43.31	44.2	45.03	43.91	
Contenido de Agua	%	13.03		16.01		19.00		22.04		
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.55		1.61		1.93		1.92		
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.371		1.391		1.621		1.571		
									Densidad maxima -MDS (gr/cm ³) =	1.64
									Humedad óptima - OCH (%) =	19.99

Para el *suelo de Santiago* se obtuvieron las siguientes curvas gráficas mostradas a continuación (Ver figura 47). En la parte inferior se indica los valores máximos obtenidos tanto en las

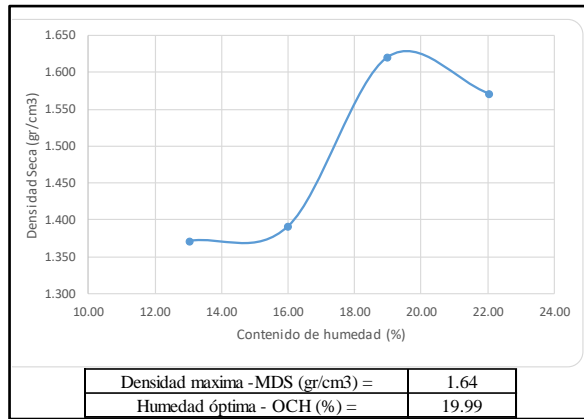
coordenadas y las abscisas, que son denotadas como densidad máxima y humedad óptima respectivamente.



47(a)



47(b)



47(c)

Figura 47: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de Santiago.

a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo.

Tabla 90: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (primer ensayo).

PRUEBA N°		1		2		3		4		
Volumen del molde :	cm ³	2750.98		2750.98		2750.98		2688.48		
Peso del suelo humedo compactado	gr	4810		4875		7805		4710		
Contenido de humedad										
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8	
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	117.54	136.78	125.32	106.63	116.65	136.61	153.96	148.2	
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	106.08	122.95	112.03	95.51	103.02	119.58	131.52	126.11	
Peso del contenedor	gr	42.92	46.42	47.36	41.31	43.17	45.83	45.43	44.95	
Peso del agua	gr	11.46	13.83	13.29	11.12	13.63	17.03	22.44	22.09	
Peso del suelo seco	gr	63.16	76.53	64.67	54.2	59.85	73.75	86.09	81.16	
Contenido de Agua	%	18.11		20.53		22.93		26.64		
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.75		1.77		2.84		1.75		
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.480		1.470		2.308		1.383		
								Densidad máxima -MDS (gr/cm ³) =		2.34
								Humedad óptima - OCH (%) =		23.52

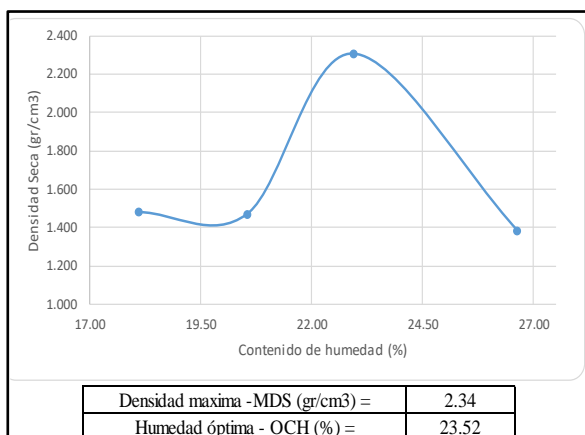
Tabla 91: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (segundo ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4720	5060	4870	4660				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	123.82	100.18	127.78	127.46	140.82	138.48	168.06	158.36
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	110.22	91.1	110.54	111.22	118.72	116.12	137.92	131.12
Peso del contenedor	gr	43.01	45.66	42.98	45.48	45.01	41.37	47.42	46.48
Peso del agua	gr	13.6	9.08	17.24	16.24	22.1	22.36	30.14	27.24
Peso del suelo seco	gr	67.21	45.44	67.56	65.74	73.71	74.75	90.5	84.64
Contenido de Agua	%	20.11		25.11		29.95		32.74	
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.72		1.84		1.77		1.73	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.428		1.470		1.362		1.306	
				Densidad máxima -MDS (gr/cm ³) =				1.47	
				Humedad óptima - OCH (%) =				23.95	

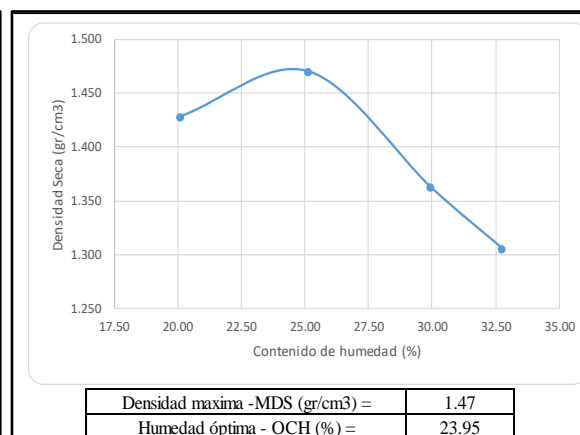
Tabla 92: Ensayo para determinar la humedad óptima – Suelo San Sebastián (tercer ensayo).

PRUEBA N°		1	2	3	4				
Volumen del molde :	cm ³	2750.98	2750.98	2750.98	2688.48				
Peso del suelo humedo compactado	gr	4695	5025	4860	4775				
Contenido de humedad									
Número de prueba		1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo humedo más el contenedor	gr	69.06	65.14	71.24	67.05	62.75	71.32	82.98	85.78
Peso del suelo seco más el contenedor	gr	61.18	57.82	62.18	59.02	54.6	61.68	70.14	71.86
Peso del contenedor	gr	23.54	21.83	22.69	24.49	22.51	24.25	23.97	22.04
Peso del agua	gr	7.88	7.32	9.06	8.03	8.15	9.64	12.84	13.92
Peso del suelo seco	gr	37.64	35.99	39.49	34.53	32.09	37.43	46.17	49.82
Contenido de Agua	%	20.64		23.10		25.58		27.88	
Densidad suelo Humedo	gr/cm ³	1.71		1.83		1.77		1.78	
Densidad Suelo Seco	gr/cm ³	1.415		1.484		1.407		1.389	
				Densidad máxima -MDS (gr/cm ³) =				1.48	
				Humedad óptima - OCH (%) =				23.04	

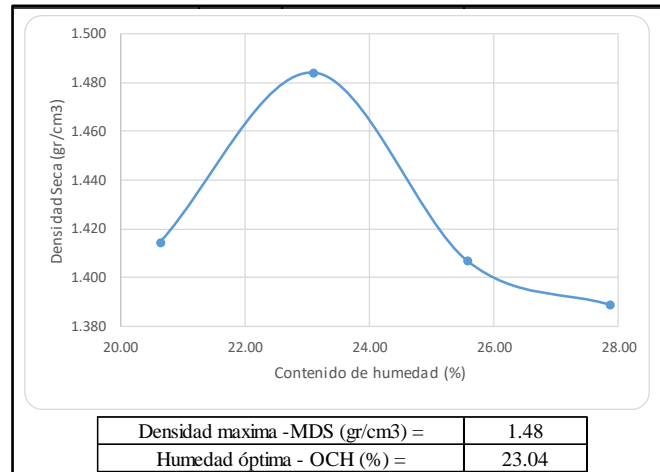
De la misma manera para el *suelo de San Sebastián* se obtuvieron las siguientes curvas gráficas mostradas a continuación (Ver figura 48). En la parte inferior se indica los valores máximos obtenidos tanto en las coordenadas y las abscisas, que son denotadas como densidad máxima y humedad óptima respectivamente.



48(a)



48(b)



48(c)

Figura 48: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián

a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo.

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de Proctor adaptado se determinó que:

- Para el suelo de Santiago, ensayados con las humedades aproximadas de 13%, 16%, 19% y 22%, se obtuvo como resultado promedio una densidad máxima de 1.66 gr/cm³. Dicha densidad máxima se ha logrado con una humedad promedio de 19.88%.
- Para el suelo de San Sebastián, ensayados con las humedades aproximadas de 18%, 20%, 23%, 25.5%, 28% y 32.5%, se obtuvo como resultado promedio una densidad máxima de 1.76 gr/cm³. Dicha densidad máxima se ha logrado con una humedad promedio de 23.50%.

Este porcentaje que se cree el óptimo será corroborado con el ensayo posterior a este.

3.6.5. Análisis del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería**a) Procesamiento o cálculos de la prueba:**Para hallar la *resistencia última*, se utilizó la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005), en el apartado 8.4. Cálculo e informe.

Ecuación para hallar la resistencia a la compresión.

$$C = W/A$$



Donde:

- C = Resistencia a la compresión del espécimen, kg/cm^2 .
- W = Máxima carga en kg, indicada por la máquina de ensayo.
- A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, cm^2 .

Para hallar la *humedad natural* de las unidades en su edad respectiva al día del ensayo, se utilizó la fórmula presentada en el manual de ensayo de materiales (2016), MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo, apéndice 7.0 Cálculos en informe.

Ecuación para hallar la humedad.

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

- W = es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 93: Ensayo para determinar la humedad óptima comparando la resistencia a la compresión versus humedad de la unidad de albañilería – Suelo Santiago.

ID	A	W	C	Humedad	H.P.
	cm2	kgf	kgf/cm2	%	%
SA1	291	2130	7.33	16.51	16.51
				16.51	
SA2	291	2600	8.95	3.33	9.67
				16.01	
SA3	291	2700	9.27	16.06	16.01
				15.97	
SA4	291	4020	13.81	19.54	19.51
				19.48	
SA5	292	3960	13.57	19.01	19.04
				19.07	
SA6	288	3612	12.53	19.00	19.00
				19.00	
SA7	286	1650	5.76	22.44	22.50
				22.56	
SA8	288	3070	10.68	22.02	22.03
				22.03	
SA9	291	2400	8.25	22.03	22.04
				22.05	

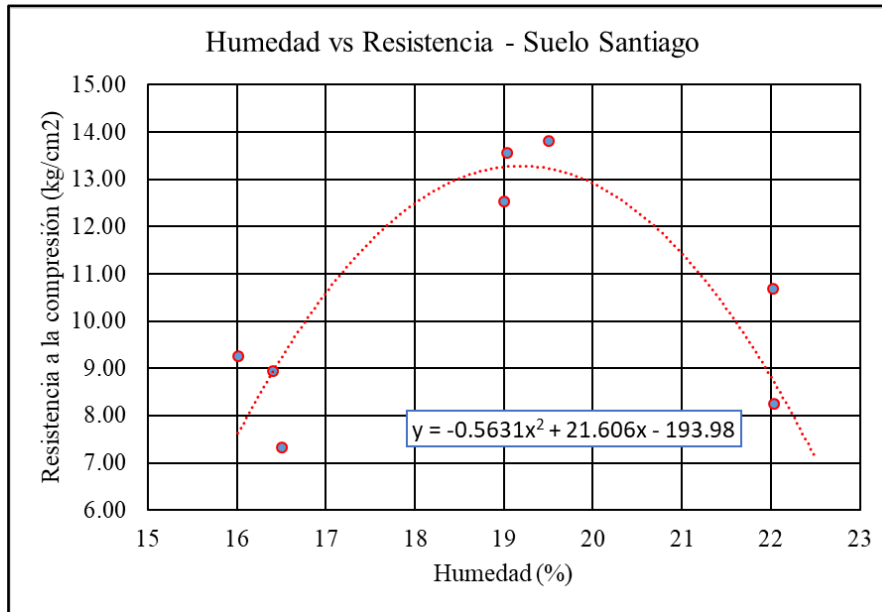


Figura 49: Gráfico de humedad vs resistencia – Suelo Santiago

Tabla 94: Ensayo para determinar la humedad óptima comparando la resistencia a la compresión versus humedad de la unidad de albañilería – Suelo San Sebastián.

ID	A	W	C	Humedad	H.P.
	cm2	kgf	kgf/cm2	%	%
SS1	275	2000	7.27	17.43	18.10
				18.77	
SS2	278	2230	8.03	17.34	17.97
				18.59	
SS3	283	2210	7.80	17.89	18.43
				18.97	
SS4	287	9680	33.75	23.41	23.16
				22.91	
SS5	277	9970	35.95	22.81	22.99
				23.17	
SS6	282	9030	32.02	25.30	24.06
				22.82	
SS7	281	5400	19.23	27.71	28.05
				28.40	
SS8	282	5700	20.23	27.86	28.50
				29.14	
SS9	282	5550	19.68	26.47	27.74
				29.01	

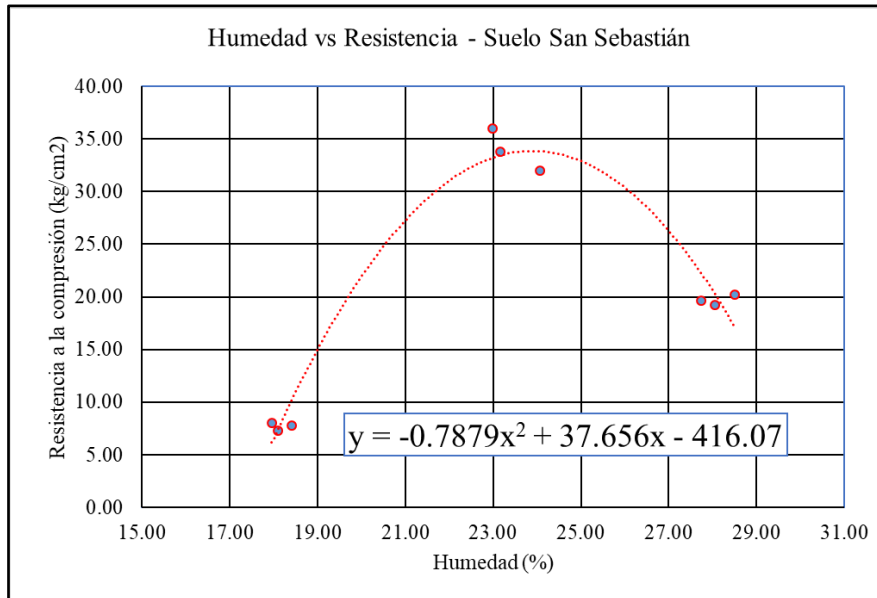


Figura 50: Gráfico de humedad vs resistencia – Suelo San Sebastián

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de resistencia a la compresión se determinó que:

Para el suelo de Santiago, las unidades elaboradas con humedades aproximadas de 16%, 19% y 22%, se obtuvo como resultado de resistencia a la compresión los valores de 8.51 kg/cm², 13.30 kg/cm² y 8.23 kg/cm² respectivamente. Entonces, se puede decir que las unidades de albañilería elaboradas con una humedad de 19.18% aproximadamente se logró la mayor resistencia. En concordancia con el anterior ensayo de densidad versus humedad, donde se obtuvo la máxima densidad seca, se puede apreciar que las humedades en ambos ensayos son semejantes y aproximados al 20%.

Para el suelo de San Sebastián, las unidades elaboradas con humedades aproximadas de 18%, 23% y 28%, se obtuvo como resultado de resistencia a la compresión los valores de 7.70 kg/cm², 33.91 kg/cm² y 19.71 kg/cm² respectivamente. Entonces, se puede decir que las unidades de albañilería elaboradas con una humedad de 23.40% aproximadamente se logró la mayor resistencia. En concordancia con el anterior ensayo de densidad versus humedad, donde se obtuvo la máxima densidad seca, se puede apreciar que las humedades en ambos ensayos son semejantes y aproximados al 24%.



3.6.6. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C - 444

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Se utilizaron unidades no secas, pues fue planteado así en el proyecto en concordancia con los tesisistas e ingenieros, para poder observar su evolución en resistencia y humedad respecto a su edad.

Para hallar la *resistencia última* se utilizó la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005), en el apartado 8.4. Cálculo e informe.

$$C = W/A$$

Donde:

- C = Resistencia a la compresión del espécimen, MPa.
- W = Máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo.
- A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, mm^2 .

Se procedió a hallar la *humedad natural* de las unidades en su edad respectiva al día del ensayo, con la fórmula presentada en el manual de ensayo de materiales (2016), MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo, apéndice 7.0 Cálculos en informe.

Ecuación para hallar la humedad.

$$w = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

- w = es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.

Se procedió a realizar el cálculo de la *desviación estándar* y del *coeficiente de variación* con las siguientes formulas:

$$S^2 = \frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Donde:

- X = Valor de cada dato individual.
- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- N = Número de elementos.

Ecuación para hallar el coeficiente de varianza.

$$C.V. = \frac{\bar{X}}{S}$$

Donde:

- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- S = desviación estándar.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 95: Resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo Santiago.

Área:		312.5	cm2																
Dosis	ID	7 días				H.P.	21 días				H.P.	28 días				H.P.			
		Wu	C	Humedad	%		ID	Wu	C	Humedad		%	ID	Wu	C		Humedad	%	
		kgf	kgf/cm2	%	%		kgf	kgf/cm2	%	%		kgf	kgf/cm2	%	%				
0 ltr/m3	XSA-01	6140	19.65	11.35	10.44	S0-06	7200	23.04	5.01	5.51	S0-11	7690	24.61	2.68	3.03				
	S0-02	6140	19.65	10.95		S0-07	8210	26.27	4.56		S0-12	7870	25.18	3.31					
	S0-03	4550	14.56	9.49		S0-08	8400	26.88	5.48		S0-13	8380	26.82	3.02					
	S0-04	5260	16.83	10.43		S0-09	7720	24.70	5.98		S0-14	8340	26.69	2.54					
	S0-05	4210	13.47	9.99		S0-10	7910	25.31	6.55		S0-15	6790	21.73	3.24					
							S0-16	7790	24.93		3.39								
1.40 ltr/m3	S4-01	3360	10.75	9.48	10.12	S4-06	7720	24.70	7.63	6.92	S4-11	6370	20.38	2.71	2.40				
	S4-02	3100	9.92	10.35		S4-07	7670	24.54	7.40		S4-12	8000	25.60	2.64					
	S4-03	3350	10.72	10.32		S4-08	8060	25.79	6.08		S4-13	7700	24.64	2.39					
	S4-04	4210	13.47	10.95		S4-09	7640	24.45	6.95		S4-14	7450	23.84	2.10					
	S4-05	3960	12.67	9.49		S4-10	7700	24.64	6.53		S4-15	7570	24.22	2.27					
							S4-16	7600	24.32		2.27								
2.75 ltr/m3	S8-01	5010	16.03	10.91	11.09	S8-06	7150	22.88	4.53	4.68	S8-11	6820	21.82	2.60	2.37				
	S8-02	4860	15.55	11.35		S8-07	6800	21.76	4.81		S8-12	6660	21.31	2.41					
	S8-03	5100	16.32	10.95		S8-08	7230	23.14	4.62		S8-13	7620	24.38	2.17					
	S8-04	5120	16.38	9.49		S8-09	7320	23.42	4.61		S8-14	6550	20.96	2.31					
	S8-05	5300	16.96	12.75		S8-10	6960	22.27	4.83		S8-15	6630	21.22	2.36					
							S8-16	6950	22.24		2.37								
4.15 ltr/m3	S12-01	3900	12.48	11.30	10.88	S12-06	6890	22.05	3.88	3.69	S12-11	6160	19.71	1.96	1.97				
	S12-02	4710	15.07	10.43		S12-07	6510	20.83	3.80		S12-12	6620	21.18	1.78					
	S12-03	4970	15.90	11.14		S12-08	6840	21.89	4.00		S12-13	6620	21.18	2.15					
	S12-04	5200	16.64	9.99		S12-09	6900	22.08	3.96		S12-14	6470	20.70	2.51					
	S12-05	4800	15.36	11.54		S12-10	6810	21.79	2.81		S12-15	6470	20.70	1.23					
							S12-16	6540	20.93		2.21								
5.50 ltr/m3	S16-01	6120	19.58	10.35	9.67	S16-06	7110	22.75	3.75	3.76	S16-11	7720	24.70	3.06	2.50				
	S16-02	5530	17.70	10.32		S16-07	7200	23.04	3.54		S16-12	6960	22.27	2.43					
	S16-03	5700	18.24	9.48		S16-08	7170	22.94	3.71		S16-13	7240	23.17	2.50					
	S16-04	5850	18.72	8.33		S16-09	7340	23.49	3.62		S16-14	6520	20.86	2.30					
	S16-05	4630	14.82	9.87		S16-10	6890	22.05	4.18		S16-15	7380	23.62	2.52					
							S16-16	7370	23.58		2.20								

Tabla 96: Desviación estándar y coeficiente de variación para las dosificaciones de C-444 – Suelo Santiago.

Dosif	7 días						21 días						28 días					
	ID	C	fb promedio	Desviación estándar	Coefficiente variación	fb	ID	C	fb promedio	Desviación estándar	Coefficiente variación	fb	ID	C	fb promedio	Desviación estándar	Coefficiente variación	fb
	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2			kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2
0 l/m3	S0-01	19.648	18.709	1.63	8.69%	17.08	S0-06	23.04	25.242	1.49	5.91%	23.75	S0-11	24.608	24.992	1.85	7.39%	23.15
	S0-02	19.648					S0-07	26.272					S0-12	25.184				
	S0-03						S0-08	26.88					S0-13	26.816				
	S0-04	16.832					S0-09	24.704					S0-14	26.688				
	S0-05						S0-10	25.312					S0-15	21.728				
							S0-16	24.928					S0-16	24.928				
1.40 l/m3	S4-01	10.752	10.464	0.47	4.50%	9.99	S4-06	24.704	24.826	0.55	2.21%	24.28	S4-11		24.525	0.67	2.71%	23.86
	S4-02	9.92					S4-07	24.544					S4-12	25.6				
	S4-03	10.72					S4-08	25.792					S4-13	24.64				
	S4-04						S4-09	24.448					S4-14	23.84				
	S4-05						S4-10	24.64					S4-15	24.224				
							S4-16	24.32					S4-16	24.32				
2.75 l/m3	S8-01	16.032	16.250	0.52	3.17%	15.73	S8-06	22.88	22.694	0.67	2.97%	22.02	S8-11	21.824	21.989	1.26	5.73%	20.73
	S8-02	15.552					S8-07	21.76					S8-12	21.312				
	S8-03	16.32					S8-08	23.136					S8-13	24.384				
	S8-04	16.384					S8-09	23.424					S8-14	20.96				
	S8-05	16.96					S8-10	22.272					S8-15	21.216				
							S8-16	22.24					S8-16	22.24				
4.15 l/m3	S12-01		15.744	0.69	4.38%	15.05	S12-06	22.048	21.728	0.51	2.37%	21.21	S12-11	19.712	20.736	0.55	2.63%	20.19
	S12-02	15.072					S12-07	20.832					S12-12	21.184				
	S12-03	15.904					S12-08	21.888					S12-13	21.184				
	S12-04	16.64					S12-09	22.08					S12-14	20.704				
	S12-05	15.36					S12-10	21.792					S12-15	20.704				
							S12-16	20.928					S12-16	20.928				
5.50 l/m3	S16-01	19.584	18.560	0.80	4.31%	17.76	S16-06	22.752	22.854	0.53	2.30%	22.33	S16-11	24.704	23.035	1.32	5.74%	21.71
	S16-02	17.696					S16-07	23.04					S16-12	22.272				
	S16-03	18.24					S16-08	22.944					S16-13	23.168				
	S16-04	18.72					S16-09	23.488					S16-14	20.864				
	S16-05						S16-10	22.048					S16-15	23.616				
							S16-16	23.584					S16-16	23.584				

Tabla 97: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 – Suelo Santiago.

Suelo Santiago			
fb kg/cm2			
	7 días	21 días	28 días
0.00 l/m3	17.084	23.751	23.146
1.40 l/m3	9.993	24.277	23.859
2.75 l/m3	15.734	22.021	20.729
4.15 l/m3	15.054	21.214	20.190
5.50 l/m3	17.759	22.329	21.713

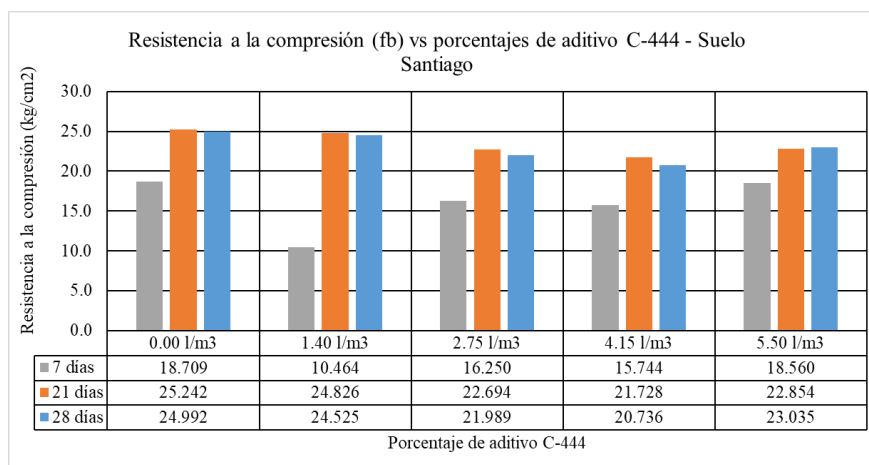


Figura 51: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 – Suelo Santiago

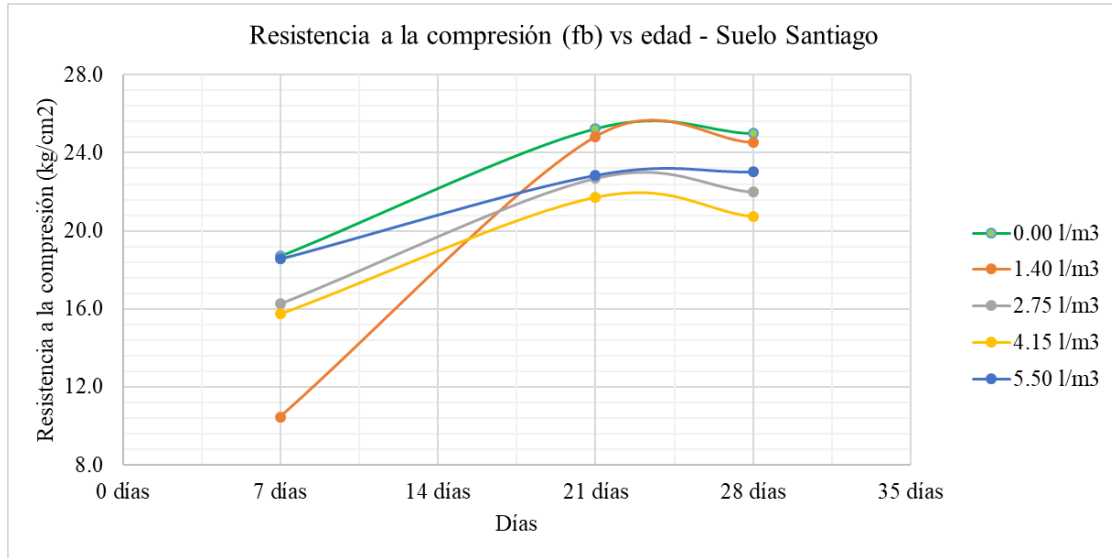


Figura 52: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo Santiago

Tabla 98: Resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián.

		Área: 312.5 cm2		7 días					21 días					28 días				
Dosis	ID	Wu	C	Humedad	H.P.	ID	Wu	C	Humedad	H.P.	ID	Wu	C	Humedad	H.P.			
		kgf	kgf/cm2	%	%		kgf	kgf/cm2	%	%		kgf	kgf/cm2	%	%			
0 l/m3	SS0-01	5590	17.888	16.34	16.52	SS0-07	8140	26.05	7.23	8.34	SS0-12	9490	30.37	8.58	8.92			
	SS0-02	5060	16.192	16.33		SS0-08	8170	26.14	8.39		SS0-13	9140	29.25	9.07				
	SS0-03	5140	16.448	17.12		SS0-09	7660	24.51	8.72		SS0-14	9240	29.57	8.91				
	SS0-04	4570	14.624	18.28		SS0-10	8750	28.00	8.92		SS0-15	7260	23.23	9.08				
	SS0-05	5110	16.352	16.00		SS0-11	8550	27.36	8.44		SS0-16	8240	26.37	8.93				
	SS0-06	5870	18.784	15.04														
1.40 l/m3	SS1-01	5770	18.464	15.88	17.46	SS1-07	8750	28.00	5.08	4.83	SS1-13	8840	28.29	6.50	6.27			
	SS1-02	4280	13.696	17.85		SS1-08	8900	28.48	5.13		SS1-14	9090	29.09	6.55				
	SS1-03	3840	12.288	19.07		SS1-09	8620	27.58	4.99		SS1-15	8820	28.22	5.86				
	SS1-04	3770	12.064	17.59		SS1-10	8330	26.66	4.13		SS1-16	9240	29.57	6.29				
	SS1-05	4170	13.344	17.47		SS1-11	9000	28.80	4.80		SS1-17	9220	29.50	6.16				
	SS1-06	4570	14.624	16.94		SS1-12	7980	25.54	4.86		SS1-18	8000	25.60	6.32				
											SS1-19	8320	26.62	6.21				
2.75 l/m3	SS2-01	4420	14.144	17.67	18.61	SS2-07	8560	27.39	3.72	3.68	SS2-13	9230	29.54	5.88	5.62			
	SS2-02	4180	13.376	17.73		SS2-08	7760	24.83	3.65		SS2-14	8820	28.22	5.83				
	SS2-03	3080	9.856	18.35		SS2-09	8240	26.37	4.42		SS2-15	8250	26.40	5.86				
	SS2-04	3060	9.792	18.76		SS2-10	7980	25.54	3.60		SS2-16	8950	28.64	5.10				
	SS2-05	2840	9.088	19.39		SS2-11	8200	26.24	3.58		SS2-17	8230	26.34	5.72				
	SS2-06	2550	8.16	19.75		SS2-12	6710	21.47	3.14		SS2-18	8080	25.86	5.31				
4.15 l/m3	SS3-01	3500	11.2	18.66	20.40	SS3-07	7620	24.38	10.61	10.43	SS3-13	7820	25.02	9.15	9.31			
	SS3-02	3420	10.944	19.84		SS3-08	7350	23.52	10.91		SS3-14	7910	25.31	8.85				
	SS3-03	3850	12.32	20.51		SS3-09	7840	25.09	10.42		SS3-15	9100	29.12	8.99				
	SS3-04	2570	8.224	20.91		SS3-10	7810	24.99	10.50		SS3-16	7840	25.09	9.58				
	SS3-05	2010	6.432	21.56		SS3-11	7370	23.58	10.59		SS3-17	8090	25.89	9.38				
	SS3-06	2390	7.648	20.93		SS3-12	7930	25.38	9.54		SS3-18	8210	26.27	9.93				
											SS3-19	8240	26.37	9.28				
5.50 l/m3	SS4-01	1590	5.088	4.47	17.94	SS4-07	7920	25.34	6.46	6.83	SS4-12	8480	27.14	9.15	8.39			
	SS4-02	2460	7.872	20.77		SS4-08	7130	22.82	6.92		SS4-13	8410	26.91	9.06				
	SS4-03	3360	10.752	19.10		SS4-09	8100	25.92	6.61		SS4-14	8790	28.13	7.39				
	SS4-04	3820	12.224	19.20		SS4-10	8150	26.08	5.86		SS4-15	9140	29.25	7.75				
	SS4-05	2400	7.68	21.43		SS4-11	8350	26.72	8.32		SS4-16	8830	28.26	8.41				
	SS4-06	2050	6.56	22.66							SS4-17	8210	26.27	8.57				

Tabla 99: Desviación estándar y coeficiente de variación para diferentes dosificaciones de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián.

Dosificación	7 días						21 días						28 días					
	ID	C kg/cm2	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2	ID	C kg/cm2	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2	ID	C kg/cm2	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2
0 l/m3	SS0-01	17.888	16.71	1.45	8.67%	15.265	SS0-07	26.05	16.71	1.34	5.09%	15.370	SS0-12	30.37	28.89	1.74	6.04%	27.143
	SS0-02	16.192					SS0-08	26.14					SS0-13	29.25				
	SS0-03	16.448					SS0-09	24.51					SS0-14	29.57				
	SS0-04	14.624					SS0-10	28.00					SS0-15					
	SS0-05	16.352					SS0-11	27.36					SS0-16	26.37				
	SS0-06	18.784																
1.40 l/m3	SS1-01		13.20	1.05	7.96%	12.152	SS1-07	28.00	27.51	1.22	4.45%	15.370	SS1-13	28.29	28.13	1.50	5.35%	26.624
	SS1-02	13.696					SS1-08	28.48					SS1-14	29.09				
	SS1-03	12.288					SS1-09	27.58					SS1-15	28.22				
	SS1-04	12.064					SS1-10	26.66					SS1-16	29.57				
	SS1-05	13.344					SS1-11	28.80					SS1-17	29.50				
	SS1-06	14.624					SS1-12	25.54					SS1-18	25.60				
2.75 l/m3	SS2-01		9.22	0.79	8.57%	8.434	SS2-07	27.39	25.31	2.07	8.16%	15.370	SS2-13	29.54	27.50	1.50	5.45%	26.000
	SS2-02						SS2-08	24.83					SS2-14	28.22				
	SS2-03	9.856					SS2-09	26.37					SS2-15	26.40				
	SS2-04	9.792					SS2-10	25.54					SS2-16	28.64				
	SS2-05	9.088					SS2-11	26.24					SS2-17	26.34				
	SS2-06	8.16					SS2-12	21.47					SS2-18	25.86				
4.15 l/m3	SS3-01	11.2	11.49	0.73	6.37%	10.756	SS3-07	24.38	24.49	0.80	3.25%	15.370	SS3-13	25.02	26.15	1.42	5.42%	24.736
	SS3-02	10.944					SS3-08	23.52					SS3-14	25.31				
	SS3-03	12.32					SS3-09	25.09					SS3-15	29.12				
	SS3-04						SS3-10	24.99					SS3-16	25.09				
	SS3-05						SS3-11	23.58					SS3-17	25.89				
	SS3-06						SS3-12	25.38					SS3-18	26.27				
5.50 l/m3	SS4-01		7.37	0.71	9.61%	6.662	SS4-07	25.34	16.71	1.51	5.96%	15.202	SS4-12	27.14	27.66	1.08	3.91%	26.576
	SS4-02	7.872					SS4-08	22.82					SS4-13	26.91				
	SS4-03						SS4-09	25.92					SS4-14	28.13				
	SS4-04						SS4-10	26.08					SS4-15	29.25				
	SS4-05	7.68					SS4-11	26.72					SS4-16	28.26				
	SS4-06	6.56											SS4-17	26.27				

Tabla 100: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada dosificación de aditivo C- 444 – Suelo San Sebastián.

	Suelo San Sebastián		
	fb kg/cm2		
	7 días	21 días	28 días
0.00 l/m3	16.715	16.715	28.888
1.40 l/m3	13.203	27.509	28.128
2.75 l/m3	9.224	25.307	27.499
4.15 l/m3	11.488	24.491	26.153
5.50 l/m3	7.371	16.715	27.659

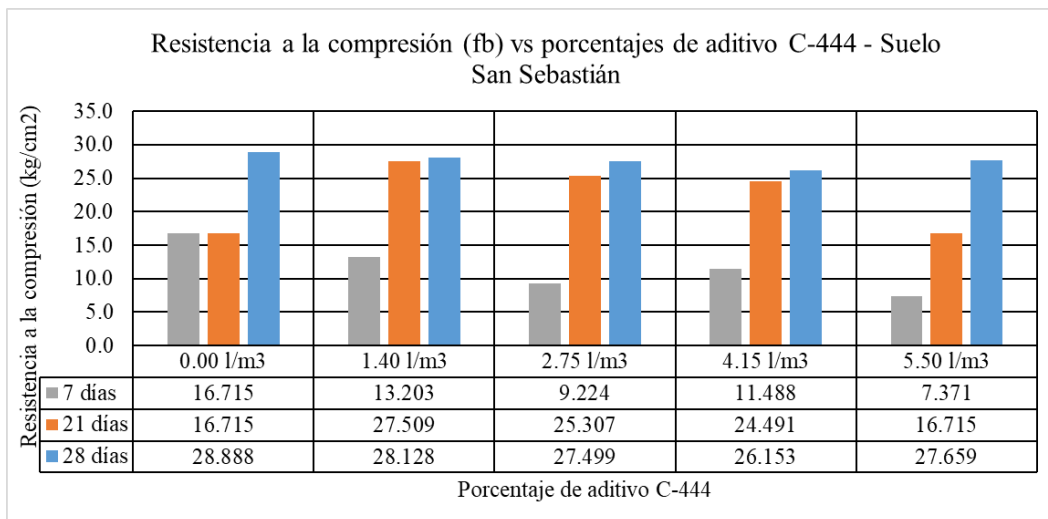


Figura 53: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 – Suelo San Sebastián

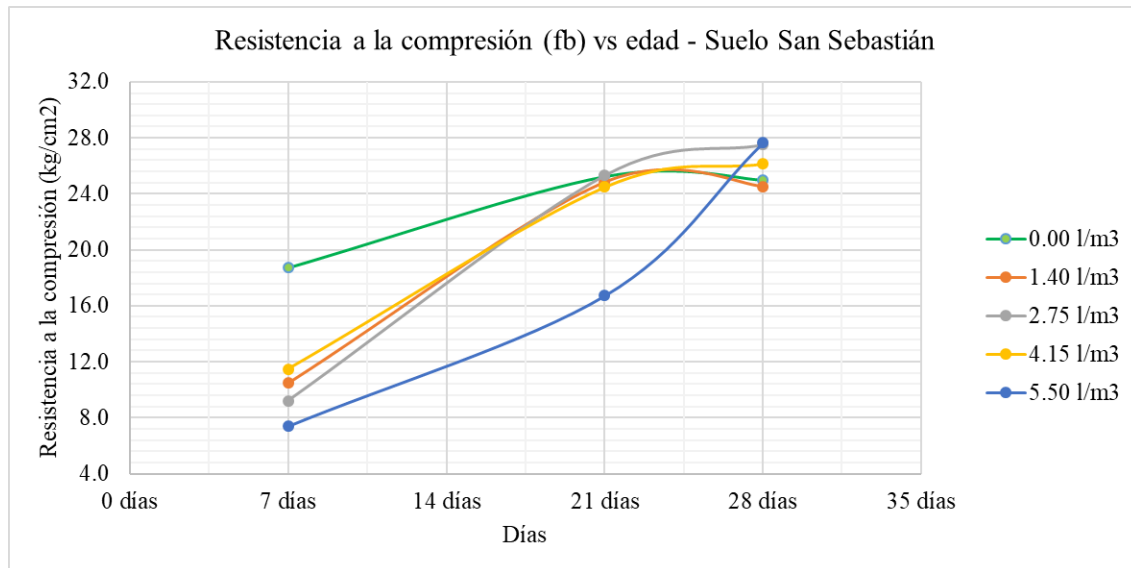


Figura 54: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo San Sebastián

c) Análisis de la prueba:

Para el suelo del distrito de Santiago, se puede decir que el aditivo C-444 del sistema CONSOLID no tuvo un impacto significativo en cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, aun así, no se descarta la posibilidad de que el aditivo C-444 mejore con la adición del aditivo SOLIDRY por lo que, según la figura 52, se puede apreciar que la línea de tendencia más estable la proporciona la dosificación de 2.75 l/m³.

Por otro lado, para el suelo del distrito de San Sebastián, se puede decir que el aditivo C-444 del sistema CONSOLID tuvo un impacto en su mayoría negativo en cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, aun así, no se descarta la posibilidad de que el aditivo C-444 mejore con la adición del aditivo SOLIDRY por lo que, según la figura 54, se puede apreciar que la línea de tendencia más estable y beneficiosa la proporciona la dosificación de 1.40 l/m³.

3.6.7. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Se utilizaron unidades no secas, pues fue planteado así en el proyecto en concordancia con los tesisistas e ingenieros, para poder observar su evolución en resistencia y humedad respecto a su edad.



Para hallar la *resistencia última* se utilizó la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005), en el apartado 8.4. Cálculo e informe.

Ecuación para hallar la resistencia a la compresión.

$$C = W/A$$

Donde:

- C = Resistencia a la compresión del espécimen, MPa.
- W = Máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo.
- A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, mm².

Se procedió a hallar la *humedad natural* de las unidades en su edad respectiva al día del ensayo, con la fórmula presentada en el manual de ensayo de materiales (2016), MTC E 108 Determinación del contenido de humedad de un suelo, apéndice 7.0 Cálculos en informe.

Ecuación para hallar la humedad.

$$w = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100$$

Donde:

- w = es el contenido de humedad, (%).
- M_{CWS} = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos.
- M_{CS} = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos.
- M_C = es el peso del contenedor, en gramos.

Se procedió a realizar el cálculo de la *desviación estándar* y del *coeficiente de variación* con las siguientes formulas:

Ecuación para hallar la desviación estándar.

$$S^2 = \frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Donde:

- X = Valor de cada dato individual.
- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- N = Número de elementos.

Ecuación para hallar el coeficiente de varianza.

$$C.V. = \frac{\bar{X}}{S}$$

Donde:

- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- S = desviación estándar.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 101: Resistencia a la compresión vs porcentaje de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo Santiago.

Dosisf	7 días					21 días					28 días				
	ID	Wu kgf	C. g	Humedad %	H.P. %	ID	Wu kgf	C. g	Humedad %	H.P. %	ID	Wu kgf	C. g	Humedad %	H.P. %
10 kg/m ³	S1-01	5840	18.69	6.25	6.99	S1-06	6300	20.16	4.98	4.94	S1-11	5950	19.04	1.09	1.38
	S1-02	5630	18.02	5.48		S1-07	6140	19.65	5.14		S1-12	5960	19.07	1.62	
	S1-03	5390	17.25	7.91		S1-08	6060	19.39	4.97		S1-13	5460	17.47	1.04	
	S1-04	5590	17.89	7.25		S1-09	6350	20.32	4.21		S1-14	5760	18.43	1.52	
	S1-05	5880	18.82	8.05		S1-10	6340	20.29	5.41		S1-15	5780	18.50	1.53	
30 kg/m ³	S2-01	6060	19.39	8.24	8.82	S2-06	7150	22.88	3.21	4.03	S2-11	6970	22.30	2.13	2.34
	S2-02	6140	19.65	10.63		S2-07	7030	22.50	4.21		S2-12	7120	22.78	1.76	
	S2-03	5890	18.85	7.56		S2-08	7130	22.82	4.07		S2-13	5990	19.17	2.89	
	S2-04	6170	19.74	7.77		S2-09	7290	23.33	3.79		S2-14	6430	20.58	2.59	
	S2-05	6310	20.19	9.93		S2-10	7350	23.52	4.89		S2-15	6780	21.70	2.28	
50 kg/m ³	S3-01	6630	21.22	8.38	8.09	S3-06	7130	22.82	6.28	4.86	S3-11	7810	24.99	4.17	3.33
	S3-02	7160	22.91	8.60		S3-07	7680	24.58	4.00		S3-12	7160	22.91	2.83	
	S3-03	7130	22.82	7.23		S3-08	8070	25.82	4.96		S3-13	7820	25.02	2.85	
	S3-04	7000	22.40	7.82		S3-09	7630	24.42	4.07		S3-14	7630	24.42	3.77	
	S3-05	6940	22.21	8.43		S3-10	7590	24.29	5.00		S3-15	7850	25.12	4.01	
										S3-16	7880	25.22	2.36		

Tabla 102: Desviación estándar y coeficiente de variación para SOLIDRY – Suelo Santiago.

Dosisf	7 días					21 días					28 días							
	ID	C. g	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2	ID	C. g	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2	ID	C. g	fb promedio kg/cm2	Desviación estandar	Coefficiente variación	fb kg/cm2
10 kg/m ³	S1-01	18.69	18.13	0.64	3.52%	17.493	S1-06	20.16	19.96	0.42	2.09%	19.544	S1-11	19.04	18.29	0.77	4.23%	17.520
	S1-02	18.02					S1-07	19.65					S1-12	19.07				
	S1-03	17.25					S1-08	19.39					S1-13	17.47				
	S1-04	17.89					S1-09	20.32					S1-14	18.43				
	S1-05	18.82					S1-10	20.29					S1-15	18.50				
30 kg/m ³	S2-01	19.39	19.56	0.49	2.52%	19.071	S2-06	22.88	23.01	0.41	1.79%	22.596	S2-11	22.30	21.48	1.37	6.36%	20.112
	S2-02	19.65					S2-07	22.50					S2-12	22.78				
	S2-03	18.85					S2-08	22.82					S2-13	19.17				
	S2-04	19.74					S2-09	23.33					S2-14	20.58				
	S2-05	20.19					S2-10	23.52					S2-15	21.70				
50 kg/m ³	S3-01	21.22	22.31	0.68	3.03%	21.633	S3-06	22.82	24.38	1.07	4.39%	23.314	S3-11	24.99	24.61	0.88	3.57%	23.734
	S3-02	22.91					S3-07	24.58					S3-12	22.91				
	S3-03	22.82					S3-08	25.82					S3-13	25.02				
	S3-04	22.40					S3-09	24.42					S3-14	24.42				
	S3-05	22.21					S3-10	24.29					S3-15	25.12				
												S3-16	25.22					

Tabla 103: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 y SOLIDRY – Suelo Santiago.

Suelo Santiago			
fb kg/cm ²			
	7 días	21 días	28 días
10 kg/m ³	18.131	19.962	18.293
30 kg/m ³	19.565	23.008	21.477
50 kg/m ³	22.310	24.384	24.613

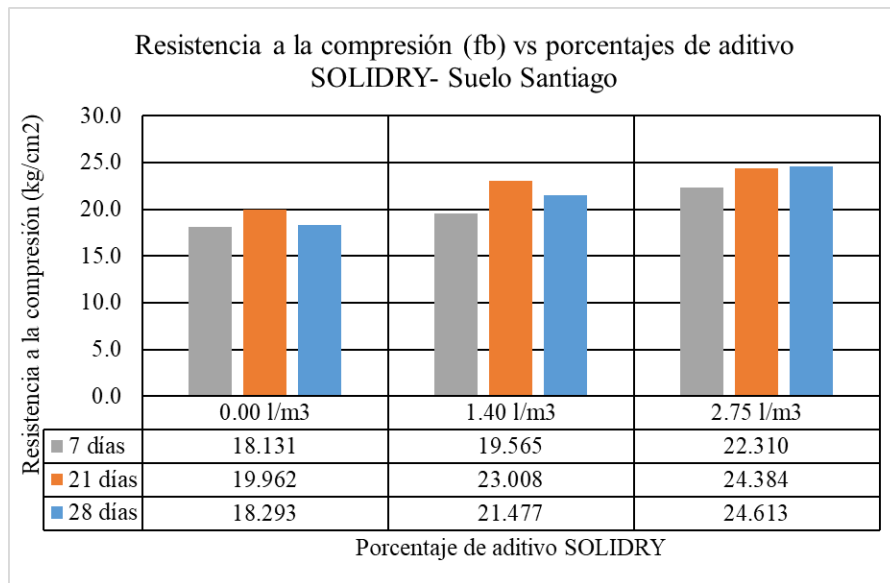


Figura 55: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo Santiago.

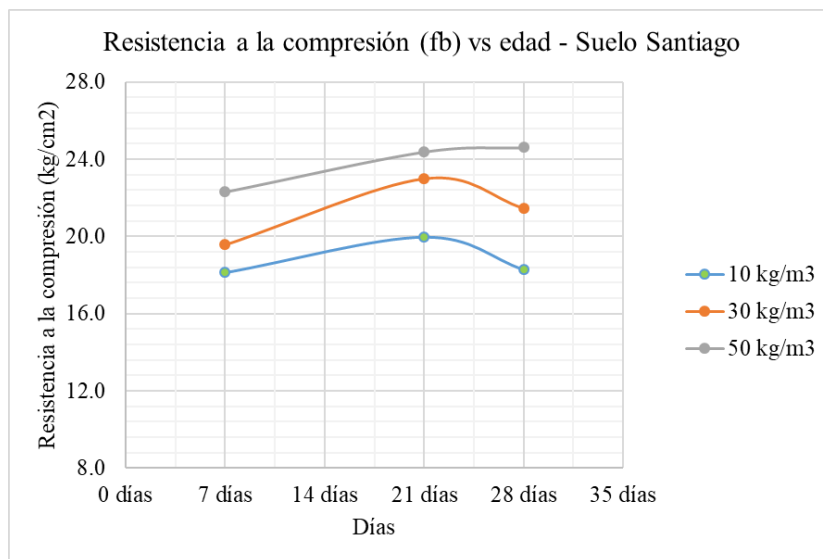


Figura 56: Resistencia a la compresión vs edad – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

Tabla 104: Resistencia a la compresión vs porcentaje de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián.

Dosis	7 días					21 días					28 días				
	ID	Wu	C.	Humedad	H.P.	ID	Wu	C.	Humedad	H.P.	ID	Wu	C.	Humedad	H.P.
		kgf	g	%	%		kgf	g	%	%		kgf	g	%	%
10 kg/m ³	SS1-01	4070	13.02	14.57	15.22	SS1-07	5530	17.70	6.74	6.95	SS1-13	5700	18.24	4.96	5.03
	SS1-02	4330	13.86	12.66		SS1-08	5550	17.76	6.66		SS1-14	5930	18.98	5.47	
	SS1-03	3960	12.67	17.60		SS1-09	5430	17.38	7.85		SS1-15	5820	18.62	5.36	
	SS1-04	3790	12.13	16.08		SS1-10	5570	17.82	7.09		SS1-16	5590	17.89	5.07	
	SS1-05	3810	12.19	13.69		SS1-11	6030	19.30	7.34		SS1-17	5050	16.16	5.00	
	SS1-06	3590	11.49	16.71		SS1-12	5490	17.57	6.02		SS1-18	6200	19.84	4.31	
30 kg/m ³	SS2-01	2550	8.16	17.81	16.81	SS2-07	3200	10.24	6.92	6.92	SS2-14	3460	11.07	4.95	5.04
	SS2-02	2480	7.94	17.96		SS2-08	3510	11.23	6.39		SS2-15	3540	11.33	5.54	
	SS2-03	2580	8.26	16.57		SS2-09	1580	5.06	6.60		SS2-16	3630	11.62	5.28	
	SS2-04	2410	7.71	13.20		SS2-10	2320	7.42	7.34		SS2-17	3310	10.59	4.51	
	SS2-05	2680	8.58	17.58		SS2-11	3650	11.68	6.30		SS2-18	3770	12.06	4.86	
	SS2-06	2490	7.97	17.77		SS2-12	3270	10.46	7.34		SS2-19	3720	11.90	5.22	
50 kg/m ³	SS3-01	2030	6.50	15.48	17.26	SS3-08	1930	6.18	8.18	7.89	SS3-15	2080	6.66	5.87	5.23
	SS3-02	1680	5.38	14.40		SS3-09	2310	7.39	7.94		SS3-16	2230	7.14	5.55	
	SS3-03	2270	7.26	20.62		SS3-10	2240	7.17	7.86		SS3-17	2610	8.35	4.45	
	SS3-04	2130	6.82	15.12		SS3-11	2180	6.98	7.23		SS3-18	2240	7.17	4.28	
	SS3-05	1680	5.38	16.66		SS3-12	2260	7.23	8.37		SS3-19	2000	6.40	5.36	
	SS3-06	1640	5.25	15.32		SS3-13	2448	7.83	6.83		SS3-20	2760	8.83	5.85	
SS3-07	1760	5.63	23.22	SS3-14	2120	6.78	8.81								

Tabla 105: Desviación estándar y coeficiente de variación para C-444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián.

Dosis	7 días						21 días						28 días					
	ID	C.	fb promedio	Desviación	Coefficiente	fb	ID	C.	fb promedio	Desviación	Coefficiente	fb	ID	C.	fb promedio	Desviación	Coefficiente	fb
		g	kg/cm ²	estandar	variación	kg/cm ²		g	kg/cm ²	estandar	variación	kg/cm ²		g	kg/cm ²	estandar	variación	kg/cm ²
10 kg/m ³	SS1-01	13.02	12.56	0.82	6.54%	11.738	SS1-07	17.70	17.92	0.69	3.86%	17.227	SS1-13	18.24	18.29	1.24	6.78%	17.048
	SS1-02	13.86					SS1-08	17.76					SS1-14	18.98				
	SS1-03	12.67					SS1-09	17.38					SS1-15	18.62				
	SS1-04	12.13					SS1-10	17.82					SS1-16	17.89				
	SS1-05	12.19					SS1-11	19.30					SS1-17	16.16				
	SS1-06	11.49					SS1-12	17.57					SS1-18	19.84				
30 kg/m ³	SS2-01	8.16	8.10	0.30	3.70%	7.802	SS2-07	10.24	12.56	0.59	5.40%	11.738	SS2-14	11.07	17.92	0.50	4.38%	17.227
	SS2-02	7.94					SS2-08	11.23					SS2-15	11.33				
	SS2-03	8.26					SS2-09						SS2-16	11.62				
	SS2-04	7.71					SS2-10						SS2-17	10.59				
	SS2-05	8.58					SS2-11	11.68					SS2-18	12.06				
	SS2-06	7.97					SS2-12	10.46					SS2-19	11.90				
50 kg/m ³	SS3-01	6.50	12.56	0.51	9.00%	11.738	SS3-08	6.18	12.56	0.52	7.32%	11.738	SS3-15	6.66	6.84	0.38	5.49%	6.465
	SS3-02	5.38					SS3-09	7.39					SS3-16	7.14				
	SS3-03						SS3-10	7.17					SS3-17					
	SS3-04						SS3-11	6.98					SS3-18	7.17				
	SS3-05	5.38					SS3-12	7.23					SS3-19	6.40				
	SS3-06	5.25					SS3-13	7.83					SS3-20					
SS3-07	5.63	SS3-14	6.78															

Tabla 106: Promedio de las resistencias últimas vs edad para cada porcentaje de aditivo C - 444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián.

	Suelo San Sebastián		
	fb kg/cm ²		
	7 días	21 días	28 días
10 kg/m ³	11.738	17.227	17.048
30 kg/m ³	7.802	11.738	17.227
50 kg/m ³	11.738	11.738	6.465

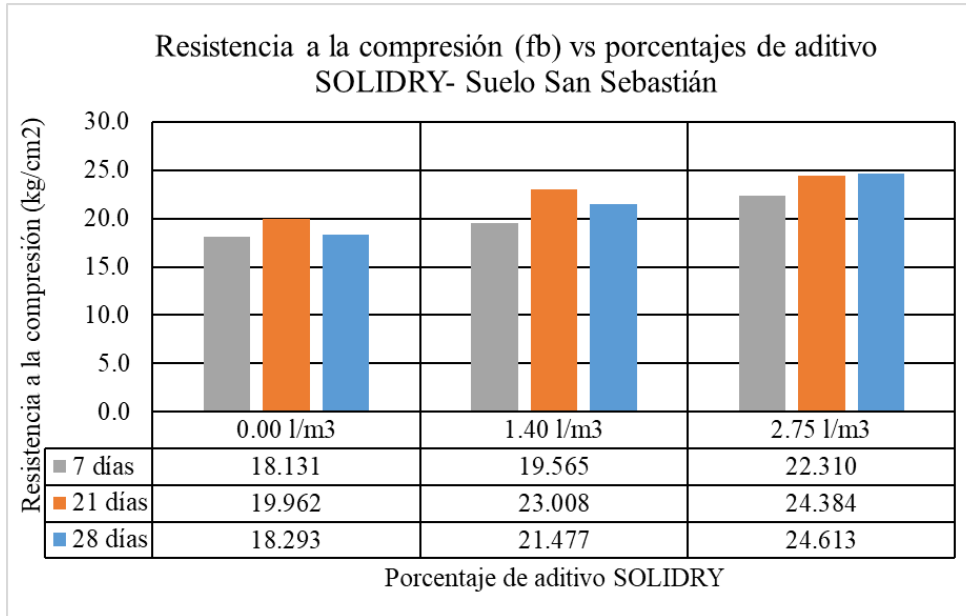


Figura 57: Resistencia a la compresión vs porcentajes de aditivo C-444 y SOLIDRY – Suelo San Sebastián

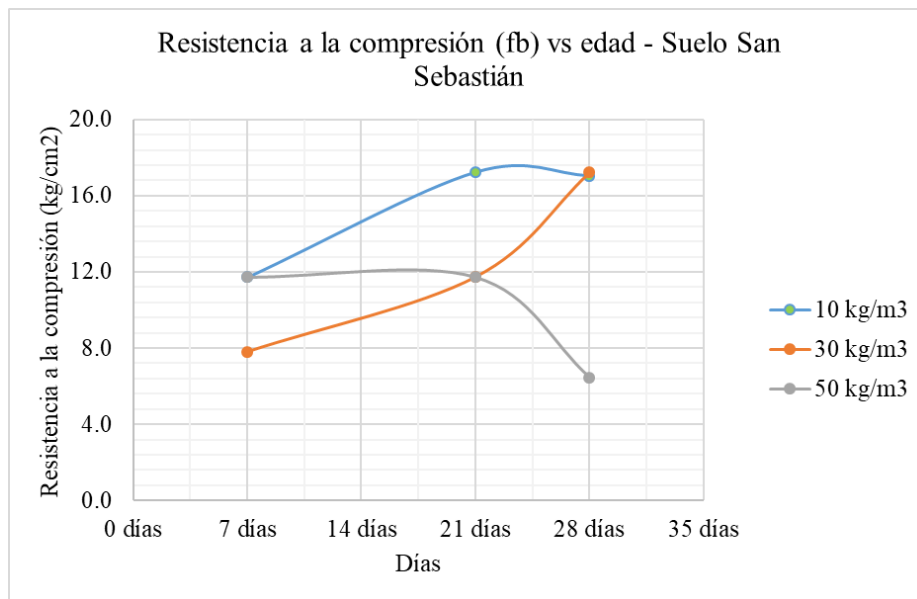


Figura 58: Resistencia a la compresión vs edad– Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C - 444 y SOLIDRY.

c) Análisis de la prueba:

Para el suelo del distrito de Santiago, se puede decir que el aditivo SOLIDRY del sistema CONSOLID, en adición al aditivo C-444 (dosificación 2.75 l/m³), tuvo un impacto positivo significativo en cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería con la dosificación máxima que es 50 kg/m³. Según la figura 56, se puede apreciar que la línea de



tendencia más estable la proporciona la dosificación de 50 kg/m^3 , esta dosificación demostró tener un progreso continuo, a diferencia de las siguientes dos dosificaciones que a los 28 días sufrieron un decremento en su resistencia.

Por otro lado, para el suelo del distrito de San Sebastián, se puede decir que el aditivo SOLIDRY del sistema CONSOLID, en adición al aditivo C-444 (dosificación 1.40 l/m^3), tuvo un impacto positivo significativo en cuanto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería con la dosificación mínima que es 10 kg/m^3 . Según la figura 58, se puede apreciar que la línea de tendencia más estable la proporciona la dosificación de 10 kg/m^3 , esta dosificación demostró tener un progreso continuo hasta la edad de 21 días, para después mantenerse, a diferencia de la dosificación de 30 kg/m^3 que obtuvo resultados similares, y la dosificación de 50 kg/m^3 que a los 28 días sufrió un decremento en su resistencia.

3.6.8. Análisis del ensayo de determinación del peso

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Para la determinación del promedio de *pesos* de las unidades de albañilería de tierra cruda, se realiza una sumatoria de todos los pesos y se divide entre el número de unidades de albañilería de tierra cruda pesados.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 107: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.

ID	Peso
Unidad	g
SA-1	5159.2
SA-2	5108.9
SA-3	5183.8
SA-4	5181.1
SA-5	5161.3
SA-6	5126.1
SA-7	5145.3
SA-8	5130.2
SA-9	5150
SA-10	5150.2
SA-11	5160.1
SA-12	5195.1
SA-13	5168.3
SA-14	5123.5
SA-15	5187.3
SA-16	5143.1
SA-17	5111.5
SA-18	5095.6
SA-19	5144.5
SA-20	5065.56
Promedio	5144.5

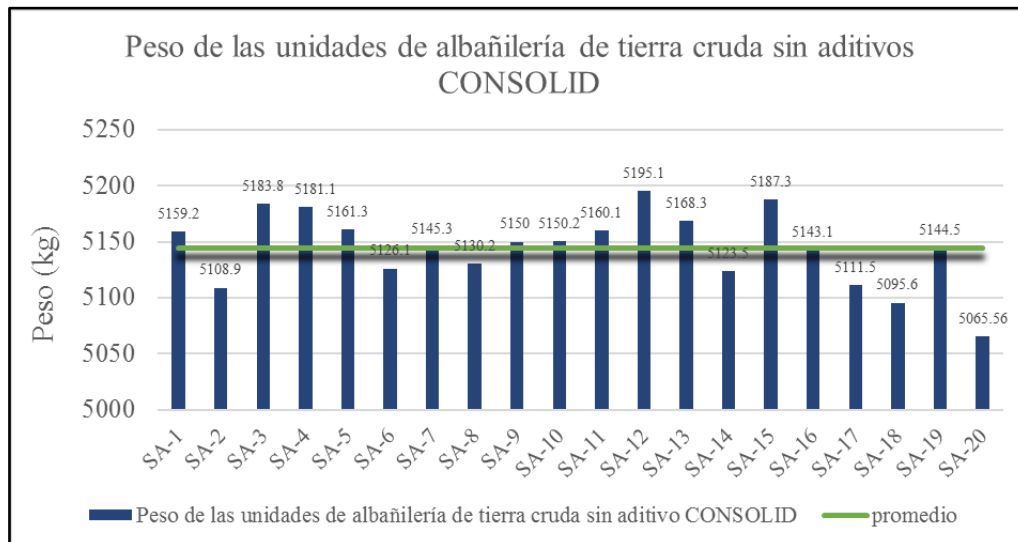


Figura 59: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de la zona de Santiago.

Tabla 108: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo del suelo de Santiago.

ID	Peso
Unidad	g
XSA-1	5228.7
XSA-2	5155.9
XSA-3	5215.8
XSA-4	5206.3
XSA-5	5174.2
XSA-6	5207.1
XSA-7	5101.1
XSA-8	5108.3
XSA-9	5071
XSA-10	5072.6
XSA-11	5089.6
XSA-12	5154.9
XSA-13	5144.9
XSA-14	5131.5
XSA-15	5075.2
XSA-16	5089.7
XSA-17	5142.6
XSA-18	5142.5
XSA-19	5119.4
XSA-20	5144.4
Promedio	5138.8

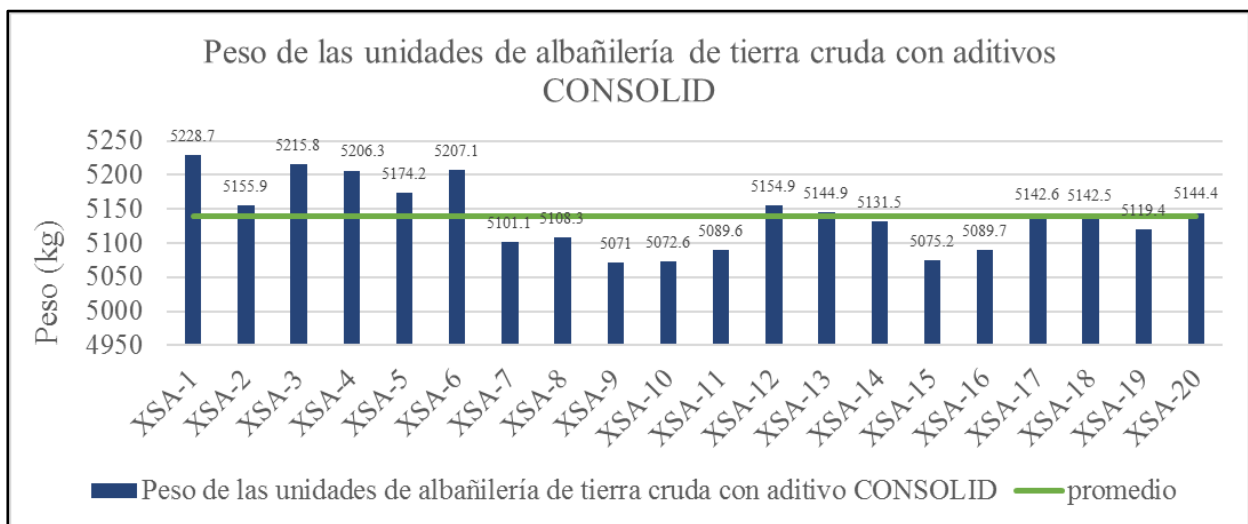


Figura 60: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de la zona de Santiago.

Tabla 109 Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.

ID	Peso
Unidad	g
SS-6	4943.6
SS-7	4876.6
SS-8	4869.6
SS-9	4899.2
SS-10	4924.4
SS-11	4919.8
SS-12	4946.2
SS-13	4910.2
SS-14	4924.6
SS-15	4940.7
SS-16	4874.7
SS-17	4930.4
SS-18	4901.9
SS-19	4893.1
SS-20	4923.6
SS-21	4929.6
SS-22	4912.9
SS-23	4881.5
SS-24	4916.7
SS-25	4877.5
SS-26	4837.5
SS-27	4891.2
Promedio	4905.7

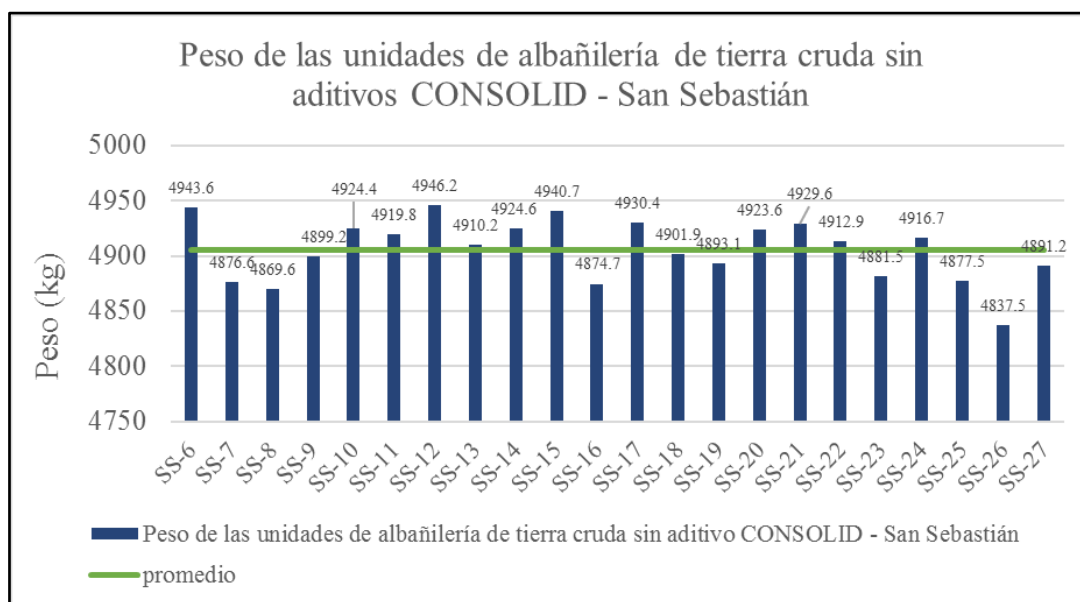


Figura 61: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de San Sebastián.

Tabla 110: Promedio del peso de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo del suelo de San Sebastián.

ID	Peso
Unidad	g
XSS-6	4842.9
XSS-7	4938.0
XSS-8	4918.5
XSS-9	4827.1
XSS-10	4836.4
XSS-11	4839.4
XSS-12	4770.7
XSS-13	4835.5
XSS-14	4850.8
XSS-15	4849.2
XSS-16	4825.8
XSS-17	4785.3
XSS-18	4786.7
XSS-19	4776.1
XSS-20	4676.8
XSS-21	4755.9
XSS-22	4745.4
XSS-23	4686.8
XSS-24	4684.1
XSS-25	4755.6
Promedio	4799.4

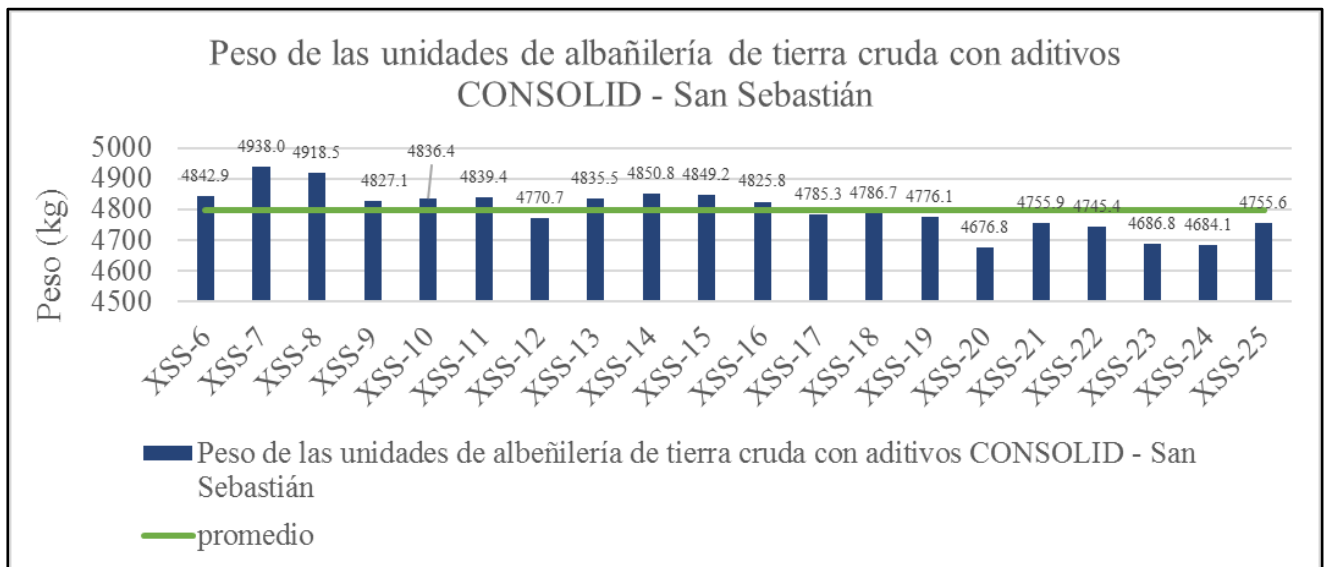


Figura 62: Peso de las Unidades de Albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID fabricadas con suelo de San Sebastián.

**c) Análisis de la prueba:**

El valor promedio hallado para las unidades de albañilería:

- Del distrito de Santiago sin aditivo es de: 5144.5 gr.
- Del distrito de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY es de: 5138.8 gr.
- Del distrito de San Sebastián sin aditivo es de: 4905.7 gr.
- Del distrito de San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY es de: 4799.4 gr.

Tanto en las unidades de albañilería estabilizadas de los distritos de Santiago y San Sebastián se puede apreciar una disminución del peso, esto se debe a que al incluir el aditivo SOLIDRY en la mezcla, esta se mezcla y absorbe el agua, por tanto, su densidad baja.

3.6.9. Análisis del ensayo de alabeo**a) Procesamiento o cálculos de la prueba:**

Para la determinación del *alabeo* de las unidades de albañilería de tierra cruda se toma los valores máximos, ya sea si presentan la cara de asiento cóncava (alabeo negativo) o convexa (alabeo positivo).

Se considera como resultado, el mayor alabeo entre ambos valores (Cóncava y Convexa), independiente de su signo.

c) Diagramas, tablas:

Tabla 111: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de Santiago.

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
SA-1	0	0.1	0	1.0
SA-2	0	1.0	0	0.1
SA-3	0	0.9	0	0.1
SA-4	0	0.5	0	0.2
SA-5	0	0.9	0	0.5
SA-6	0	1.0	0	1.0
SA-7	0	1.0	0	0.0
SA-8	0	1.0	0	1.0
SA-9	0	1.0	0	0.5
SA-10	0	0.5	0	0.5
SA-11	0	1.0	0	0.0
SA-12	0	1.0	0	1.5
SA-13	0	1.0	0	1.0
SA-14	0	0.2	0	0.5
SA-15	0	0.4	0	0.1
SA-16	0	1.0	0	0.1
SA-17	0	0.1	0	2.0
SA-18	0	1.0	0	0.1
SA-19	0	0.5	0	0.1
SA-20	0	1.2	0	1.0
	Concavidad (mm)		0	
	Convexidad (mm)		2.0	

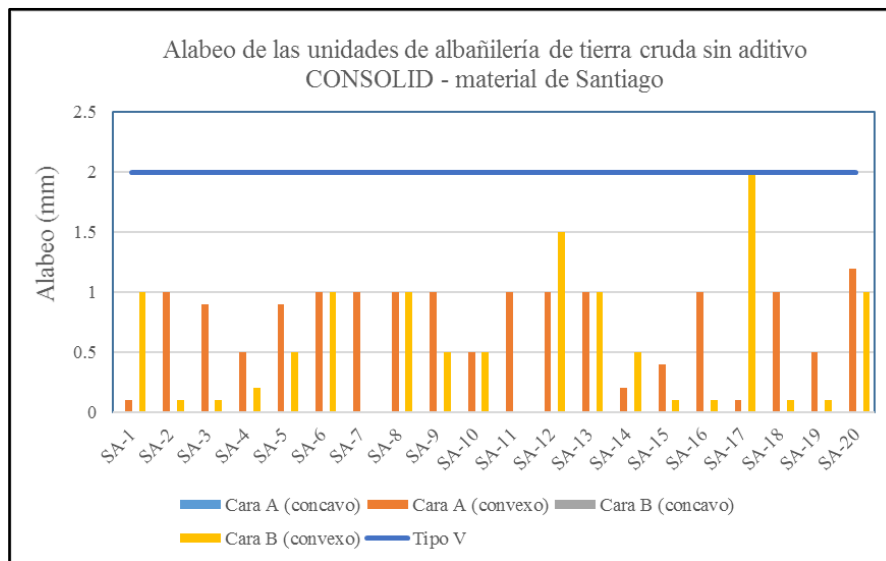


Figura 63: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago

Tabla 112: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo CONSOLID del suelo de Santiago.

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
XSA-1	0	0.50	0.00	0.00
XSA-2	0	1.00	0.00	0.00
XSA-3	0	0.50	0.00	0.00
XSA-4	0	0.10	0.00	0.00
XSA-5	0	0.10	0.00	0.10
XSA-6	0	1.00	0.00	0.10
XSA-7	0	0.00	0.00	0.00
XSA-8	0	1.00	0.00	0.00
XSA-9	0	1.00	0.00	0.00
XSA-10	0	1.00	0.00	0.00
XSA-11	0	1.00	0.00	0.10
XSA-12	0	1.00	0.00	0.50
XSA-13	0	0.50	0.00	1.00
XSA-14	0	1.00	0.00	0.50
XSA-17	0	0.00	0.00	0.10
XSA-18	0	1.00	0.00	0.00
XSA-19	0	1.50	0.00	0.20
XSA-20	0	0.50	0.00	1.00
XSA-21	0	1.00	0.00	0.00
XSA-22	1	0.00	0.00	1.00
Concavidad (mm)			1.00	
Convexidad (mm)			1.50	

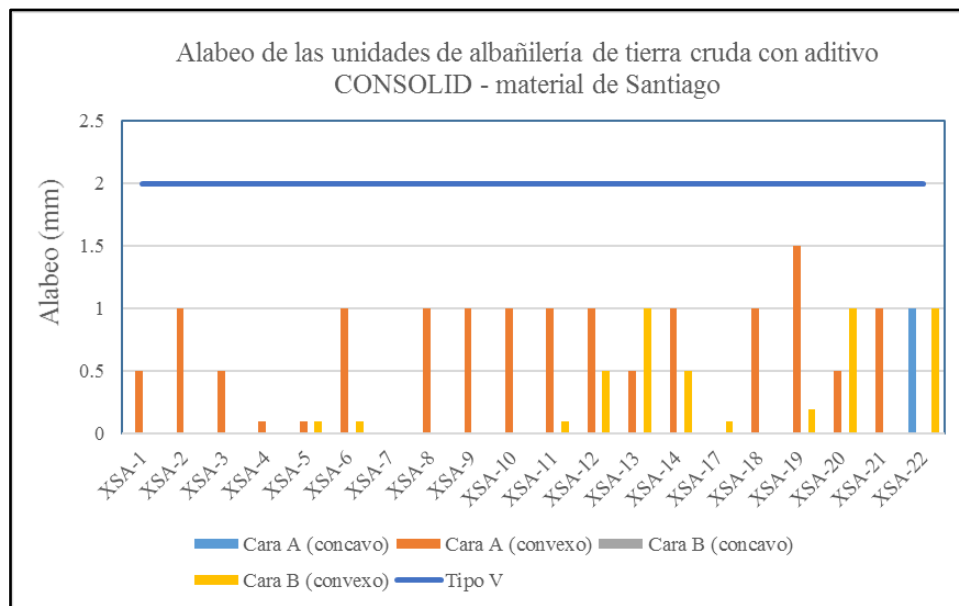


Figura 64: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago.

Tabla 113: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivo del suelo de San Sebastián.

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
SS-6	0	1.5	0	0.00
SS-7	0	2.5	0	0.00
SS-8	0	1.0	0	0.00
SS-9	0	2.5	0	0.00
SS-10	0	1.0	0	0.00
SS-11	0	1.5	0	0.00
SS-12	0	1.0	0	0.00
SS-13	0	2.0	0.5	0.00
SS-14	0	2.0	0	0.00
SS-15	0	2.0	0	0.00
SS-16	0	2.0	0	0.00
SS-17	0	1.0	0	0.00
SS-18	0	3.0	0	0.00
SS-19	0	1.0	0	0.00
SS-20	0	1.0	0	0.00
SS-21	0	2.0	0.5	0.00
SS-22	0	3.0	0	0.00
SS-23	0	2.0	0	0.00
SS-24	0	2.5	0	0.00
SS-25	0	2.0	0	0.00
SS-26	0	3.0	0	0.00
SS-27	0	1.5	1	0.00
Concavidad (mm)			1.00	
Convexidad (mm)			3.00	

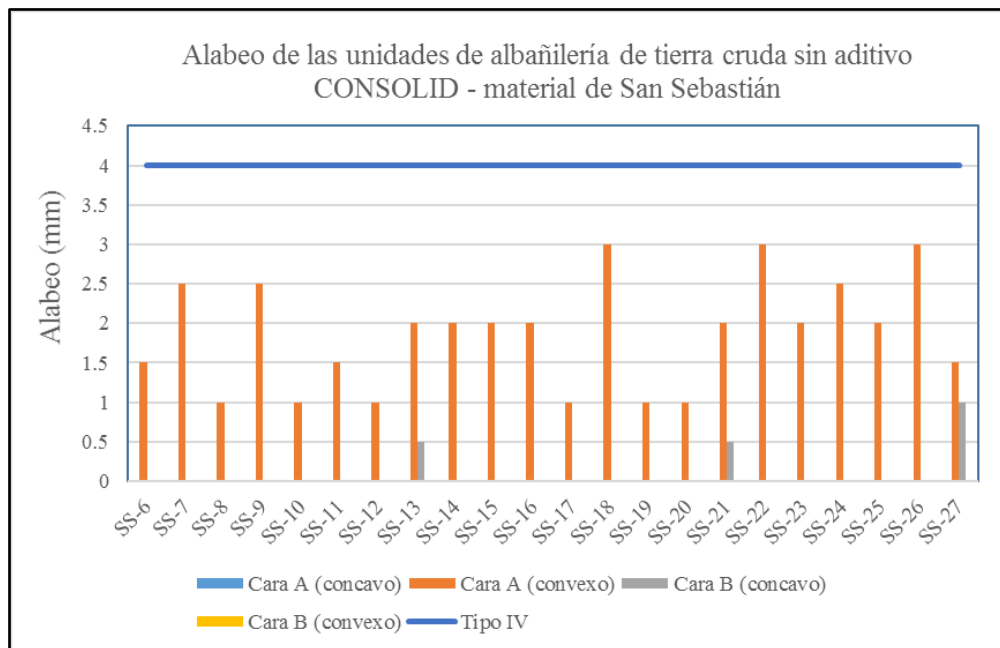


Figura 65: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián

Tabla 114: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivo CONSOLID del suelo de San Sebastián.

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
XSS-6	0	1.00	0.00	0.00
XSS-7	0	1.50	0.50	0.00
XSS-8	0	0.00	0.00	1.00
XSS-9	0	2.00	1.00	0.00
XSS-10	0	1.00	0.10	0.00
XSS-11	0	2.00	0.00	0.00
XSS-12	0	0.00	0.00	0.00
XSS-13	0	0.00	0.00	0.00
XSS-14	0	1.00	0.00	0.00
XSS-15	0	0.00	0.00	0.00
XSS-16	0	1.00	0.00	0.00
XSS-17	0	1.00	0.10	0.00
XSS-18	0	1.00	0.00	0.00
XSS-19	0	0.50	0.00	0.00
XSS-20	0	0.00	0.00	0.00
XSS-21	0	0.50	0.00	0.00
XSS-22	0	2.00	0.00	0.00
XSS-23	0	0.10	0.00	0.00
XSS-24	0	0.50	0.00	0.00
XSS-25	0	1.00	0.00	1.00
Concavidad (mm)			1.00	
Convexidad (mm)			2.00	

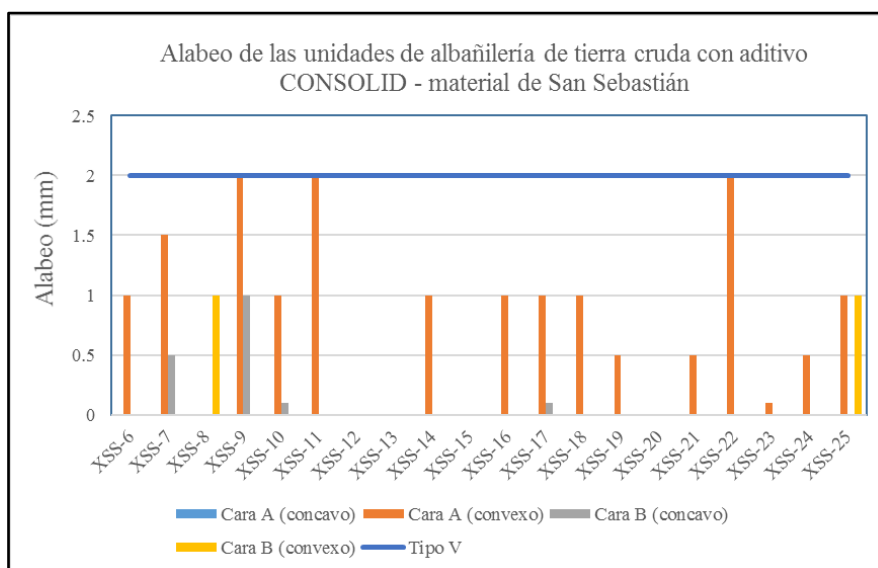


Figura 66: Alabeo de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián

**d) Análisis de la prueba:**

El alabeo máximo para las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID con el suelo de Santiago es de 2 cm y siendo positivo por ser convexo, mientras que el alabeo máximo con aditivos CONSOLID es de 1.5cm ambas unidades según la norma técnica de edificaciones E070 clasificarían como un ladrillo tipo 5.

El alabeo máximo para las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID con el suelo de San Sebastián es de 3 cm siendo positivo por ser convexo, mientras que el alabeo máximo con aditivos CONSOLID es de 2 cm ambas unidades según la norma técnica de edificaciones E070 clasificarían como un ladrillo tipo 4.

Tanto para las unidades de albañilería utilizando suelo de Santiago como para las unidades de albañilería utilizando suelo de San Sebastián los productos CONSOLID han disminuido el alabeo.

3.6.10. Análisis del ensayo de absorción**a) Procesamiento o cálculos de la prueba:**

Para el cálculo de agua absorbida de las unidades de albañilería de tierra cruda respecto de su peso seca, se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Absorción (\%)} = 100 \times \frac{(W_s - W_d)}{W_d}$$

Donde:

- W_d = peso del espécimen.
- W_s = peso del espécimen saturado, después de la sumersión en agua fría.

Se considera como valor último de la absorción, al *promedio* de la absorción de todas las unidades ensayadas.

$$\text{Promedio} = \frac{\sum_{i=m}^n A_i}{n}$$

Donde:

- n es el número de unidades de albañilería de tierra cruda ensayadas.
- A_i es la absorción de cada unidad de albañilería de tierra cruda ensayada.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 115: Ensayo de absorción para suelo de Santiago sin aditivo.

ID	Wd	Ws	Abosrocción
Unidad	g	g	%
SA-17	5111.10	-	-
SA-18	5094.10	-	-
SA20	5065.00	-	-
SA-21	5159.50	-	-
SA-22	5119.30	-	-

Tabla 116: Ensayo de absorción para suelo de Santiago con aditivo C-444 Y SOLIDRY.

ID	Wd	Ws	Absorción	Coefficiente
Unidad	g	g	%	variación
XSA-12	5154.9	5595	8.54	12.51%
XSA-13	5144.9	5642.9	9.68	
XSA-14	5131.5	5623.1	9.58	
XSA-15	5075.2	5651.2	11.35	
XSA-16	5089.7	5675.3	11.51	

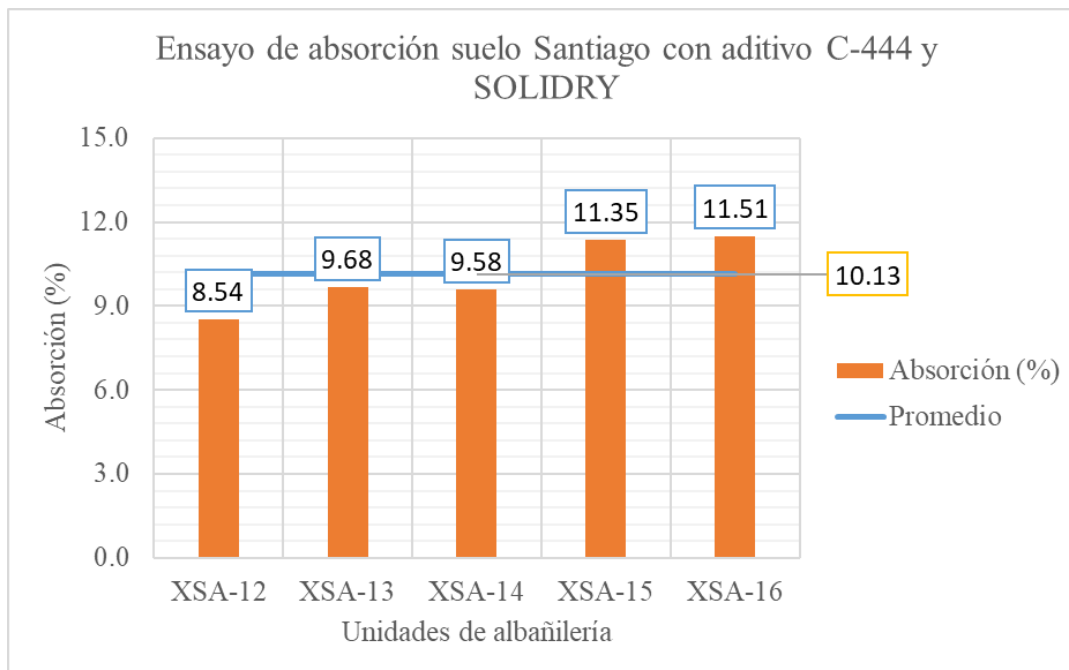


Figura 67: Diagrama de barras de absorción de las unidades de albañilería del suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY.

Tabla 117: Ensayo de absorción para suelo de San Sebastián sin aditivo.

ID	Wd	Ws	Absorción
Unidad	g	g	%
SS-6	4943.6	-	-
SS-7	4876.6	-	-
SS-8	4869.6	-	-
SS-9	4899.2	-	-
SS-10	4924.4	-	-

Tabla 118: Ensayo de absorción para suelo de San Sebastián con aditivo C-444 Y SOLIDRY.

ID	Wd	Ws	Absorción
Unidad	g	g	%
XSS-6	4842.9	-	-
XSS-7	4938	-	-
XSS-8	4918.5	-	-
XSS-9	4827.1	-	-
XSS-11	4839.4	-	-

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de absorción se deduce que:

Para las unidades elaboradas con el suelo de Santiago sin aditivos no se encontraron valores de absorción pues las unidades se desmoronaban dentro del agua a partir de los 15 minutos de ser sumergidos.

Para las unidades elaboradas con el suelo de Santiago con los porcentajes óptimos de aditivo C-444 y SOLIDRY, los valores obtenidos de absorción fueron de 8.54% a 11.51%, valores que, según la norma E.070 (2006), no superaron el 22% permitido. Según el ingeniero Ángel San Bartolomé en sus comentarios a la norma (2005), valores elevados de absorción de la unidad, serán relacionados a una cantidad significativa de poros de la unidad y, por tanto, menos resistentes al intemperismo.

Para las unidades elaboradas con el suelo de San Sebastián con y sin aditivos, no se encontraron valores de absorción, pues estos se deshacían dentro del agua. En este ensayo se puede apreciar que el valor mínimo de dosificación de SOLIDRY (10 kg/m^3), no tuvo mayor efecto como el valor más alto de dosificación (50 kg/m^3) para el suelo de Santiago.

Según Gallegos y Casabonne (2005), en su libro de albañilería estructural, en la tabla N° 4.5 “Propiedades generales de las unidades de albañilería”, define valores de absorción máxima

para unidades de albañilería de arcilla, siendo una absorción alta los valores entre 15% a 30%, y media a muy reducida de 1% a 20%. Los resultados del ensayo para las unidades elaboradas con el suelo de Santiago estabilizadas presentan una absorción de carácter medio a muy reducido.

3.6.11. Análisis del ensayo de succión

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Se registró el peso seco y saturados del espécimen en gramos. Se procedió a hallar la diferencia de pesos restando el peso saturado menos el peso seco. Se registró también el área de contacto de la unidad. Todos estos datos fueron necesarios para ser reemplazados en la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005).

Ecuación para hallar la succión.

$$\text{Succión} = \frac{200 * W}{LB} \text{ (gr/200cm}^2 \text{ - min)}$$

Donde:

- W = Diferencia de pesos saturado y seco (gr).
- L = Largo de la unidad (cm).
- B = Ancho de la unidad (cm).

b) Diagramas, tablas:

Tabla 119: Ensayo de succión para suelo de Santiago sin aditivo.

ID	Wd	Ws	W	L	B	Succión
Unidad	g	g	g	cm	cm	gr/200cm ² -min
SA-12	5195.10	5130.50	-64.60	24.20	12.08	-44.20
SA-13	5168.30	5150.00	-18.30	24.10	12.05	-12.60
SA-14	5123.50	5090.00	-33.50	24.30	12.11	-22.77
SA-15	5171.80	5158.20	-13.60	24.10	12.08	-9.34
SA-16	5143.10	5128.60	-14.50	24.10	12.10	-9.94

Tabla 120: Ensayo de succión para suelo de Santiago con aditivo C-444 Y SOLIDRY.

ID	W	L	B	Succión	Coficiente
UNIDAD	g	cm	cm	gr/200cm ² -min	variación
XSA-7	27.90	24.50	12.40	18.367	10.02%
XSA-8	32.80	24.50	12.38	21.628	
XSA-9	35.00	24.50	12.42	23.004	
XSA-10	35.80	24.60	12.40	23.472	
XSA-11	30.40	24.60	12.40	19.932	
			Promedio	21.281	

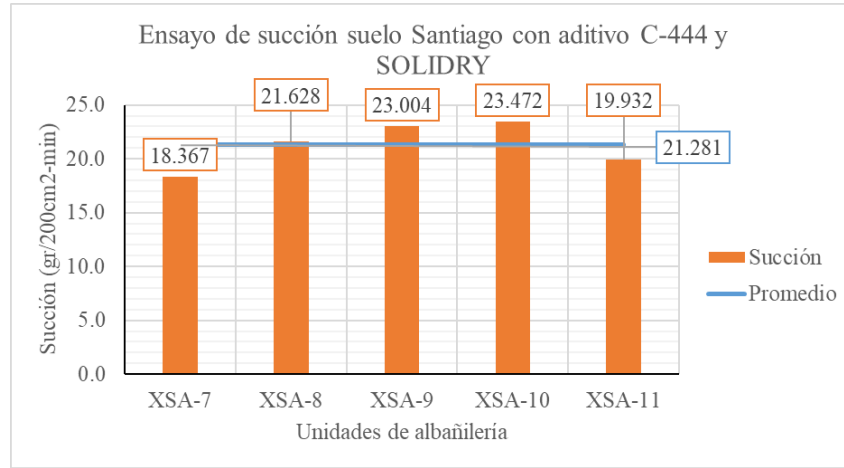


Figura 68: Diagrama de barras de succión de las unidades de albañilería del suelo de Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY.

Tabla 121: Ensayo de succión para suelo de San Sebastián sin aditivo.

ID	Wd	Ws	W	L	B	Succión
Unidad	g	g	g	cm	cm	gr/200cm ² -min
SS-17	4918.80	4901.80	-17.00	23.40	11.78	-12.33
SS-18	4901.60	4871.40	-30.20	23.45	11.71	-22.00
SS-19	4892.70	4869.50	-23.20	23.55	11.66	-16.90
SS-20	4923.50	4906.30	-17.20	23.60	11.78	-12.37
SS-21	4928.50	4913.20	-15.30	23.50	11.83	-11.01
SS-22	4912.40	4882.80	-29.60	23.65	11.65	-21.49

Tabla 122: Ensayo de succión para suelo de San Sebastián con aditivo C-444 Y SOLIDRY.

ID	Wd	Ws	W	L	B	Succión
Unidad	g	g	g	cm	cm	gr/200cm ² -min
XSS-18	4784.4	4768.4	-16	23.80	11.96	-11.242
XSS-19	4769.4	4757.4	-12	23.75	11.90	-8.492
XSS-20	4654.6	4638.9	-15.7	24.00	11.90	-10.994
XSS-21	4749.2	4747.7	-1.5	23.80	11.82	-1.066
XSS-22	4742.8	4755.4	12.6	24.00	11.89	8.831
XSS-23	4683.9	4693.1	9.2	23.90	11.86	6.491

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de succión se pudo deducir que:

Para las unidades de albañilería elaboradas con la tierra del distrito de Santiago sin aditivo, no se obtuvieron valores de succión o fueron negativos ya que, durante el ensayo, la cara de contacto de la unidad con el agua comenzaba a desmoronarse rápidamente, perdiendo masa en el proceso.

Para las unidades de albañilería elaboradas con la tierra del distrito de Santiago con aditivo C - 444 y SOLIDRY, se obtuvieron valores de entre 18.367 gr/200cm²-min hasta 23.472 gr/200cm²-min, dichos valores, según Gallegos y Casabone (2005), son valores de carácter elevado a correcto (de 5-40 gr/200cm²-min). Además, según la norma E.070 (2006), debido a que los valores obtenidos son altos, por lo que se requiere que estas unidades sean sometidas a un regado previo antes del asentamiento.

Para las unidades de albañilería elaboradas con la tierra del distrito de San Sebastián con y sin aditivo, no se obtuvieron valores de succión o fueron negativos ya que, durante el ensayo, la cara de contacto de la unidad con el agua comenzaba a desmoronarse rápidamente, perdiendo masa en el proceso. Se puede rescatar de este ensayo que la succión de las unidades de albañilería estabilizadas con C-444 y SOLIDRY tuvieron una menor succión que aquellas que no fueron estabilizadas, esto se debe a que el aditivo SOLIDRY impidió la pérdida de material debido a su propiedad impermeabilizante.

3.6.12. Análisis del ensayo de variación dimensional

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Se promediaron los 4 valores de cada dimensión (largo, ancho y altura)

$$D_p = \frac{D1 + D2 + D3 + D4}{4}$$

Donde:

- $D1$ es el largo, ancho o altura de la unidad de albañilería de tierra cruda
- D_p es el promedio de los cuatro valores del largo, ancho o altura.

Luego se calcula la variabilidad dimensional para cada unidad, restando la dimensión especificada y la dimensión promedio y se divide entre la dimensión especificada.

Fórmula para hallar la variación dimensional.

$$V(\%) = \frac{D_e - D_p}{D_e} \times 100$$

Donde:

- D_e es la dimensión especificada
- D_p es la dimensión promedio



Por último, calculamos el promedio de la variación dimensional para las tres dimensiones (altura, ancho y longitud) por separado mediante la fórmula:

Fórmula para hallar promedio.

$$\text{Promedio} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n}$$

Donde:

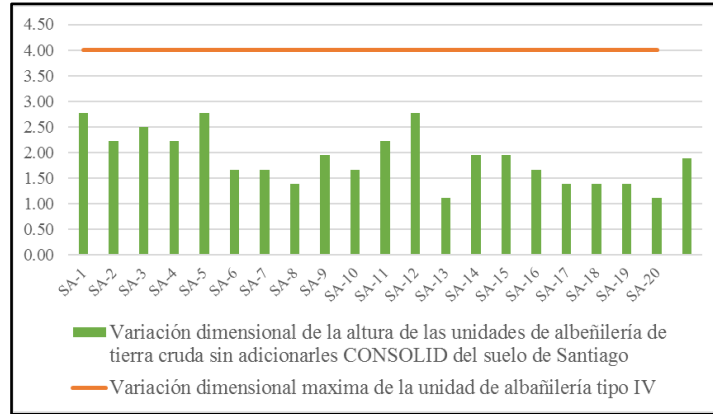
- n es el número de unidades de albañilería de tierra cruda ensayadas.
- A_i es la variación dimensional de cada unidad de albañilería de tierra cruda ensayada.



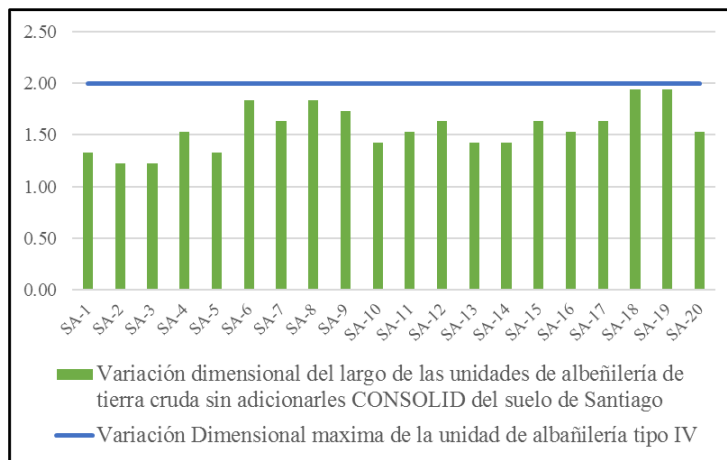
b) Diagramas, tablas:

Tabla 123: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago.

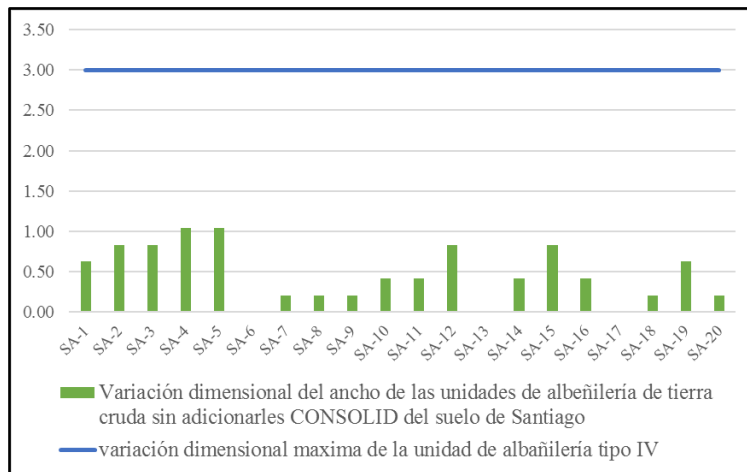
ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %		
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO			
SA-1	242.0	241.0	241.5	242.5	241.75	1.33	120.1	120.8	121.4	121.1	120.75	0.63	92.8	91.2	92.2	93.3	92.50	2.78		
SA-2	242.0	241.0	242.0	242.5	242.00	1.22	120.1	120.6	121.4	121.4	121.00	0.83	91.5	92.6	92.5	91.2	92.00	2.22		
SA-3	242.0	241.5	242.0	242.0	242.00	1.22	120.4	120.8	121.5	121.5	121.00	0.83	92.3	92.7	92.4	91.1	92.25	2.50		
SA-4	241.5	241.0	241.0	241.5	241.25	1.53	120.3	120.9	121.5	121.8	121.25	1.04	91.8	92.6	92.6	91.1	92.00	2.22		
SA-5	242.0	241.0	242.0	242.0	241.75	1.33	120.6	120.8	121.6	121.6	121.25	1.04	92.2	93.0	93.0	91.8	92.50	2.78		
SA-6	241.0	240.0	240.0	241.0	240.50	1.84	119.6	119.6	120.4	120.5	120.00	0.00	91.3	92.3	92.1	90.4	91.50	1.67		
SA-7	240.0	241.0	242.0	241.0	241.00	1.63	120.1	119.7	121.3	120.0	120.25	0.21	91.2	91.4	92.1	90.8	91.50	1.67		
SA-8	239.0	241.0	242.0	240.0	240.50	1.84	120.4	119.3	121.4	119.8	120.25	0.21	91.2	91.4	92.0	90.4	91.25	1.39		
SA-9	241.0	241.0	240.0	241.0	240.75	1.73	120.6	120.0	120.8	119.7	120.25	0.21	91.7	91.9	91.2	91.8	91.75	1.94		
SA-10	240.0	242.0	242.0	242.0	241.50	1.43	120.6	119.7	121.2	120.1	120.50	0.42	91.4	91.4	92.3	90.8	91.50	1.67		
SA-11	242.0	242.0	240.0	241.0	241.25	1.53	120.7	120.2	121.0	119.7	120.50	0.42	92.0	92.3	91.5	92.4	92.00	2.22		
SA-12	240.0	241.0	241.5	241.0	241.00	1.63	121.4	121.1	119.8	121.3	121.00	0.83	91.9	93.3	93.1	91.7	92.50	2.78		
SA-13	241.0	242.0	242.0	241.0	241.50	1.43	119.7	120.4	119.8	119.7	120.00	0.00	90.8	91.4	90.7	90.7	91.00	1.11		
SA-14	241.5	242.0	241.0	241.0	241.50	1.43	121.4	119.3	120.1	121.5	120.50	0.42	91.5	92.1	91.3	91.7	91.75	1.94		
SA-15	240.0	241.0	241.0	242.0	241.00	1.63	121.6	121.8	120.4	120.5	121.00	0.83	92.1	91.6	91.8	91.8	91.75	1.94		
SA-16	241.0	241.0	241.5	241.0	241.25	1.53	120.5	119.8	120.3	121.2	120.50	0.42	92.0	92.2	91.3	90.9	91.50	1.67		
SA-17	242.0	240.0	241.0	241.0	241.00	1.63	119.3	120.0	121.0	119.9	120.00	0.00	91.7	91.5	91.1	90.2	91.25	1.39		
SA-18	241.0	240.0	239.0	241.0	240.25	1.94	119.8	120.3	121.1	119.4	120.25	0.21	91.2	91.5	90.5	91.6	91.25	1.39		
SA-19	240.0	239.0	241.0	240.5	240.25	1.94	120.3	121.0	120.7	120.6	120.75	0.63	91.3	91.3	91.3	91.3	91.25	1.39		
SA-20	240.0	241.0	242.5	241.0	241.25	1.53	120.5	119.6	120.2	120.8	120.25	0.21	91.5	91.3	91.2	90.2	91.00	1.11		
Largo promedio total					241.16	1.57	Ancho promedio total					120.56	0.469	Altura promedio total					91.70	1.89



69(a)



69(b)



69(c)

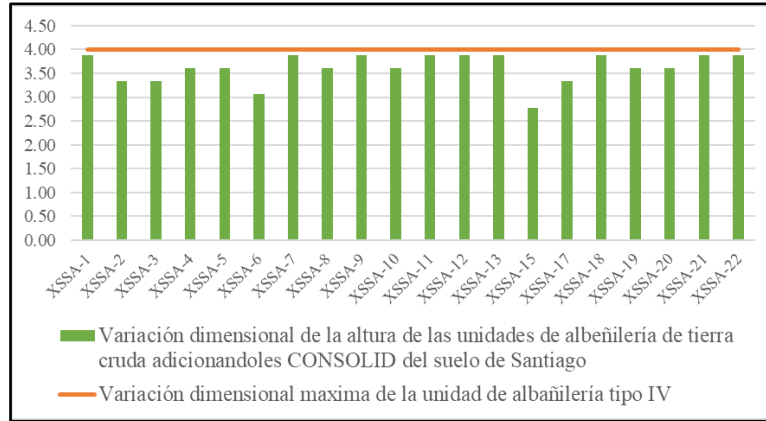
Figura 69: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de Santiago.

a) De la altura, b) Del largo y c) Del ancho.

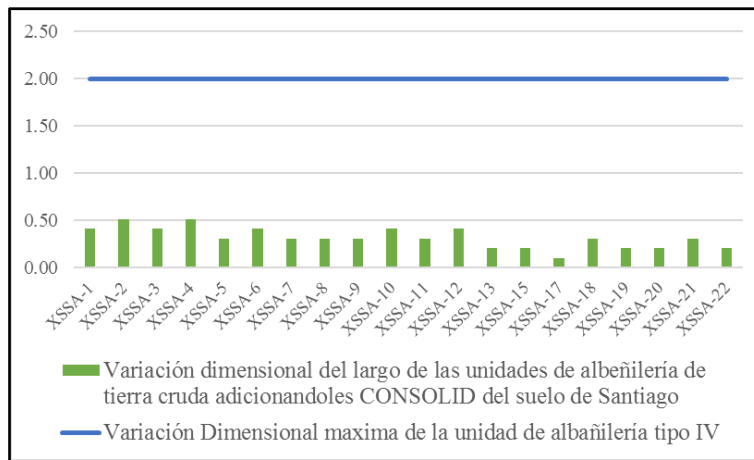


Tabla 124: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago.

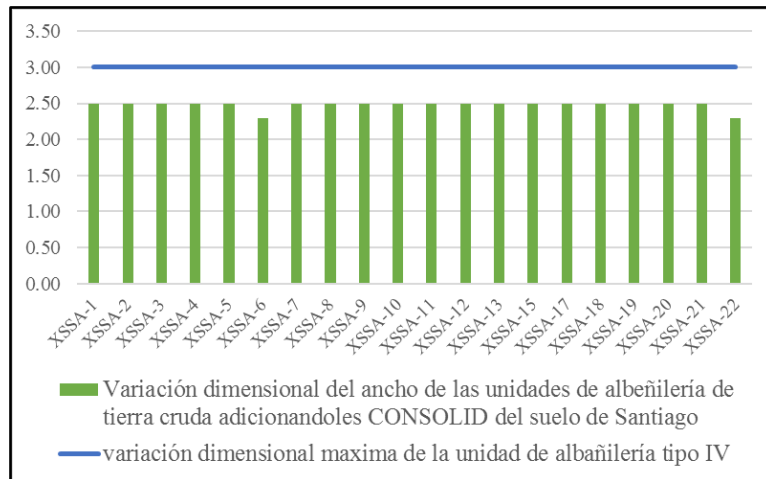
ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO	
XSSA-1	246.0	246.0	246.0	246.0	246.00	0.41	122.80	124.20	123.20	122.20	123.00	2.50	94.4	94.0	92.8	93.1	93.50	3.89
XSSA-2	246.0	246.0	247.0	246.0	246.25	0.51	122.90	123.80	123.40	121.90	123.00	2.50	91.9	92.8	94.0	93.7	93.00	3.33
XSSA-3	246.0	246.0	247.0	245.0	246.00	0.41	121.90	123.80	123.30	122.70	123.00	2.50	91.2	92.6	94.0	93.8	93.00	3.33
XSSA-4	246.0	246.0	248.0	245.0	246.25	0.51	122.80	124.10	123.30	122.00	123.00	2.50	94.3	93.6	92.4	93.0	93.25	3.61
XSSA-5	246.0	246.0	246.0	245.0	245.75	0.31	122.00	123.90	123.00	122.80	123.00	2.50	93.9	93.9	92.6	92.6	93.25	3.61
XSSA-6	246.0	246.0	247.0	245.0	246.00	0.41	122.60	123.70	123.20	121.80	122.75	2.29	93.2	93.2	92.0	92.6	92.75	3.06
XSSA-7	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	0.31	122.80	123.00	124.00	122.00	123.00	2.50	93.2	92.4	94.1	94.0	93.50	3.89
XSSA-8	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	0.31	122.30	123.30	123.80	122.70	123.00	2.50	93.7	93.7	93.0	92.4	93.25	3.61
XSSA-9	246.0	245.0	247.0	245.0	245.75	0.31	122.60	123.10	124.20	122.50	123.00	2.50	94.0	94.0	92.9	93.4	93.50	3.89
XSSA-10	246.0	246.0	246.0	246.0	246.00	0.41	122.00	122.90	124.00	122.70	123.00	2.50	93.5	93.9	93.3	92.1	93.25	3.61
XSSA-11	246.0	246.0	246.0	245.0	245.75	0.31	123.30	122.80	124.00	121.80	123.00	2.50	93.3	92.9	93.8	94.6	93.75	4.17
XSSA-12	245.0	246.0	246.5	246.0	246.00	0.41	122.20	123.30	123.70	122.80	123.00	2.50	93.2	95.4	93.4	93.5	94.00	4.44
XSSA-13	246.0	245.0	246.0	245.0	245.50	0.20	122.90	122.70	122.70	123.30	123.00	2.50	94.0	93.3	92.6	93.9	93.50	3.89
XSSA-15	246.0	245.0	245.5	245.5	245.50	0.20	122.30	123.00	123.60	122.60	123.00	2.50	92.9	92.6	92.8	92.0	92.50	2.78
XSSA-17	245.0	246.0	246.0	244.0	245.25	0.10	123.30	123.00	122.20	123.80	123.00	2.50	92.2	93.2	93.2	93.7	93.00	3.33
XSSA-18	245.0	246.0	246.0	246.0	245.75	0.31	122.90	123.40	122.00	123.50	123.00	2.50	94.1	94.0	92.7	92.9	93.50	3.89
XSSA-19	245.5	246.0	245.0	245.0	245.50	0.20	122.80	123.50	122.90	122.80	123.00	2.50	92.9	93.9	92.4	93.4	93.25	3.61
XSSA-20	245.0	245.5	245.0	246.0	245.50	0.20	123.20	123.10	122.00	123.60	123.00	2.50	93.3	93.8	92.2	93.2	93.25	3.61
XSSA-21	246.0	245.0	246.0	246.0	245.75	0.31	122.50	123.10	123.50	122.80	123.00	2.50	92.9	94.1	92.9	94.0	93.50	3.89
XSSA-22	246.0	245.0	245.0	245.5	245.50	0.20	122.10	123.00	123.50	122.80	122.75	2.29	92.9	94.0	93.8	93.9	93.75	4.17
	Largo promedio total				245.78	0.32	Ancho promedio total				122.98	2.48	Altura promedio total				93.31	3.68



70(a)



70(b)



70(c)

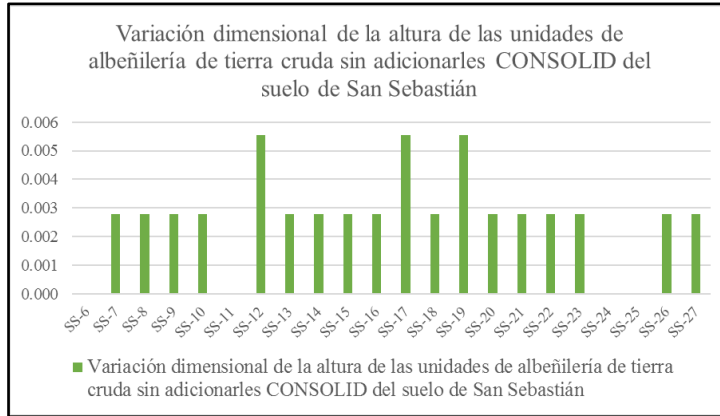
Figura 70: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivos CONSOLID del suelo de Santiago.

a) De la altura, b) Del largo y c) Del ancho.

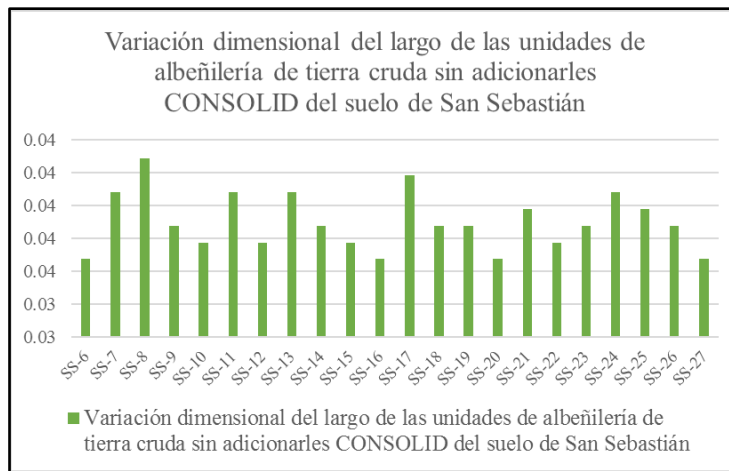


Tabla 125: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián.

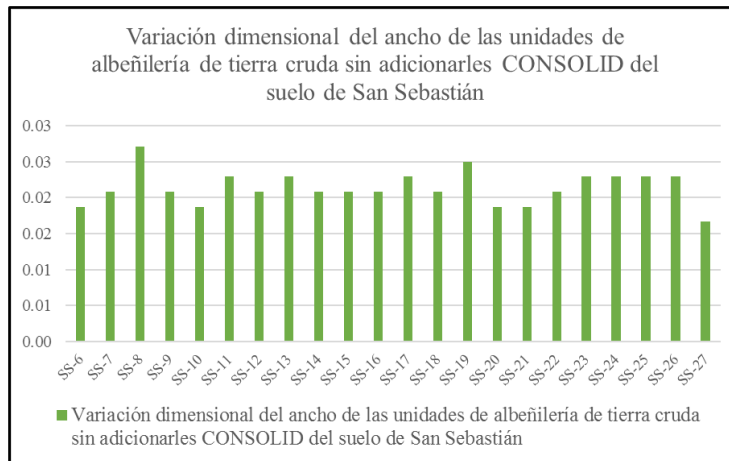
ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO	
SS-6	236.5	236.0	234.0	237.0	236.00	0.04	117.9	117.1	117.9	117.7	117.75	0.02	89.9	90.5	90.4	89.1	90.00	0.000
SS-7	235.0	234.5	234.0	236.0	235.00	0.04	117.8	117.4	117.5	117.3	117.50	0.02	90.1	89.7	90.8	90.2	90.25	0.003
SS-8	235.0	234.0	234.0	235.0	234.50	0.04	117.0	117.4	117.1	115.9	116.75	0.03	89.9	90.8	90.9	89.4	90.25	0.003
SS-9	236.5	234.5	235.0	236.0	235.50	0.04	117.4	117.1	116.8	118.4	117.50	0.02	90.3	90.6	90.5	89.4	90.25	0.003
SS-10	237.0	235.0	235.0	236.0	235.75	0.04	117.9	117.1	117.7	118.0	117.75	0.02	89.9	90.0	91.2	90.0	90.25	0.003
SS-11	235.0	235.0	234.0	236.0	235.00	0.04	117.4	117.5	117.8	116.6	117.25	0.02	90.6	90.4	89.9	89.3	90.00	0.000
SS-12	236.0	235.0	235.0	236.5	235.75	0.04	117.9	117.4	118.0	117.1	117.50	0.02	90.4	90.3	91.0	90.6	90.50	0.006
SS-13	235.0	235.0	233.5	236.0	235.00	0.04	117.1	117.6	117.3	116.8	117.25	0.02	91.3	90.3	90.2	89.6	90.25	0.003
SS-14	236.0	234.5	236.0	235.0	235.50	0.04	116.7	117.7	117.9	117.8	117.50	0.02	90.0	91.1	89.8	90.2	90.25	0.003
SS-15	236.5	235.5	234.0	236.5	235.75	0.04	117.9	117.6	117.8	116.7	117.50	0.02	90.0	90.7	90.8	89.4	90.25	0.003
SS-16	235.5	235.0	236.0	237.0	236.00	0.04	117.4	117.3	116.8	118.1	117.50	0.02	90.4	90.3	89.8	88.4	89.75	0.003
SS-17	235.5	234.5	234.0	235.0	234.75	0.04	117.8	117.2	117.8	116.0	117.25	0.02	90.6	90.1	91.0	90.0	90.50	0.006
SS-18	237.5	235.0	234.5	234.5	235.50	0.04	117.7	117.4	117.1	117.3	117.50	0.02	90.8	90.0	90.6	89.6	90.25	0.003
SS-19	235.0	236.0	235.5	235.0	235.50	0.04	117.5	117.0	116.6	117.1	117.00	0.03	90.1	91.0	90.6	90.3	90.50	0.006
SS-20	236.5	235.0	236.0	236.5	236.00	0.04	117.1	117.4	117.8	118.2	117.75	0.02	90.3	90.7	90.0	89.5	90.25	0.003
SS-21	237.0	234.0	235.0	235.0	235.25	0.04	116.9	117.5	118.3	118.1	117.75	0.02	90.7	91.0	89.8	89.6	90.25	0.003
SS-22	235.5	235.5	236.5	235.0	235.75	0.04	117.8	117.6	116.5	117.7	117.50	0.02	90.2	89.8	91.0	90.0	90.25	0.003
SS-23	236.5	234.5	234.5	236.5	235.50	0.04	118.5	116.7	116.3	117.1	117.25	0.02	89.2	90.9	90.7	90.5	90.25	0.003
SS-24	236.0	235.0	234.0	235.0	235.00	0.04	117.6	117.0	117.3	117.4	117.25	0.02	89.0	90.7	90.0	90.7	90.00	0.000
SS-25	236.5	234.5	235.0	234.5	235.25	0.04	117.5	117.7	116.9	117.0	117.25	0.02	89.8	90.6	90.2	89.5	90.00	0.000
SS-26	236.0	235.0	234.5	236.0	235.50	0.04	116.5	116.9	117.6	117.9	117.25	0.02	89.7	90.2	89.7	89.0	89.75	0.003
SS-27	236.0	237.0	234.5	236.0	236.00	0.04	118.1	117.4	118.0	118.3	118.00	0.02	90.0	91.1	90.7	89.5	90.25	0.003
	Largo promedio total				235.44	0.04	Ancho promedio total				117.43	0.02	Altura promedio total				90.19	0.003



71(a)



71(b)



71(c)

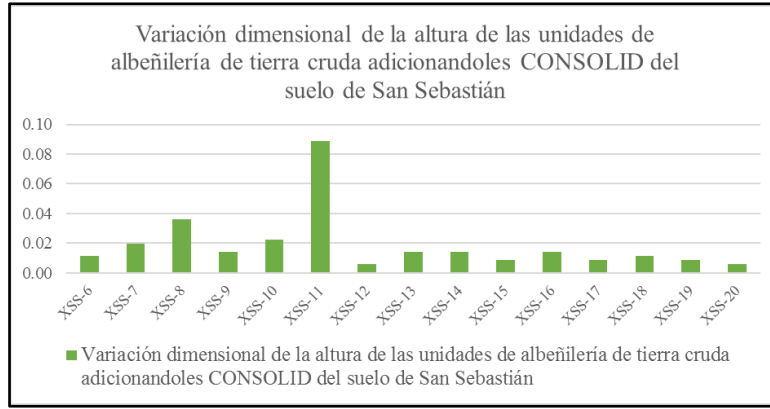
Figura 71: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda sin aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián.

a) De la altura, b) Del largo y c) Del ancho.

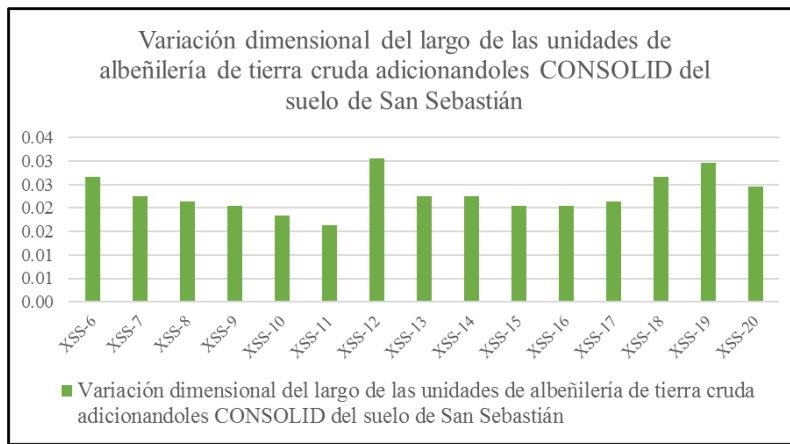


Tabla 126: Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián.

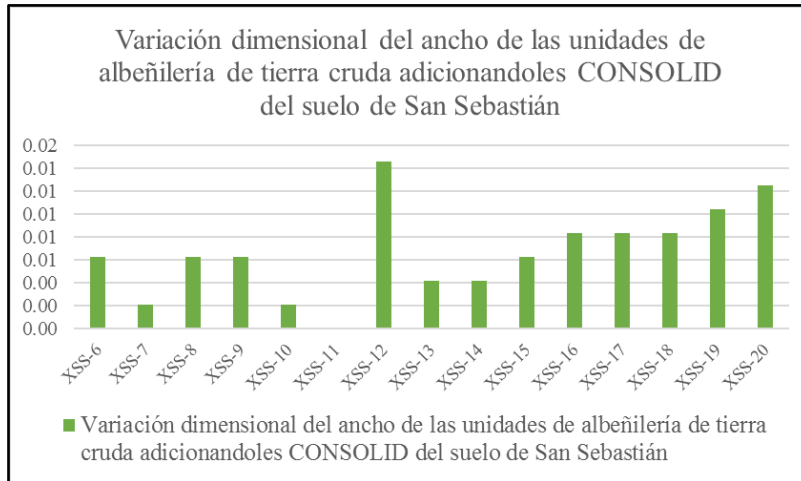
ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO	
XSS-6	238.0	240.0	238.0	238.0	238.50	0.03	119.50	119.00	119.80	118.70	119.25	0.01	91.4	90.0	91.3	91.6	91.00	0.01
XSS-7	240.0	240.0	239.0	239.0	239.50	0.02	120.10	119.70	120.10	119.10	119.75	0.00	91.9	91.4	91.5	91.8	91.75	0.02
XSS-8	239.0	239.0	240.0	240.5	239.75	0.02	118.70	119.00	120.20	118.60	119.25	0.01	93.1	93.6	93.1	93.5	93.25	0.04
XSS-9	240.0	240.5	239.0	240.0	240.00	0.02	119.50	118.90	119.70	118.70	119.25	0.01	91.4	90.5	91.3	91.4	91.25	0.01
XSS-10	240.0	241.5	239.0	241.0	240.50	0.02	120.30	120.00	119.60	119.40	119.75	0.00	92.0	91.5	91.9	92.4	92.00	0.02
XSS-11	241.0	242.0	241.0	240.0	241.00	0.02	120.10	119.50	119.90	120.00	120.00	0.00	98.0	98.5	98.4	97.4	98.00	0.09
XSS-12	236.0	238.5	238.5	236.5	237.50	0.03	118.00	118.00	118.00	118.70	118.25	0.01	90.2	91.0	90.0	90.4	90.50	0.01
XSS-13	240.0	239.0	239.0	239.5	239.50	0.02	119.60	119.30	119.60	119.20	119.50	0.00	90.9	91.7	90.8	91.3	91.25	0.01
XSS-14	239.0	241.0	239.0	239.0	239.50	0.02	120.20	119.60	119.10	118.90	119.50	0.00	91.1	91.3	91.9	90.6	91.25	0.01
XSS-15	240.5	239.0	239.5	241.0	240.00	0.02	119.20	119.70	119.50	118.40	119.25	0.01	91.2	90.5	90.3	91.0	90.75	0.01
XSS-16	240.0	241.0	239.0	240.0	240.00	0.02	119.30	118.60	119.20	118.90	119.00	0.01	91.6	92.2	90.9	90.5	91.25	0.01
XSS-17	240.0	241.0	238.5	239.5	239.75	0.02	119.00	119.20	119.10	118.40	119.00	0.01	90.8	90.8	90.9	90.6	90.75	0.01
XSS-18	238.0	238.0	238.5	239.0	238.50	0.03	119.20	119.30	119.60	118.30	119.00	0.01	90.0	90.8	90.7	92.0	91.00	0.01
XSS-19	238.0	237.5	236.0	239.0	237.75	0.03	118.80	118.10	119.00	119.30	118.75	0.01	91.1	91.5	90.3	89.8	90.75	0.01
XSS-20	238.5	240.0	238.5	238.5	239.00	0.02	118.30	118.00	119.00	118.40	118.50	0.01	90.9	89.3	90.5	90.9	90.50	0.01
XSS-21	238.0	239.0	238.0	240.0	238.75	0.03	118.60	119.00	118.20	118.20	118.50	0.01	90.2	90.8	90.6	91.2	90.75	0.01
XSS-22	238.0	240.0	240.0	238.0	239.00	0.02	118.30	118.20	118.90	117.80	118.25	0.01	90.7	90.1	91.1	91.7	91.00	0.01
XSS-23	238.0	237.5	239.0	237.0	238.00	0.03	117.70	117.80	118.60	117.00	117.75	0.02	90.1	90.7	91.6	90.0	90.50	0.01
XSS-24	235.0	237.0	235.0	235.5	235.75	0.04	117.70	117.00	117.00	116.60	117.00	0.03	90.1	89.0	89.8	89.6	89.75	0.00
XSS-25	239.0	237.0	237.0	240.5	238.50	0.03	118.30	117.80	117.90	117.50	118.00	0.02	90.60	90.20	91.00	89.70	90.50	0.01
	Largo promedio total				239.04	0.02	Ancho promedio total				118.88	0.01	Altura promedio total				91.39	0.02



72(a)



72(b)



72(c)

Figura 72: Grafica de Variación dimensional de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con aditivos CONSOLID del suelo de San Sebastián.

a) De la altura, b) Del largo y c) Del ancho.

**c) Análisis de la prueba:**

las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas y estabilizadas con aditivos CONSOLID fabricadas con el suelo del distrito de Santiago cumplen con los requerimientos de un ladrillo tipo IV según la norma técnica de edificaciones E.070. La variación entre las unidades de albañilería estabilizadas y las no estabilizadas no es significativa pues estas no presentan mucha variación dimensional.

las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas y estabilizadas con aditivos CONSOLID fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián cumplen con los requerimientos de un ladrillo tipo V según la norma técnica de edificaciones E.070. La variación entre las unidades de albañilería estabilizadas y las no estabilizadas no es significativa ya que no presentan mucha variación dimensional. Por lo que no se tendría un mayor grosor de las juntas de mortero y como consecuencia una reducción de la resistencia a la compresión y a fuerza cortante.

3.6.13. Análisis del ensayo de resistencia a la compresión**a) Procesamiento o cálculos de la prueba:**

Para el ensayo de resistencia a la compresión se utilizaron unidades de albañilería secas y con una edad de 28 días.

Para hallar la *resistencia última* se utilizó la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005), en el apartado 8.4. Cálculo e informe.

Ecuación para hallar la resistencia a la compresión.

$$C = W/A$$

Donde:

- C = Resistencia a la compresión del espécimen, MPa.
- W = Máxima carga en N, indicada por la máquina de ensayo.
- A = Promedio del área bruta de las superficies de contacto superior e inferior del espécimen, mm².

Se procedió a realizar el cálculo de la *desviación estándar* y del *coeficiente de variación* con las siguientes formulas:

Se muestra la ecuación para hallar la desviación estándar.

$$S^2 = \frac{\sum(X - \bar{X})^2}{N - 1}$$

Donde:

- X = Valor de cada dato individual.
- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- N = Número de elementos.

Ecuación para hallar el coeficiente de varianza.

$$C.V. = \frac{\bar{X}}{S}$$

Donde:

- \bar{X} = Promedio de todos datos.
- S = desviación estándar.

b) Diagramas, tablas:

Tabla 127: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo Santiago sin aditivo.

ID	Área Prom.	Wu	C.	C. Prom.	Desviación	Coeficiente	fb
Unidad	cm2	kg	kg/cm2	kg/cm2	estandar	variación	kg/cm2
SA-1	291.91	6190	21.205	20.38	1.51	7.42%	18.87
SA-2	292.22	5770	19.746				
SA-3	292.70	5690	19.440				
SA-4	291.67	5740	19.680				
SA-5	293.06	5670	19.347				
SA-6	288.60	5700	19.751				
SA-19-G	288.35	6780	23.513				

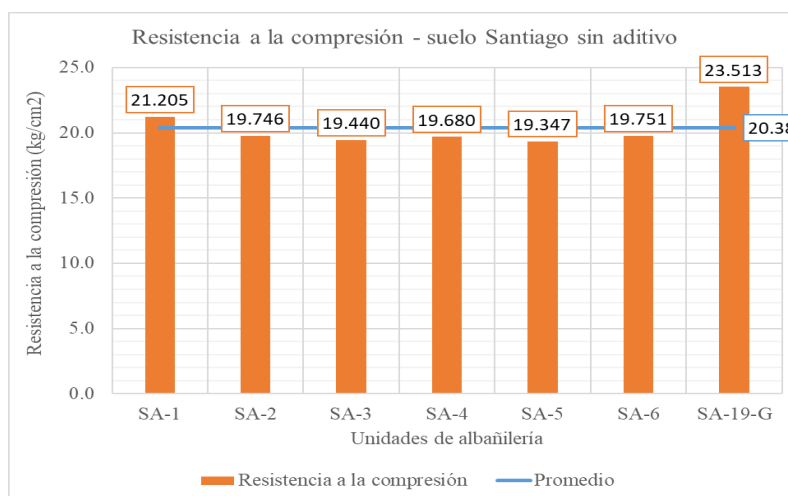


Figura 73: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo Santiago sin aditivo.

Tabla 128: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

ID	Área Prom.	Wu	C.	C. Prom.	Desviación	Coficiente	fb
UNIDAD	cm2	kg	kg/cm2	kg/cm2	estandar	variación	kg/cm2
SA-1	302.58	6050	19.995	21.71	1.10	5.06%	20.61
SA-2	303.57	6690	22.038				
SA-3	302.21	6650	22.004				
SA-4	303.94	6320	20.794				
SA-5	301.35	6880	22.831				
SA-6	302.95	6850	22.611				
23-G	302.14	8670	28.695				
24-G	302.33	7760	25.667				

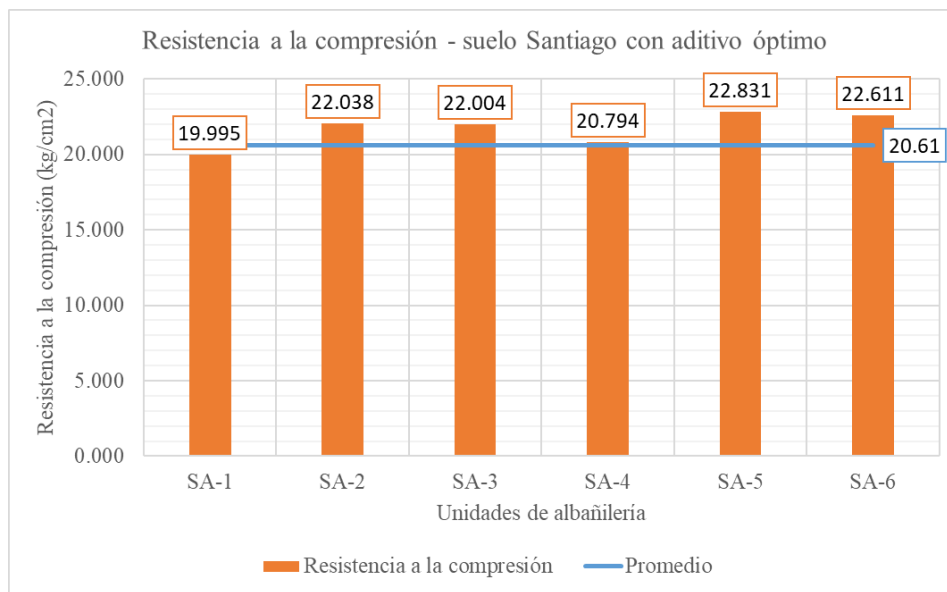


Figura 74: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo Santiago con aditivo óptimo C - 444 y SOLIDRY.

Tabla 129: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián sin aditivo.

ID	Área Prom.	Wu	C.	C. Prom.	Desviación	Coficiente	fb
Unidad	cm2	kg	kg/cm2	kg/cm2	estandar	variación	kg/cm2
SS-1	280.26	9490	33.86	33.06	2.65	8.02%	30.41
SS-2	282.05	8550	30.31				
SS-3	275.54	10410	37.78				
SS-4	279.66	9250	33.08				
SS-5	279.08	8440	30.24				
SS-24	276.01	9510	34.46				
SS-26	275.36	8730	31.70				

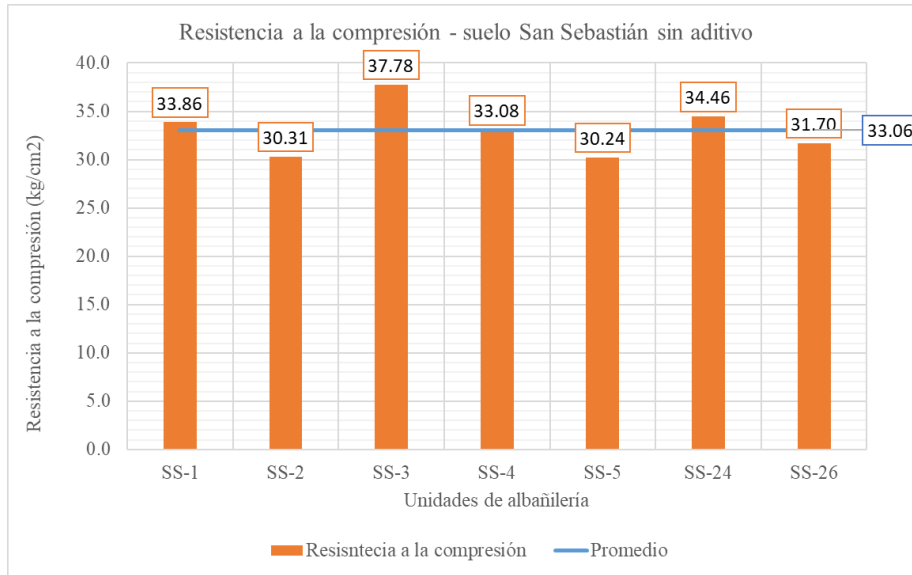


Figura 75: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián sin aditivo.

Tabla 130: Ensayo de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

ID	Área Prom.	Wu	C.	C. Prom.	Desviación	Coefficiente	fb
UNIDAD	cm ²	kg	kg/cm ²	kg/cm ²	estandar	variación	kg/cm ²
XSS-1	283.22	6460	22.809	23.63	1.06	4.47%	22.58
XSS-2	280.25	6670	23.800				
XSS-3	282.62	6320	22.362				
XSS-4	282.63	6590	23.317				
XSS-5	285.60	6600	23.109				
XSS-17	284.83	7040	24.717				
XSS-24	275.77	6980	25.311				

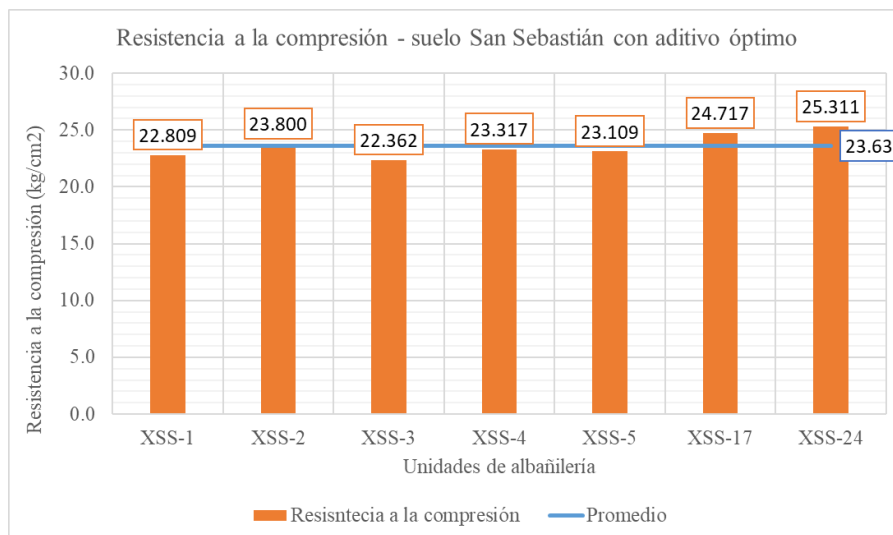


Figura 76: Resultados de resistencia a la compresión – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de resistencia a la compresión se puede decir que:

Para las unidades de albañilería elaboradas con el suelo del distrito de Santiago sin estabilizar se obtuvo el resultado de $f^b = 18.87 \text{ kg/cm}^2$ y un coeficiente de variación de 7.42%. Para las unidades de albañilería estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY, se obtuvo el resultado de $f^b = 20.61 \text{ kg/cm}^2$ y un coeficiente de variación de 5.06%. La diferencia entre ambas unidades, estabilizadas y no estabilizadas, es que las unidades estabilizadas obtuvieron una resistencia superior a los 20 kg/cm^2 (2.0 MPa), y las no estabilizadas se encuentran en un rango inferior a este. Se pudo deducir entonces que los aditivos influyeron en cuanto a la mejora de su resistencia a la compresión.

Por otro lado, para las unidades de albañilería elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián sin estabilizar se obtuvo el resultado de $f^b = 30.41 \text{ kg/cm}^2$ y un coeficiente de variación de 8.02%. Para las unidades de albañilería estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY, se obtuvo el resultado de $f^b = 22.58 \text{ kg/cm}^2$ y un coeficiente de variación de 4.47%. La diferencia entre ambas unidades, estabilizadas y no estabilizadas, es que las unidades estabilizadas obtuvieron una resistencia superior a los 20 kg/cm^2 (2.0 MPa), pero se vieron limitados a una resistencia de 25 kg/cm^2 (2.5 MPa), y las no estabilizadas se encuentran en un rango superior a este, superando los 30 kg/cm^2 (3.0 MPa). Se pudo deducir que el aditivo ha hecho más deficiente su resistencia a la compresión.

3.6.14. Análisis del ensayo de módulo de rotura

a) Procesamiento o cálculos de la prueba:

Para el ensayo de módulo de rotura se utilizaron unidades de albañilería secas y con una edad de 28 días.

Para hallar el *módulo de rotura* se utilizó la ecuación presentada en la NTP 399.613 (2005), en el apartado 7.3. Cálculo e informe.

Ecuación para hallar el módulo de rotura

$$S = 3W \left(\frac{l}{2} - x \right) / bd^2$$

Donde:

- S = Módulo de rotura del espécimen en el plano de falla (kg/cm^2).

- W = Máxima carga aplicada con la máquina de prueba (kg).
- l = Distancia entre apoyos (cm).
- b = Ancho neto (cara a cara menos los huecos) del espécimen en el plano de falla (cm).
- d = Espesor del espécimen en el plano de falla (cm).
- x = Distancia promedio desde el centro del espécimen hacia el plano de falla, medido en la dirección del paño a lo largo de la línea central de la superficie sometida a tensión (cm).

Se procedió a realizar el cálculo de la *desviación estándar* y del *coeficiente de variación* con las siguientes formulas:

b) Diagramas, tablas:

Tabla 131: Ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago sin aditivo.

ID	S	S. Prom.
UNIDAD	kg/cm ²	kg/cm ²
SA-7	8.70	8.34
SA-8	9.12	
SA-9	6.97	
SA-10	8.21	
SA-11	8.72	

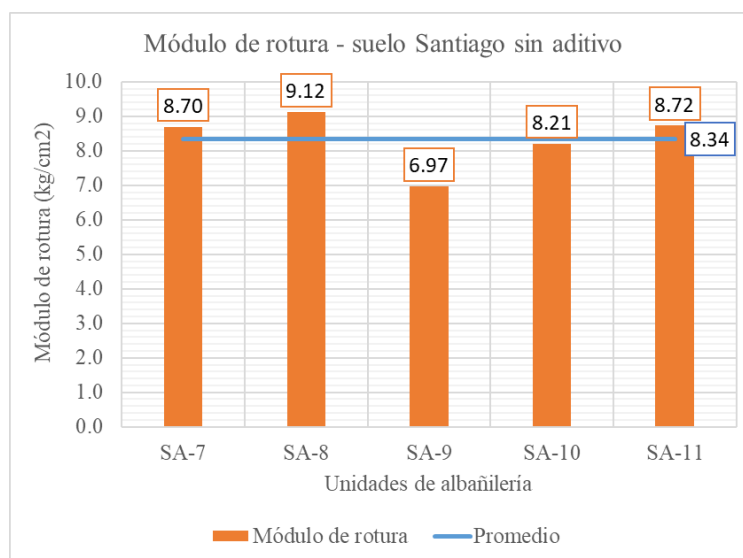


Figura 77: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago sin aditivo.

Tabla 132: Ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

ID	S	S. Prom.
UNIDAD	kg/cm2	kg/cm2
XSA-17	7.18	6.77
XSA-18	9.08	
XSA-22	6.12	
XSA-19	5.49	
XSA-20	4.76	
XSA-21	7.99	

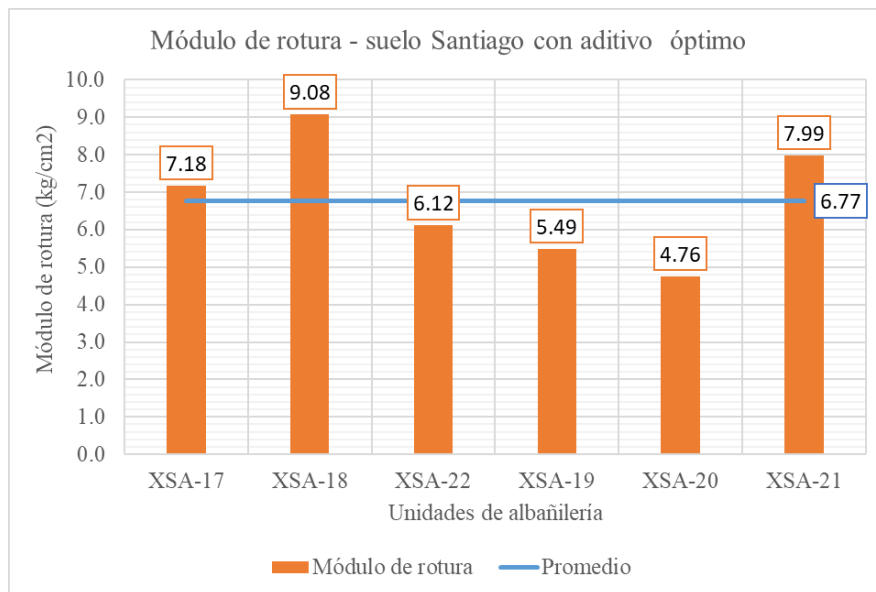


Figura 78: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo Santiago con aditivo C-444 y SOLIDRY.

Tabla 133: Ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián sin aditivo.

ID	S	S. Prom.
UNIDAD	kg/cm2	kg/cm2
SS-11	2.25	3.47
SS-12	3.84	
SS-13	2.55	
SS-14	1.22	
SS-15	4.22	
SS-16	3.57	
SS-23	0.98	
SS-25	5.17	
SS-27	7.39	

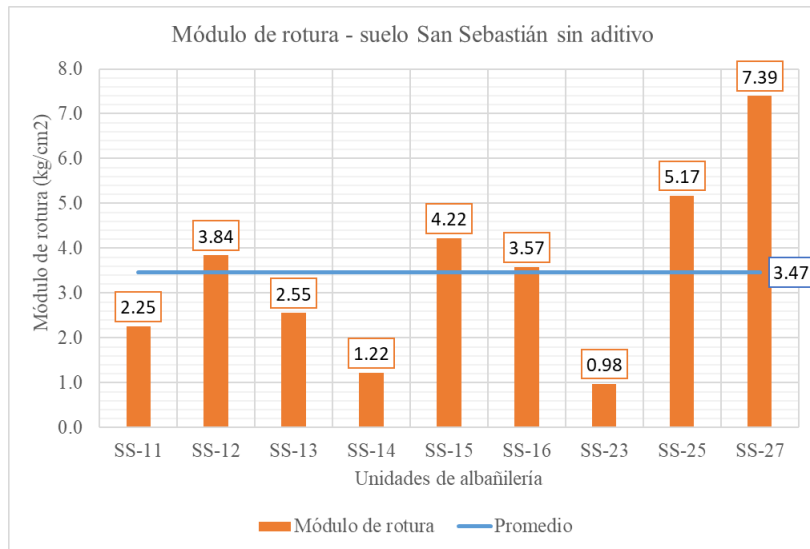


Figura 79: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián sin aditivo.

Tabla 134: Ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián con aditivo óptimo C-444 y SOLIDRY.

ID	S	S. Prom.
UNIDAD	kg/cm ²	kg/cm ²
XSS-10	2.87	4.88
XSS-12	6.67	
XSS-13	2.59	
XSS-14	6.81	
XSS-15	7.24	
XSS-16	4.87	
XSS-25	3.10	

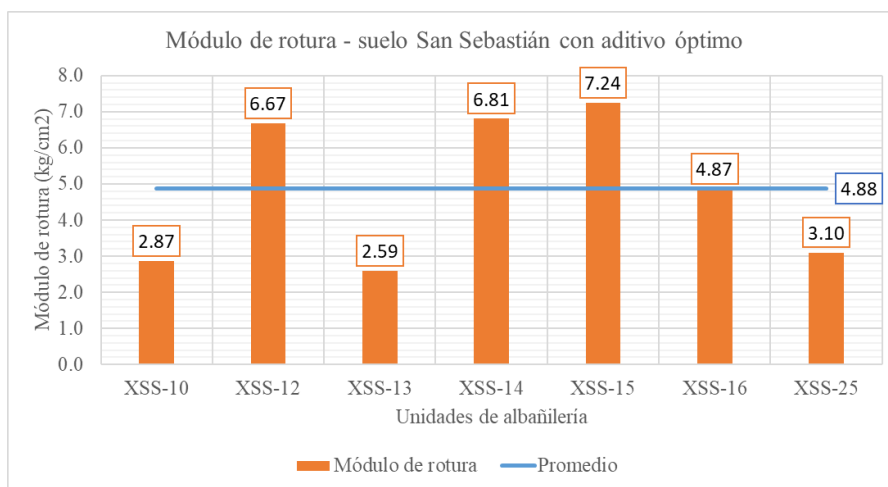


Figura 80: Gráfico resumen de resultados del ensayo de módulo de rotura – Suelo San Sebastián con aditivo C-444 y SOLIDRY.

c) Análisis de la prueba:

Del ensayo de módulo de rotura se obtuvo que:

Para las unidades de albañilería elaboradas con el suelo del distrito de Santiago sin estabilizar se obtuvo el resultado de S promedio = 8.34 kg/cm². Para las unidades de albañilería estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY, se obtuvo el resultado de S promedio = 6.77 kg/cm². La diferencia entre ambas unidades, estabilizadas y no estabilizadas, es que las unidades estabilizadas obtuvieron un valor de módulo de rotura inferior a las no estabilizadas. Se pudo deducir entonces que los aditivos influyeron de manera negativa en cuanto al valor de módulo de rotura.

Por otro lado, para las unidades de albañilería elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián sin estabilizar se obtuvo el resultado de S promedio = 3.47 kg/cm². Para las unidades de albañilería estabilizadas con aditivo C-444 y SOLIDRY, se obtuvo el resultado de S promedio = 4.88 kg/cm². La diferencia entre ambas unidades, estabilizadas y no estabilizadas, es que las unidades estabilizadas obtuvieron un valor de módulo de rotura superior no significativo a las no estabilizadas. Se pudo deducir entonces que los aditivos influyeron de manera positiva en cuanto al valor de módulo de rotura.

Capítulo IV: Resultados

4.1. Resultado de ensayo de suelos

4.1.1. Resultados del ensayo de granulometría

Tabla 135: Porcentaje de material que pasa del análisis granulométrico del suelo de Santiago

Malla	Abertura	Porcentaje que pasa
1"	25.4	100.00
3/4"	19.05	97.03
3/8"	9.5	97.03
1/4"	6.35	95.87
N°4	4.75	94.91
N°8	2.36	92.74
N°16	1.18	92.26
N°30	0.60	86.97
N°50	0.30	83.81
N°100	0.15	71.22
N°200	0.075	60.90

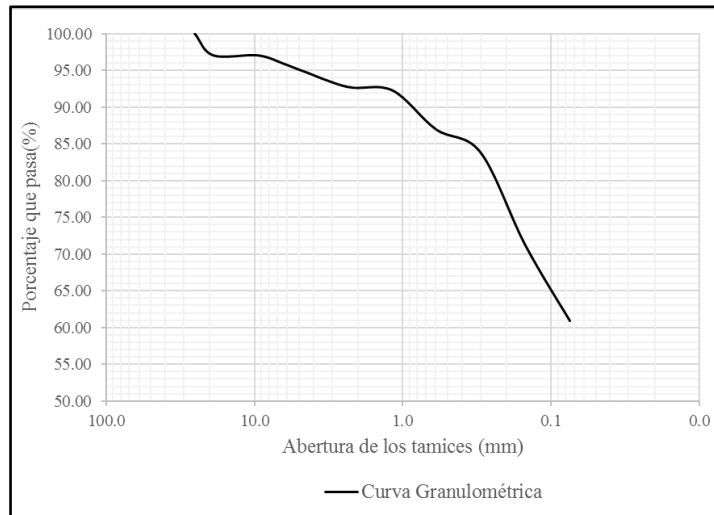


Figura 81: Curva Granulométrica del suelo de Santiago.

Tabla 136: Porcentaje de material que pasa del análisis granulométrico del suelo de San Sebastián

Malla	Abertura	Porcentaje que pasa
1"	25.4	100.00
3/4"	19.05	98.09
3/8"	9.5	98.09
1/4"	6.35	98.09
N°4	4.75	97.71
N°8	2.36	97.12
N°16	1.18	97.00
N°30	0.60	95.51
N°50	0.30	94.60
N°100	0.15	90.30
N°200	0.075	84.29

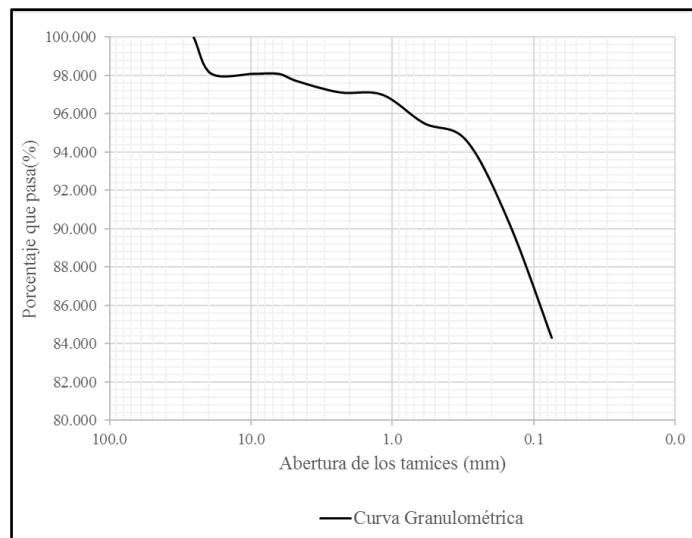


Figura 82: Curva Granulométrica del suelo de San Sebastián.

4.1.2. Resultados del ensayo de límite líquido

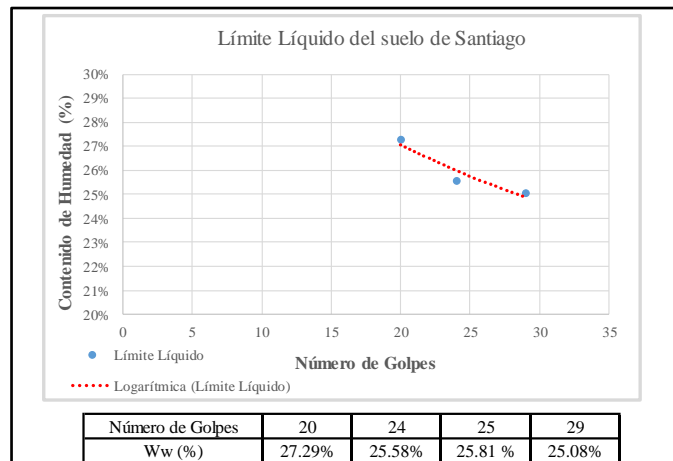


Figura 83: Límite Líquido del suelo de Santiago

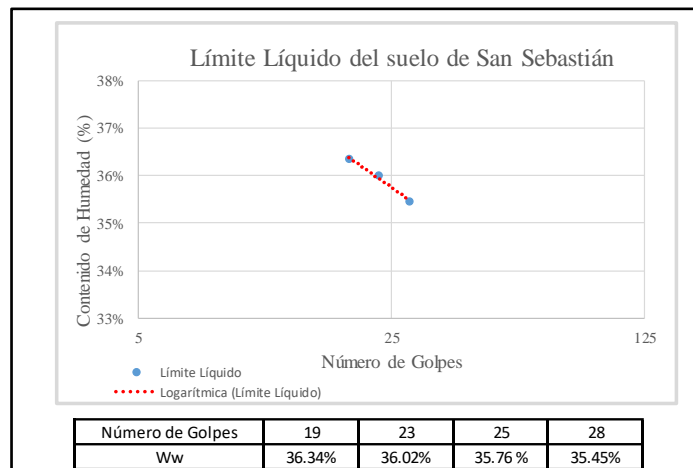


Figura 84: Límite líquido del suelo de San Sebastián

4.1.3. Resultados del ensayo de límite plástico

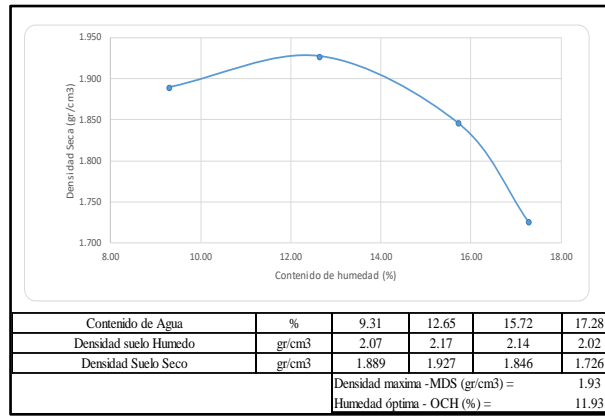
Tabla 137: Límite plástico del suelo de Santiago.

Ww (%)	Promedio
13.54 %	14.46 %
12.90 %	
16.92 %	

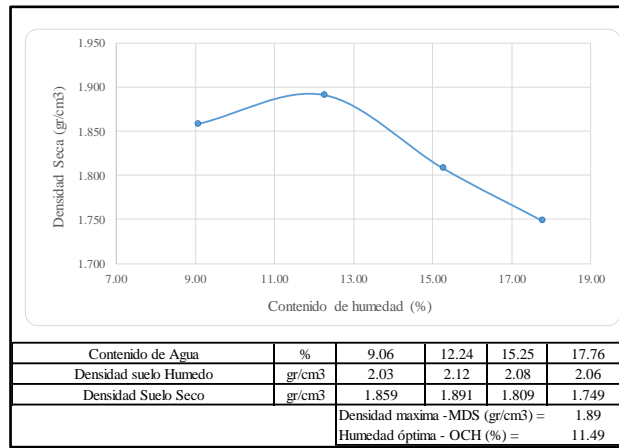
Tabla 138: Límite plástico del suelo de San Sebastián.

Ww	Promedio
17.39 %	15.33 %
13.58 %	
15.02 %	

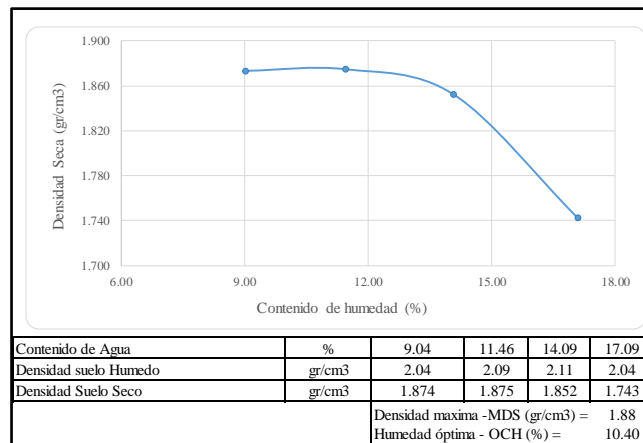
4.1.4. Resultados de los ensayos de Proctor



85(a)



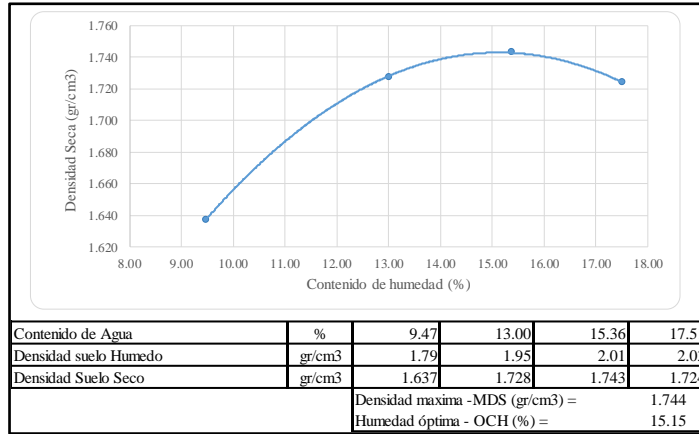
85(b)



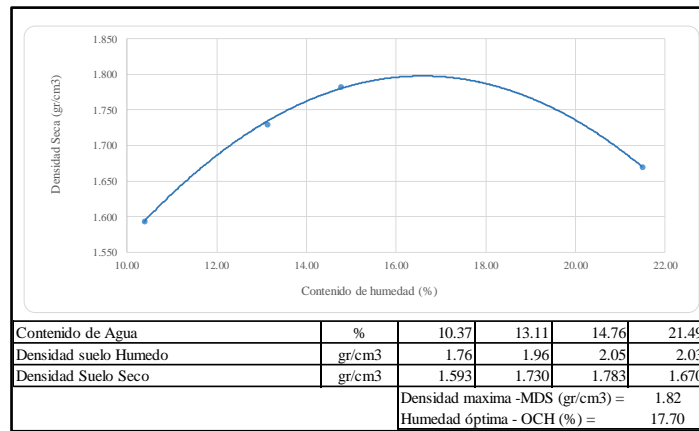
85(c)

Figura 85: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián

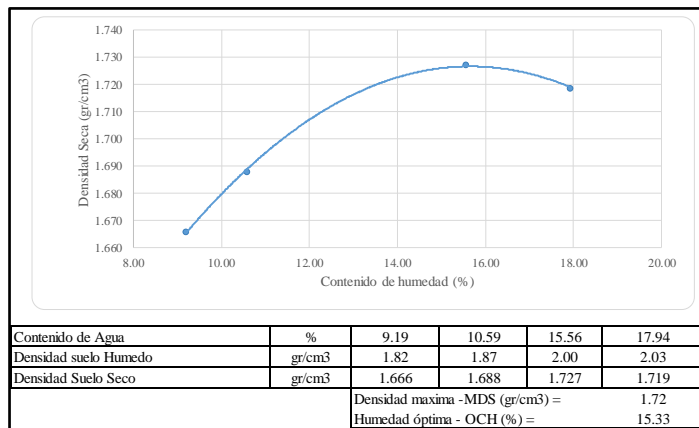
a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo.



86(a)



86(b)



86(c)

Figura 86: Curvas de densidad versus humedad óptima del suelo de San Sebastián

a) Primer ensayo, b) Segundo ensayo y c) Tercer ensayo.

4.2. Resultado de los ensayos a las unidades de albañilería

4.2.1. Resultado de los ensayos para determinar la humedad óptima respecto a la densidad de las unidades de albañilería

Tabla 139: Resultados del ensayo para determinar la humedad óptima respecto a la densidad.

Suelo del distrito de Santiago	
Humedad óptima	Densidad máxima
%	gr/cm ³
19.82	1.64
19.84	1.70
19.99	1.64
Suelo del distrito de San Sebastián	
Humedad óptima	Densidad máxima
%	gr/cm ³
23.52	2.34
23.95	1.47
23.04	1.48

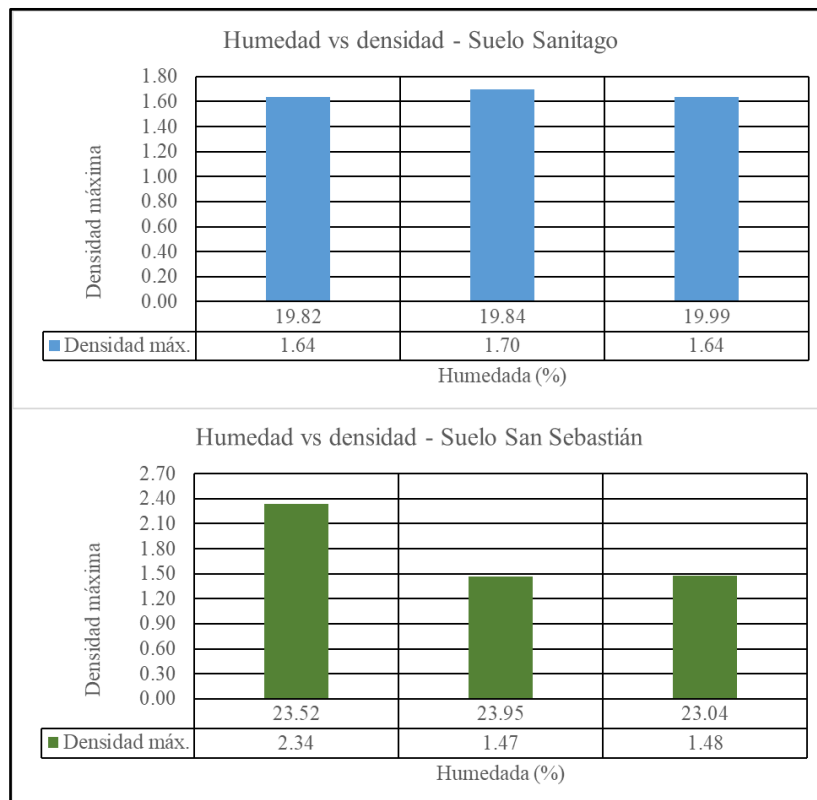


Figura 87: Gráfica resumen de ensayo de humedad vs densidad.

4.2.2. Resultados de los ensayos para determinar la humedad óptima respecto a la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería

Tabla 140: Resultados del ensayo de humedad versus resistencia a la compresión.

	Suelo del distrito de Santiago	
	Humedad	f _b
	%	kg/cm ²
	14.06	8.52
Humedad óptima	19.18	13.30
	22.19	8.23
	Suelo del distrito de San Sebastián	
	Humedad	f _b
	%	kg/cm ²
	18.17	7.70
	Humedad óptima	23.40
	28.10	19.71

4.2.3. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo C-444

Tabla 141: Dosificaciones de aditivo C-444 óptimas.

Distrito	Dosificación	f _b obtenido	Coeficiente
	l/m ³	kg/cm ²	variación
Santiago	2.75	20.73	5.73%
San Sebastián	1.40	26.62	5.35%

4.2.4. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY + C-444

Tabla 142: Dosificaciones de aditivo SOLIDRY óptimo.

Distrito	Dosificación	f _b obtenido	Coeficiente
	kg/m ³	kg/cm ²	variación
Santiago	50.00	23.73	3.57%
San Sebastián	10.00	17.05	6.78%

4.2.5. Resultados de los ensayos de determinación del peso

Tabla 143: Peso de las unidades de albañilería según el ensayo de determinación del peso.

Distrito	Peso promedio
	gr
Santiago sin aditivo	5144.50
Santiago con aditivo	5138.00
San Sebastián sin aditivo	4905.70
San Sebastián con aditivo	4799.40

4.2.6. Resultados de los ensayos de alabeo

Tabla 144: Resumen de resultados del ensayo de alabeo

Distrito	Alabeo (mm)
Santiago sin aditivo	2
Santiago con aditivo	1.5
San Sebastián sin aditivo	3
San Sebastián con aditivo	2

4.2.7. Resultados de los ensayos de absorción

Tabla 145: Resumen de resultados del ensayo de absorción.

Distrito	Absorción Promedio	Coefficiente
	%	variación
Santiago sin aditivo	-	-
Santiago con aditivo	10.13	12.51%
San Sebastián sin aditivo	-	-
San Sebastián con aditivo	-	-

4.2.8. Resultados de los ensayos de succión

Tabla 146: Resumen de resultados del ensayo de succión.

Distrito	Succión promedio	Coefficiente
	gr/200cm ² -min	variación
Santiago sin aditivo	-	-
Santiago con aditivo	21.28	17.76%
San Sebastián sin aditivo	-	-
San Sebastián con aditivo	-	-

4.2.9. Resultados de los ensayos de variación dimensional

Tabla 147: Resumen de resultados del ensayo de variación dimensional.

Distrito	Variación dimensional (%)		
	largo	ancho	altura
Santiago sin aditivo	1.57	0.47	1.89
Santiago con aditivo	0.32	2.48	3.68
San Sebastián sin aditivo	0.04	0.02	0.003
San Sebastián con aditivo	0.02	0.01	0.02

4.2.10. Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión

Tabla 148: Resultado del ensayo de resistencia a la compresión.

Distrito	Sin aditivo	Aditivo C-444	Aditivo SOLIDRY	Con aditivo	Mejora
	f _b (kg/cm ²)	l/m ³	kg/m ³	f _b (kg/cm ²)	f _b (kg/cm ²)
Santiago	18.87	2.75	50	20.61	SI
San Sebastián	30.41	1.40	10	22.58	NO

4.2.11. Resultados de los ensayos de módulo de rotura

Tabla 149: Resultado del ensayo de módulo de rotura.

Distrito	Sin aditivo	Aditivo C-444	Aditivo SOLIDRY	Con aditivo	Mejora
	S (kg/cm ²)	l/m ³	kg/m ³	S (kg/cm ²)	S (kg/cm ²)
Santiago	8.34	2.75	50	6.77	NO
San Sebastián	3.47	1.40	10	4.88	SI



Capítulo V: Discusión

Discusión N° 1

¿Por qué no se utilizó el contenido de humedad óptimo obtenido mediante el ensayo de Proctor para la elaboración de unidades de albañilería?

Mediante el ensayo Proctor se pudo evidenciar que la humedad óptima está relacionada con la máxima densidad seca, a un mayor contenido óptimo de humedad corresponde una menor densidad seca máxima. Se ratificó cuando se realizaron los ensayos de contenido de humedad con respecto a la densidad en las unidades. Este fenómeno se dio debido a la cantidad de material fino para ambos suelos. La máquina no tiene una cámara de vacíos que permita la reducción de la densidad en las unidades.

Para la elaboración de las unidades no se utilizó el contenido de humedad óptimo hallado mediante los ensayos de Proctor ya que dichos contenidos estaban diseñados para una energía de compactación estandarizada para carreteras y dicha energía compactación no se asemejaba a la energía usada por la prensa manual marca FORZA. Otra causa fue la humedad óptima encontrada mediante el ensayo Proctor que no permitió una adecuada trabajabilidad del suelo, lo que conllevó a que en el proceso de compactado de material para la elaboración de las unidades se realice de manera deficiente, dejando cantidades significativas de poros y vacíos, haciendo que la unidad se desmorone con el simple manipuleo.

Es así que propusimos adaptar el ensayo Proctor al contexto en el cual se fabricaban las unidades de albañilería. Haciendo uso de la prensa manual marca FORZA, se elaboraron unidades con diferentes porcentajes de humedad, y compactándolas tratando de usar la misma energía, ya que no se podía controlar la presión de carga de la prensa manual. Posteriormente se utilizó el mismo método del ensayo de proctor para hallar el contenido de humedad óptimo. Para respaldar los resultados se elaboraron unidades con los mismos porcentajes de humedad, pero esta vez las unidades fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión.

Tras haber realizado ambos ensayos se designó los contenidos de humedad óptimos para la elaboración de las unidades. Como se puede apreciar en las tablas N° 139 y N° 140.



Discusión N° 2

Del uso de los aditivos:

Aditivo C-444

- Se utilizó 2.75 l/m^3 de aditivo C-444 para elaborar las unidades de albañilería de tierra cruda con el suelo del distrito de Santiago, debido a que los resultados de resistencia a la compresión para esta dosificación demostraban estaba a la par con las dosificaciones más altas a esta y demostraba una tendencia más estable, sin cambios bruscos y predecible, tal como se puede observar en la figura 52.
- Se utilizó 1.40 l/m^3 de aditivo C-444 para elaborar las unidades de albañilería de tierra cruda con el suelo del distrito de San Sebastián, debido a que los resultados de resistencia a la compresión para esta dosificación no variaron respecto a las otras dosificaciones utilizadas, las diferencias en los resultados oscilan entre los $\pm 2 \text{ kg/cm}^2$ los 28 días de edad, tal como se observa en la figura 54.

Aditivo SOLIDRY

- Se utilizó 50 kg/m^3 de aditivo SOLIDRY para elaborar las unidades de albañilería de tierra cruda con el suelo de Santiago, debido a que los resultados del ensayo de resistencia a la compresión demostraron que el incremento de dosificación de aditivo SOLIDRY influía significativamente en la resistencia a la compresión incrementándola, tal como se observa en la figura 56.
- Se utilizó 10 kg/m^3 de aditivo SOLIDRY para elaborar las unidades de albañilería de tierra cruda con el suelo de San Sebastián, debido a que los resultados del ensayo de resistencia a la compresión demostraron que el incremento de dosificación de aditivo SOLIDRY afectaba significativamente a la resistencia a la compresión disminuyéndola, tal como se observa en la figura 58.

Discusión N° 3

¿Por qué se utilizó de 1% a 2% más de agua con respecto al contenido de humedad óptima al elaborar las unidades de albañilería de tierra con los suelos de los distritos de Santiago y San Sebastián cuando se comenzó a dosificar el aditivo SOLIDRY?

Según el protocolo de aplicación del sistema CONSOLID (2011), el componente en polvo SOLIDRY incrementa el valor de contenido de humedad óptima del suelo. En la práctica, al tratar de implementar el aditivo SOLIDRY, nos vimos en la necesidad de incrementar el valor

del contenido de humedad óptimo a cada suelo en rangos de 1% a 2%, ya que el aditivo afectaba considerablemente la trabajabilidad del suelo para la elaboración de las unidades y su compactación.

Discusión N° 4

¿Los aditivos C-444 y SOLIDRY tuvieron el comportamiento esperado en las unidades de albañilería estabilizadas?

Según la teoría del sistema CONSOLID, se esperaba que el aditivo C-444 incrementara las propiedades mecánicas de la unidad y que el aditivo SOLIDRY mejore las propiedades físicas de la unidad, en especial su sensibilidad al agua. Mencionado esto se concluyó que:

Tabla 150: Comparación de las propiedades estabilizadas y no estabilizadas

Propiedad	Sin aditivos	Con aditivos
Peso Ver tabla 143	Se obtiene el peso	Disminuye el peso respecto a las unidades sin estabilizar, pero no significativamente.
Alabeo Ver tabla 144	Algunas deformaciones en la unidad, en su mayoría convexidad.	Estas deformaciones se ven reducidas debido a que el aditivo SOLIDRY incrementa los límites de contracción del suelo.
Variación dimensional Ver tabla 147	Las variaciones en las medidas de largo, ancho y largo son despreciables.	Las variaciones en las medidas de largo, ancho y largo son despreciables, pero en menor porcentaje que sin aditivo.
Absorción Ver tabla 145	Las unidades comenzaron a desmoronarse y desintegrarse pasado los primeros 10 minutos de la sumersión.	Las unidades elaboradas con el suelo de Santiago mantuvieron su integridad casi en su totalidad, desprendiéndose sólo pequeñas partes de este.
Succión Ver tabla 146	Las unidades se desmoronaron en la cara de contacto con el agua, dando como resultado valores negativos.	Las unidades elaboradas con el suelo de Santiago mantuvieron su integridad en su totalidad.
Resistencia a la compresión Ver tabla 148	Se obtuvo una resistencia a la compresión $f_b = 18.87 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de Santiago y $f_b = 30.41 \text{ kg/cm}^2$.	Se obtuvo una resistencia a la compresión de $f_b = 20.61 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de Santiago, denotando un incremento no tan sustancial y se obtuvo $f_b = 22.58 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de San Sebastián denotando un decremento en su resistencia significativa.
Módulo de rotura Ver tabla 149	Se obtuvo un módulo de rotura $S = 8.34 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de Santiago y $S = 3.47 \text{ kg/cm}^2$.	Se obtuvo un módulo de rotura de $S = 6.77 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de Santiago, el cual denota un decremento no significativo y un $S = 4.88 \text{ kg/cm}^2$ para el suelo de San Sebastián, denotando un incremento no significativo.



Discusión N° 5

¿Las unidades de albañilería de tierra cruda elaboradas con el suelo de las zonas de Huancaro del distrito de Santiago y Wimpillay del distrito de San Sebastián, estabilizadas con sistema CONSOLID son mejores que los adobes tradicionales?

Para la comparación con los adobes tradicionales, se recurrió a la norma E.080 (2017) vigente, donde las únicas propiedades a ser evaluadas son las de resistencia a la compresión y módulo de rotura. Para ambos casos, tanto de las unidades de albañilería del distrito de Santiago y San Sebastián, estabilizadas con sistema CONSOLID han demostrado superar el valor mínimo de resistencia a la compresión del adobe (10 kg/cm^2) ya que los valores de resistencia para la zona de Huancaro y Wimpillay son $f^b = 20.61 \text{ kg/cm}^2$ y $f^b = 22.58 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente (ver tabla 145). En cuanto a su módulo de rotura, la norma E.080 especifica el valor de 0.81 kg/cm^2 como valor mínimo, es así que, tanto las unidades de Santiago y San Sebastián superan este valor mínimo con creces, siendo los módulos de rotura $S = 6.77 \text{ kg/cm}^2$ y $S = 4.88 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente.

Discusión N° 6

¿Por qué las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID no alcanzaron la resistencia a la compresión necesaria para ser clasificadas como ladrillos tipo I de acuerdo a la tabla N° 1 de la norma E.070 (2006) de albañilería?

Los factores que tuvieron mayor incidencia en la baja resistencia a la compresión de las unidades de albañilería evaluadas fueron las siguientes:

- Material no seleccionado (sin control de los porcentajes de arena y finos).
- Tipo de fabricación: artesanal.
- Energía de compactación: Se necesita una mayor energía de compactación para la elaboración de las unidades.
- Tiempo de compactación: según la teoría del sistema CONSOLID es recomendable que la compactación suceda en tiempos prolongados.

Discusión N° 7

¿Por qué las unidades de albañilería de tierra cruda fabricadas con el suelo de San Sebastián estabilizadas con el sistema CONSOLID se desmoronaron al momento de realizar los ensayos de absorción y succión?

Las unidades de albañilería de tierra cruda fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con el sistema CONSOLID se desmoronan debido a la insuficiente cantidad de aditivo SOLIDRY utilizado (10 kg/cm^3), dicha dosificación se empleó debido a que las dosificaciones superiores ocasionaron una disminución significativa en la resistencia a compresión de las unidades de albañilería. Se realizaron ensayos a unidades de albañilería elaboradas con el suelo de San Sebastián con dosificaciones de 30 y 50 kg/m^3 (ver anexo 4), donde se demuestra que al incrementar las dosificaciones de SOLIDRY se reduce considerablemente la sensibilidad al agua, mejorando su calidad para soportar la erosión provocada por el agua.

Discusión N° 8

¿Cómo se clasificarán las unidades de albañilería de tierra estabilizadas con sistema CONSOLID, elaboradas con el suelo de las zonas de Huancaro del distrito de Santiago y Wimpillay del distrito de San Sebastián según la norma ITINTEC 331.017?

Las unidades de albañilería estabilizadas con sistema CONSOLID se clasificaron según la norma ITINTEC 331.017, de la siguiente manera en la tabla 151:

Tabla 151: Clasificación de las unidades de albañilería estabilizadas

Clasificación según la norma ITINTEC 331.017				
Ensayos clasificatorios	Santiago		San Sebastián	
	Valor	Tipo	Valor	Tipo
Alabeo	1.5 mm	V	2 mm	V
Varación dimensional				
- Largo (24.5 cm)	0.32%	V	0.02%	V
- Ancho (12.5 cm)	2.48%	IV	0.01%	V
- Alto (9 cm)	3.68%	IV	0.02%	V
Resistencia a la compresión	20.61	NP	22.58	NP
Clasificación:	NP		NP	
Otros Ensayos	Santiago		San Sebastián	
	Valor	Tipo	Valor	Tipo
Succión	21.28%	V	-	-
Absorción	10.13%	V	-	-
Módulo de rotura	6.77	I	4.88	-

Las unidades de albañilería estabilizadas se clasificarían como bloques no portantes, ya que llegan a una resistencia a la compresión mínima de 20 kg/cm^2 .



Puede que la resistencia a la compresión sea baja para la norma ITINTEC 331.017, pero para la norma E.080 (2017) y según Tejada, Moromi y Red Habitierra al tener un valor de resistencia a la compresión igual a 20.61 o 22.58 kg/cm² (superior a 12 kg/cm²) representa una unidad de resistencia buena y apta para la construcción.

Discusión N° 9

De la elaboración de unidades a partir del material seleccionado.

En la presente investigación se demostró que se pueden elaborar unidades de albañilería con cualquier tipo de suelo, mientras éste contenga al menos un 20% de agregado fino (en su mayoría arcillas). Con esta proporción, será más probable obtener unidades con una resistencia a la compresión mínima de 20 kg/cm² y lograr un módulo de rotura superior al del adobe convencional.

También, se pueden obtener unidades de albañilería resistentes a la erosión causada por el agua, debido al uso del componente en polvo SOLIDRY, con el cual se controla el coeficiente de succión y el porcentaje de absorción.

Con los resultados hallados se podrán desarrollar futuras investigaciones relacionadas a la estabilización de las unidades de albañilería de tierra cruda con aditivos CONSOLID, usando material seleccionado, es decir, con porcentajes adecuados de arena y de material fino (1/3 piedra triturada, 1/3 de arena y 1/3 finos según el manual de CONSOLID de España)

Discusión N° 10

¿Cómo afectó el aditivo SOLIDRY a los límites de contracción al suelo de la zona de Wimpillay?

Al elaborar las unidades de albañilería con el suelo de la zona Wimpillay, por efecto de contracción por secado se presentaron grietas de dimensiones superiores a las permisibles debido a la gran pérdida de agua que éstas sufrían por estar expuestas al aire libre bajo techo (ver figura 88), las grietas se vieron reducidas en tamaño cuando se empleó el aditivo SOLIDRY, debido a que dicho aditivo mejora el comportamiento del suelo.

Las grietas de gran tamaño sólo se presentaron en las unidades elaboradas con el suelo de la zona de Wimpillay.



Figura 88: Grietas de gran tamaño en las unidades de albañilería elaboradas con el suelo de Wimpillay, distrito de San Sebastián

Discusión N° 11

¿Las unidades de albañilería de tierra cruda fabricados con los suelos de la zona de Huancaro del distrito de Santiago y la zona de Wimpillay del distrito de San Sebastián, permitirán su asentado en distintos aparejos?

Las unidades de albañilería de tierra cruda fabricados con los suelos de la zona de Huancaro del distrito de Santiago y la zona de Wimpillay del distrito de San Sebastián, permitirán el aparejo tipo sogá donde la dimensión más larga del ladrillo será la dirección del muro, en caso el asentado se realice con las unidades de albañilería de tierra cruda fabricados con los suelos de la zona de Huancaro del distrito de Santiago y la zona de Wimpillay del distrito de San Sebastián el ancho del muro sería de 12 cm. De igual manera las unidades permitirán el aparejo tipo tizón donde el ancho del muro es igual a la dimensión más larga de la unidad, en nuestro caso el ancho del muro sería de 24.5 cm.



Glosario

Aditivo: Son componentes que bien pueden ser orgánicas o inorgánicas, cuyo objetivo es el de modificar las propiedades físicas conglomerantes en un estado fresco. Estos aditivos pueden ser presentados en forma de líquido, como el aditivo C-444, y en forma de polvo, como el aditivo SOLIDRY.

Adobe: Unidad de albañilería de tierra cruda, masa de barro secada al aire.

Alabeo: Se refiere a la presencia de bordes o superficies que presentan convexidad y/o concavidad.

Área bruta: Es aquella superficie de la cara de apoyo de la unidad de albañilería, está incluye el área de perforaciones y huecos que pueda presentar la unidad.

Bloque: Es la unidad de albañilería que es manejable con las dos manos.

Cohesión: Es la cualidad que poseen las partículas de suelo para poder mantenerse unidad en virtud de sus fuerzas internas actuantes.

Compactación: Es el proceso por el cual, se ejerce una carga sobre algún material para incrementar el contacto de las partículas, eliminado el aire en los poros.

Compresión: Acción en la cual se aplica una carga constante o ascendente, a una velocidad constante hacia un objeto o material.

Concavidad: Parte que se asemeja a la zona interior de una circunferencia, en otras palabras, posee una parte hundida.

Convexidad: Es aquella parte que se asemeja al exterior de una circunferencia, es decir, tiene una parte sobresaliente.

Densidad: Se refiere a la cantidad de masa que ocupa un material por cada unidad cúbica.

Empírico: Que se basa en la experiencia.

Extrusión: Proceso por el cual se elaboran materiales de sección transversal definida. Ya que el material es expulsado a través de un troquel de sección deseada.

Humedad: Se refiere al agua, o cualquier fluido, que pueda contener un material dentro de sus poros.

Ladrillo: Unidad de albañilería que puede ser manipulada con solo una mano.

Peso seco: Es el peso de un material que no contiene humedad.



Resistencia a la compresión: Es la propiedad de un material que mide la resistencia de una carga por unidad de área cuadrada.

Succión: Propiedad por la cual un material tiene la capacidad de absorber un fluido.

Tracción: Esfuerzo interno al que se somete a un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas en sentido opuesto, por lo general tiene a esturar el material y separarlo en dos.

Unidad de albañilería: Son unidades que sirven para la construcción de albañilería, tanto confinada, reforzada y simple.

Unidad: Ladrillo o bloque, puede ser de tierra, cal, cemento, arcilla, etc.

Variación dimensional: Es la relación directa con el espesor de las juntas, por lo tanto, afecta la altura de las hiladas.

Magnitud Momento (M_w): compara y mide la energía total que se libera en un sismo a través de una escala logarítmica.

Material Anisotrópico: es aquel material que no tiene las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones, en cada punto del cuerpo. Esta sustancia tiene 21 constantes elásticas.

Material Heterogéneo: es aquel material que no presenta las mismas propiedades elásticas, tales como módulo de elasticidad y coeficiente de poisson. Está compuesto por elementos diferentes.

Conclusiones

Conclusión N° 1

Se logró demostrar parcialmente la hipótesis general que indica que: **“Las unidades de albañilería de tierra cruda fabricadas con tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, estabilizadas con las dosificaciones óptimas de aditivo del sistema CONSOLID cumplirán con los requerimientos establecidos en la norma E.070 y E.080”.**

Las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID elaboradas con el suelo de la zona de Huancaro, distrito de Santiago cumplen con los requerimientos de la norma E.070 y E.080 en cuanto a alabeo, variación dimensional, resistencia a la compresión, módulo de rotura, succión y absorción. Del mismo modo las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con sistema CONSOLID elaboradas con el suelo de la zona de Wimpillay, distrito de San Sebastián cumplen con los requerimientos de la norma E.070 y E.080 en cuanto a Alabeo, Variación dimensional, resistencia a la compresión y módulo de rotura, mas no así en cuanto a las propiedades de absorción y succión, tal como se muestra en las tablas 154 y 155.

Tabla 152: Comparación de las propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de Santiago con las normas E.070 y E.080

Ensayos clasificatorios	Valores máximos		Datos	¿Cumple?
	Norma E.070	Norma E.080		
Alabeo	2 mm		1.5 mm	Si
Varación dimensional				
- Largo (24.5 cm)	TIPO V $\pm 1.00\%$		0.32%	Si
- Ancho (12.5 cm)	TIPO V $\pm 2.00\%$		2.48%	Si
- Alto (9 cm)	TIPO IV $\pm 4.00\%$		3.68%	Si
Resistencia a la compresión	Bloque NP < 20 kg/cm ²	10 kg/cm ²	20.61 kg/cm ²	Si
Succión	-		21.28 gr/200cm ² -min	-
Absorción	22.00%		10.13%	Si
Módulo de rotura	-	0.81 kg/cm ²	6.77	Si

Tabla 153: Comparación de las propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián con las normas E.070 y E.080

Ensayos clasificatorios	Valores máximos		Datos	¿Cumple?
	Norma E.070	Norma E.080		
Alabeo	2 mm		2 mm	2 mm
Variación dimensional				
- Largo (24.5 cm)	TIPO V $\pm 1.00\%$		0.50%	Si
- Ancho (12.5 cm)	TIPO V $\pm 2.00\%$		0.63%	Si
- Alto (9 cm)	TIPO V $\pm 3.00\%$		1.87%	Si
Resistencia a la compresión	Bloque NP < 20 kg/cm ²	10 kg/cm ²	22.58	Si
Succión	-		-	-
Absorción	22.00%		-	No
Módulo de rotura	-	0.81 kg/cm ²	4.88	Si

Conclusión N° 2

Se logró demostrar la sub hipótesis N° 1 que indica: **“El porcentaje de humedad óptima para la elaboración y manipuleo de las unidades de albañilería de tierra cruda de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, se encontrará entre los límites plástico y líquido, característicos de cada suelo”**.

El contenido de humedad necesario para la elaboración de las unidades no coincidió con los obtenidos mediante los ensayos Proctor ya que, con estos últimos se dificultaba la trabajabilidad del suelo al momento de la elaboración de las unidades. Por lo tanto, fue necesario hallar un nuevo contenido de humedad óptimo, por lo que se adaptó el ensayo de Proctor a las necesidades del contexto de la elaboración de la unidad, reemplazando la energía del pisón de Proctor con la energía de compactación de la máquina prensa manual marca FORZA. Para esto, se realizó el ensayo adaptado con diferentes porcentajes de humedad tomando como límite inferior el límite plástico (LP) y como límite superior el límite líquido (LL).

Para el suelo de Santiago, el límite inferior LP = 14.46% y límite superior LL = 25.81%. Se realizó el ensayo con los siguientes porcentajes de humedad: 14.06, 19.18 y 22.19%, y se obtuvo el contenido de humedad óptimo de 19.18% que permitió una trabajabilidad y densidad óptima.

Para el suelo de San Sebastián, el límite inferior LP = 15.33% y límite superior LL = 35.76%. Se realizó el ensayo con los siguientes porcentajes de humedad: 18.17, 23.40 y 28.10%, y se obtuvo el contenido de humedad óptimo de 23.40% que permitió una trabajabilidad y densidad óptima. Ambos porcentajes de humedad óptima se encontraron dentro de los límites de LP y LL.



Conclusión N° 3

Se logró demostrar parcialmente la sub hipótesis N° 2 que indica: **“La dosificación óptima de aditivo C-444 que mejorará la propiedad de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, está en el rango de 1.4 l/m³ a 5.50 l/m³”.**

Las dosificaciones planteadas de aditivo C-444 fueron de 1.4, 2.75, 4.15 y 5.50 l/m³. Estos valores fueron escogidos a partir de la dosificación mínima sugerida del manual de CONSOLID de España (ver anexo 3).

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el suelo de Huancaro del distrito de Santiago estabilizados con aditivo C-444 se vieron incrementados, pero no de manera significativa en contraste a las unidades sin estabilizar. Con la dosificación de 2.75 l/m³ se obtuvieron valores de f^b de 15.73, 22.02 y 20.73 kg/cm² a los 7, 21 y 28 días de edad, respectivamente.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el suelo de Wimpillay del distrito de San Sebastián estabilizados con aditivo C-444 se vieron de igual manera incrementados, pero no de manera significativa en contraste a las unidades sin estabilizar. Motivo por el cual se escogió la dosificación de 1.40 l/m³, con la que se obtuvieron valores de f^b de 12.15, 15.37 y 26.62 kg/cm² a los 7, 21 y 28 días de edad, respectivamente.

Con estas dosificaciones se demostró tener un adecuado y eficiente comportamiento en los ensayos de resistencia a la compresión y una tendencia estable a lo largo del tiempo en ambos suelos.

Conclusión N° 4

Se logró demostrar parcialmente la sub hipótesis N° 3 que indica: **“La dosificación óptima de aditivo SOLIDRY que mejorará la propiedad de resistencia a la compresión de las unidades de albañilería de tierra cruda de los distritos de San Sebastián y Santiago, está en el rango de 10 kg/m³ a 50 kg/m³”.**

Una vez obtenidas las dosificaciones de aditivo C-444, tanto para Huancaro con 2.75 l/m³ y Wimpillay con 1.40 l/m³, se procedió dosificar el aditivo SOLIDRY. Se utilizó cantidades en torno a la aplicación sugerida en el manual de CONSOLID de España en dosificaciones de 10, 30 y 50 kg/m³.



Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el suelo de Huancaro del distrito de Santiago estabilizados con aditivo SOLIDRY (50 kg/m^3) + C-444 (2.57 l/m^3) se vieron incrementados de manera significativa en contraste a las unidades sin estabilizar y respecto a las otras dos dosificaciones de 10 y 30 kg/m^3 . Con dosificación de 50 kg/m^3 se obtuvieron valores de f'_b de 21.63, 23.31 y 23.73 kg/cm^2 a los 7, 21 y 28 días de edad respectivamente. Con esta dosificación se demostró tener un adecuado y eficiente comportamiento en los de resistencia a la compresión.

Para el suelo de Wimpillay, del distrito de San Sebastián, los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de las unidades estabilizadas con aditivo SOLIDRY (10 kg/m^3) + C-444 (1.40 l/m^3) se vieron afectados negativamente respecto a las unidades estabilizadas solo con aditivo C-444, pero superiores a los resultados hallados con las otras dosificaciones. Con la dosificación de 10 kg/m^3 se obtuvieron valores de f'_b de 11.74, 17.23 y 17.05 kg/cm^2 a los 7, 21 y 28 días de edad, respectivamente. Dicha dosificación fue la que menos afectó la propiedad de resistencia a la compresión en comparación de las otras dosificaciones. Posteriormente se evaluó como influyó este aditivo en sus propiedades físicas.

Conclusión N° 5

Se logró demostrar parcialmente la sub hipótesis N° 4 que indica que: **“Las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda estabilizadas con las dosificaciones óptimas del sistema CONSOLID, serán mejores en contraste a las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda no estabilizadas, fabricadas con tierra de las zonas de Wimpillay del distrito de San Sebastián y Huancaro del distrito de Santiago, de la ciudad de Cusco, para ambos casos.**

Las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo de la zona de Huancaro del distrito de Santiago estabilizadas con el sistema CONSOLID, han demostrado tener mejoras significativas respecto a las unidades no estabilizadas, tal como se muestra en la tabla 152.

Las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo de la zona de Wimpillay del distrito de San Sebastián estabilizadas con el sistema CONSOLID, han demostrado tener resultados disímiles, tal como se muestra en la tabla 153.

De acuerdo a lo que se observa en las tablas 152 y 153, se comenta lo siguiente:

- Alabeo: Según Bartolomé (2005), a menor alabeo y variación dimensional, existirá una mayor uniformidad del grosor de la junta de mortero, por ende, no presentará una reducción en la resistencia a la compresión y fuerza cortante.
- Resistencia a la compresión: Según la norma E.080 (2017), una resistencia superior a 1.2 MPa (12 kg/cm²) es una resistencia buena.
- Succión: Ángel San Bartolomé, indica que la succión debe estar comprendida entre 10 a 20 gr/200cm²-min al instante de asentar el muro. Si en caso presentara una succión alta, estas al asentarse secas absorberían rápidamente el agua del mortero endureciéndolo y disminuyendo la resistencia al corte.
- Absorción: Se evidencia que las unidades de albañilería estabilizada son resistentes a la erosión, ocasionada por el agua. San Bartolomé, (2005) indica que cuanto menos sea el valor de absorción, la unidad será menos porosa y, por tanto, más resistente al intemperismo.
- Módulo de rotura: un módulo de rotura superior a 0.81 kg/cm² es un valor aceptable según la norma E.080 (2017).

Tabla 154: Comparación de propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de Santiago

Ensayos clasificatorios	Zona de Huancaro, distrito de Santiago		
	No estabilizada	Estabilizada	¿Mejora?
Alabeo	2 mm	1.5 mm	Si
Varación dimensional			
- Largo (24.5 cm)	1.57%	0.32%	Si
- Ancho (12.5 cm)	0.44%	2.48%	No
- Alto (9 cm)	1.89%	3.68%	No
Resistencia a la compresión	18.87 kg/cm ²	20.61 kg/cm ²	Si
Succión	-	21.28 gr/200cm ² -min	Si
Absorción	-	10.13%	Si
Módulo de rotura	8.34 kg/cm ²	6.77 kg/cm ²	No

Tabla 155: Comparación de propiedades de las unidades elaboradas con el suelo del distrito de San Sebastián



Ensayos clasificatorios	Zona de Wimpillay, distrito de San Sebastián		
	No estabilizada	Estabilizada	¿Mejora?
Alabeo	3 mm	2 mm	Si
Varación dimensional			
- Largo (24.5 cm)	0.04%	0.02%	Si
- Ancho (12.5 cm)	0.02%	0.01%	Si
- Alto (9 cm)	0.00%	0.02%	No
Resistencia a la compresión	30.41 kg/cm ²	22.58 kg/cm ²	No
Succión	-	-	-
Absorción	-	-	No
Módulo de rotura	3.47 kg/cm ²	4.88 kg/cm ²	Si

Respecto a las unidades elaboradas con el suelo de la zona de Wimpillay, se puede decir que tras la estabilización con los aditivos se redujo su sensibilidad al agua. Es decir, mientras que en los ensayos de succión y absorción las unidades sin estabilizar perdían gran cantidad de material, las unidades que si fueron estabilizadas demostraron obtener menor sensibilidad manteniendo su integridad de mejor manera.



Recomendaciones

Recomendación N° 1

Se recomienda utilizar esta unidad de albañilería de tierra cruda con los suelos inorgánicos de baja comprensibilidad estabilizada con sistema CONSOLID como alternativa al adobe, porque las propiedades de resistencia a la compresión, módulo de rotura son mayores a los estipulados en la norma E.080 del Reglamento Nacional de Edificaciones y mejora sus propiedades físicas como alabeo, variación dimensional, absorción y succión, a la vez este material es de carácter ecológico, reusable y de fácil elaboración.

Se recomienda utilizar un enlucido o revoque en los muros elaborados con las unidades de albañilería de tierra cruda con los suelos inorgánicos de mediana comprensibilidad estabilizada con sistema CONSOLID, debido a que dichas unidades a un son vulnerables a la erosión causada por el agua, esto se evidencio en los ensayos de succión y absorción. Así mismo, se recomienda la fabricación de las unidades, debido a que no requieren de mano calificada para su fabricación y utilización.

Recomendación N° 2

Se recomienda utilizar máquinas de compactación calibradas que permitan evaluar la energía transmitida, para que de esta manera se pueda desarrollar un análisis integral, y graficar con precisión las curvas de resistencia a la compresión de una unidad de albañilería de tierra cruda en relación a la humedad, y encontrar su contenido de humedad óptimo para su elaboración.

Recomendación N° 3

Se recomienda el uso de aditivo C-444 a 2.75 l/m^3 en suelos conformados por arcillas inorgánicas de baja compresibilidad utilizados para elaborar unidades de albañilería de tierra cruda, ya que dicha dosificación demuestra incrementar las propiedades de resistencia a la compresión, alabeo, succión y absorción. Es importante la utilización de ambos productos del sistema CONSOLID (C-444 + SOLIDRY) ya que estos trabajan en conjunto.

Recomendación N° 4

Se recomienda el uso de aditivo SOLIDRY con dosificación de 50 kg/m^3 en suelos conformados por arcillas inorgánicas de baja compresibilidad utilizados para elaborar unidades de albañilería de tierra cruda, debido a que mejora las propiedades de alabeo, absorción, succión, resistencia a la compresión. A sí mismo, se recomienda el uso de aditivo SOLIDRY con valores superiores



a 10 kg/m^3 en suelos conformado por arcillas inorgánicas de media compresibilidad utilizados para elaborar unidades de albañilería de tierra cruda, debido a que valores inferiores o iguales a 10 kg/m^3 no incrementan las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería de tierra cruda.

Recomendación N° 5

Se recomienda el uso de las unidades de albañilería de tierra cruda, fabricados con suelos arcillosos inorgánicos de baja compresibilidad estabilizadas con aditivos CONSOLID, en muros no portantes, en especial en cercos perimétricos, ya que estos son resistentes a la erosión ocasionada por el agua, quedando demostrado en los ensayos de absorción y succión, cumpliendo con las recomendaciones dadas por el ingeniero San Bartolomé. Y a la vez teniendo una resistencia mínima de 20 kg/cm^2 . Se recomienda el uso de unidades de albañilería de tierra cruda, fabricados con suelos arcillosos inorgánicos de mediana compresibilidad estabilizadas con aditivos CONSOLID, ya que presentan mejores valores de resistencia a la compresión y modulo de rotura que los indicados en la norma E.080, utilizando algún revoque o enlucido para su impermeabilización.



Referencias Bibliográficas

- Aguirre, J. J., & Prado, M. (2012). *"ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE EN LA VÍA CUICOCHA-APUELA DEL KM 32 AL KM 38, CANTÓN COTACACHI, PROVINCIA DE IMBABURA, UTILIZANDO EL SISTEMA CONSOLID"*. QUITO: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Badillo, J., & Rodríguez, R. (2011). *Mecánica de Suelos*. México: LIMUSA.
- Behar Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la investigación*. Buenos Aires: Shalom.
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil*. Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL LATINO AMERICANA, S.A.
- CERESIS. (2008). *El Terremoto de Pisco-Perú 15 de Agosto de 2007*. Limas: UNESCO.
- Consolid Productos Viales, S. (2011). Presentación del Sistema CONSOLID. *Presentación del Sistema CONSOLID, 2011, 9*.
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- García Sanchez, I. M. (2010). *Sistema de evaluación*. Salamanca: Universidad de Salamanca.
- Kontiki. (2017). *Protocolo para la fabricación de ladrillos ecológicos de bajo costo y altamente resistentes a la humedad y erosión, utilizando material de la zona, estabiilizado con aditivos ecológicos en el departamento de Cusco*. Cusco: INOVATE.
- Ministerio de la producción. (2010). *Guía de Buenas Prácticas para Ladrilleras Artesanales*. Lima: El Peruano.
- MTC. (2000). *Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo*. Lima, Perú: Estado Peruano.
- MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales*. Lima: El Peruano.
- M-VCS. (2010). *Edificaciones Antisísmicas de ADOBE*. Lima.
- *Norma E.070*. (2006). Lima, Perú: El Peruano.
- *Norma E.080*. (2017). Lima, Perú: El Peruano.



- NTP 399.613 (1 ed.). (2005). Lima: INDECOPI.
- PACC, E. &. (s.f.). *Consolid Spain*. Obtenido de http://consolidspain.es/mediapool/83/838887/data/Ponencia_Lleida/Presentacion_CONSOLID_en_Lleida_rev08feb2011_1_.pdf
- PRAL, P. R. (2009). *DETRÁS DE LOS LADRILLOS: una gestión integral para el sector informal*. Lima- Perú: Región del Cusco.
- Rodriguez , J., & Guardia, G. M. (2012). *Mecánica de Suelos*. Lima: WH editores.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2016). *Metodología de la Investigación* (Vol. VI). México: McGraw-Hill.
- San Bartolome Ramos, A. F. (2008). *COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 "ALBAÑILERÍA"*. Lima: SENCICO.
- San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de Albañilería - Comportamiento sísmico y diseño estructural*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Saroza, B., Rodríguez, M. A., Menéndez, J. M., & Barroso, I. .. (2008). *Study of the resistance to simple compression from adobe produced with various soils from Crescencio Valdés, Villa Clara, Cuba*. Cuba: Informes de la construcción.
- Tarque, N., Crowley, H., Varum, H., & Pinho, R. (2008). *Parámetros estructurales de las viviendas de adobe (Cusco, Perú) para la evaluación del desempeño sísmico*. UNESCO: Cusco.
- TECNOAMBIENTE, S. (28 de Enero de 2010). *Test de germinación y crecimiento en plantas (OECD-208)*. Obtenido de Estudio toxicológico: <http://www.globalenvironmentdevelopment.net/consolid/pdf/testecologico.pdf>
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México: Limusa.

Anexos

Anexo 1. Panel fotográfico

Extracción de material



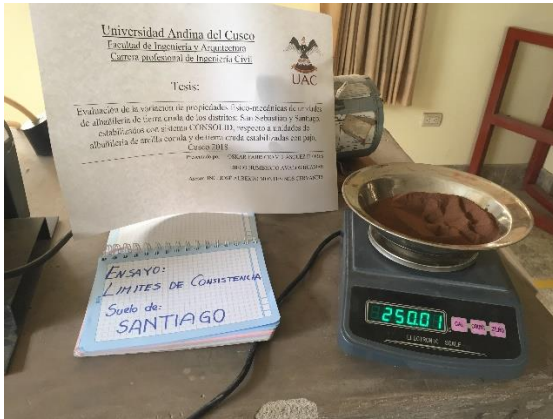
Instalación de a máquina compresora de ladrillos marca FORZA



Ensayos de granulometría



Ensayo de límites de consistencia



Ensayo de proctor modificado





Elaboración de las unidades de albañilería







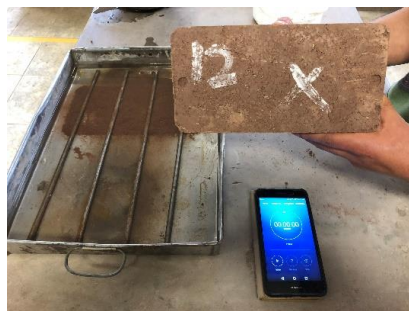
Ensayo de alabeo



Ensayo de variación dimensional



Ensayo de succión



Ensayo de absorción



Ensayo de resistencia a la compresión



Ensayo de módulo de rotura



**Anexo 2: Ficha técnica los aditivos C-444 y SOLIDRY**

Ficha técnica del aditivo CONSOLID concentrado

CONSOLID 444 CONCENTRADO

Líquido semi viscoso, formado por la mezcla de monómeros y polímeros catalizadores, aceleradores de la penetración.

Tabla N°1 Identificación de Sustancias

Nombre Comercial del Producto	CONSOLID 444 CONCENTRADO
-------------------------------	--------------------------

Tabla N°2 Características Físicas

Agua	82%
Tensioactivo catiónico	10%
Iniciador/catalizador	8%

Tabla N°3 Caracterización química de CONSOLID concentrado

Compuesto	%
Compuesto de amonio cuaternario	25 - 25
Amina Grasa	Oct - 25
Acido fórmico	2.5 - 10
Otras aminas grasas	2.5 - 10
Xileno Alcalino	2.5

Tabla N°4 Características técnicas de CONSOLID 444 CONCENTRADO

Características	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	Líquido
Color	-	Amarillo
Olor	-	Característico
Punto de Inflamación	°C	41
Presión de Vapor a 20°C	hPa	23
Densidad	g/cm ³	0.98-1.00
Solubilidad en agua	-	Completa
Valor pH (100g/l) a 20°C	-	4.5 - 5

Dosificación de CONSOLID a mezclar con las tierras: de 0.8 a 1.0 litro por m³.



Ficha técnica del aditivo SOLIDRY

SOLIDRY CONCENTRADO

Polvo granulado formado por la mezcla de catalizadores e intercambiadores iónicos

Tabla N°1 Identificación de Sustancias

Nombre Comercial del Producto	SOLID39RY CONC
Nombre Químico	Mezcla de tensoactivos catiónicos

Tabla N°2 Características Físicas

Cemento	60%
Cal Hidratada	35%
Polímeros no tóxicos	5%

Tabla N°3 Caracterización química de SOLIDRY concentrado

Compuesto	%
Alquimia grasa	25 - 100
Ester di-alquílico de tri-etanol amonio metil sulfato	25 - 100
2 Propanol	5 - 100

Tabla N°4 Características técnicas de CONSOLID 444 CONCENTRADO

Características técnicas	UM	Valor Nominal
Aspecto	-	Sólido
Color	-	Amarillento
Olor	-	Similar a las aminas
Valor pH (a 50 g/l H ₂ O) (50°C)	-	9 - oct
Punto de fusión	°C	50 - 52
Punto de Inflamación en copa cerrada	°C	> 170
Densidad (75°C)	g/cm ³	0.858
Viscosidad dinámica (75°C)	mPa.s	< 100
Solubilidad en agua (20°C)	-	Insoluble
Solubilidad en Isopropanol (55°C)	g/L	50

Dosificación SOLIDRY a mezclar con las tierras: de 16 a 20 kilos por m³.

Fuente: Sistema CONSOLID – Estabilización, impermeabilización y compactación de suelos
– Servicios generales Rimco E.I.R.L.

Anexo 3: Manual del sistema CONSOLID de España

Aplicación

La mezcla del suelo con los aditivos del Sistema CONSOLID puede realizarse en el mismo lugar de la aplicación. Sin embargo el Sistema brinda la posibilidad de mezclar los productos y el suelo a tratar en cualquier tipo de planta mezcladora y ser almacenado en espera de su demanda.

Para que la aplicación sea totalmente satisfactoria, hay que tener en cuenta la composición del suelo a estabilizar, la mejor composición para un muy buen resultado es:

- 1/3 arcilla y limo
- 1/3 arena y pequeña grava
- 1/3 piedras trituradas
- El suelo debe contener, al menos, del 20% al 25% de arcilla

La forma más común de aplicación consiste en el mezclado en el mismo lugar de la construcción.

Primero se acostumbra a desmenuzar o remover el terreno a una profundidad de 25 cm y luego se aplica el SOLIDRY. La dosis a aplicar es de 12 a 20 kgs/m³, siendo la estándar de 16 kgs/m³. Se mezcla todo bien hasta obtener una buena homogenización del terreno. Luego se aplica el CONSOLID Líquido también a una profundidad de 25 cm. La dosis a aplicar es de 0,6 a 0,8 litros/m³, siendo la estándar de 0,8 litros/m³.

Ejemplo de carretera con ancho=8,00 m – espesor=0,25 m– y largo=1000,00 m	
Clasificación del suelo (método A.A.S.H.T.O)	A - 4 (5)
Peso específico máximo Kg./m ³	2040
Humedad óptima	-
-	1
1% Humedad natural del suelo extraído en el campo	8
,2%	
Humedad requerida en campo	11% - 8,2%=2,8%
Volumen del suelo	8,00m X 0,25m x 1000,00m = 2000 m ³
Ejemplo de carretera con ancho=8,00 m – espesor=0,25 m– y largo=1000,00 m	
Cantidad de Consolid 444 Liq (tratamiento 0,25m)	0,8 litros/m ³ x 2000 m ³ = 1600 litros
Cantidad de Solidry (tratamiento 0,25m)	16 kgs/m ³ x 2000 m ³ = 32 000 Kgs



Por supuesto que la profundidad real del suelo a tratar de camino en particular, así como el horizonte donde comenzar el tratamiento, serán determinados por las propiedades del suelo, las características del terreno, la tarea que deberá cumplir el camino y la carga esperada de acuerdo a los aspectos estáticos. Debe considerarse que la capacidad de carga de la capa de suelo tratado es mucho más alta que la del suelo no tratado, lo cual puede llevar a ahorros considerables de costos de movimiento de suelo al comparárselo con la profundidad de suelo que debería traer de otro lugar de no utilizarse el tratamiento con el Sistema CONSOLID.

El tratamiento de suelos con el Sistema CONSOLID hace al suelo resistente al agua en la medida deseada, sin embargo, el drenaje adecuado para la totalidad de la construcción debe ser provista por los métodos convencionales, de ser requerida, previamente a la construcción de las capas tratadas.

**El éxito del Sistema CONSOLID depende de
un buen diseño del camino y una correcta
aplicación de los aditivos**

Fuente: CONSOLID Spain– Estabilización, impermeabilización y compactación de tierras –
Ecosoil de compactaciones S.L. y P.A.C.C. S.L.



Anexo 4: Análisis de datos de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián con la dosificación óptima de aditivo C444 (1.40 l/m³) y adicionando dosificaciones de 30 kg/m³ y 50 kg/m³ de aditivo SOLIDRY.

Análisis de datos de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián con 1.40 l/m³ de aditivo C444 y 30 kg/m³ de aditivo SOLIDRY.

Análisis del ensayo de determinación del peso:

ID	Peso
Unidad	g
30SS1	4962.2
30SS2	4959.9
30SS3	4890.5
30SS4	4863.9
30SS5	4809.8
30SS6	4875.0
30SS7	4940.0
30SS8	4930.0
30SS9	4938.0
30SS10	4865.5
30SS11	4932.5
30SS12	4938.6
Promedio	4908.8

Análisis del ensayo de alabeo:

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
30SS1	0	0.00	0.00	0.00
30SS2	0	0.50	0.00	0.50
30SS3	0	0.00	0.00	0.00
30SS4	0	0.50	0.00	1.00
30SS5	0	0.00	0.00	0.50
30SS6	0	0.00	0.00	1.00
30SS7	0	0.00	0.00	0.00
30SS8	0	1.00	0.00	0.00
30SS9	0	1.00	0.00	0.00
30SS10	0	0.00	0.00	1.00
Concavidad (mm)			0.00	
Convexidad (mm)			1.00	



Análisis del ensayo de absorción:

ID	Wd	Ws	Absorción
Unidad	g	g	%
30SS9	4938	4463.3	-
30SS10	4865.5	4835.0	-
30SS12	4938.6	4895.3	-

Análisis del ensayo de succión:

ID	Wd	Ws	W	L	B	Succión
Unidad	g	g	g	cm	cm	gr/200cm ² /min
30SS7	4940	4965	25	244.50	121.00	0.169
30SS8	4930	4960	30	243.75	121.25	0.203
30SS6	4875	4915	40	244.50	121.50	0.269
Promedio						0.214

Análisis del ensayo de módulo de rotura:

ID	b	d	l	x	W	S
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg	kg/cm ²
30SS1	12.18	9.28	19.3	0.2	110	2.98
30SS2	12.13	9.28	19.3	1	130	3.23
30SS11	12.20	9.33	19.3	1.7	120	2.70
Promedio						2.97



Análisis del ensayo de variación dimensional

ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %		
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO			
30SS1	244.0	245.0	245.0	244.0	244.50	0.00	122.50	123.00	120.00	121.00	121.75	0.01	92.0	91.0	94.0	93.5	92.75	0.03		
30SS2	245.0	244.0	245.0	245.0	244.75	0.00	121.50	122.00	120.50	121.00	121.25	0.01	93.0	92.0	92.0	93.5	92.75	0.03		
30SS3	245.0	245.0	245.0	244.0	244.75	0.00	122.50	123.50	121.50	120.00	122.00	0.02	94.0	92.0	91.0	93.0	92.50	0.03		
30SS4	245.0	245.0	243.0	244.0	244.25	0.00	121.50	122.00	120.50	120.00	121.00	0.01	91.0	93.0	91.0	90.0	91.25	0.01		
30SS5	244.0	244.5	244.0	245.0	244.50	0.00	120.00	122.00	122.00	120.50	121.25	0.01	91.00	92.00	92.00	92.00	91.75	0.02		
30SS6	244.0	244.0	246.0	244.0	244.50	0.00	121.50	122.00	121.50	120.50	121.50	0.01	90.0	91.5	93.5	93.0	92.00	0.02		
30SS7	244.0	243.0	245.0	245.5	244.50	0.00	122.00	121.00	120.00	121.00	121.00	0.01	93.0	93.5	92.0	92.0	92.75	0.03		
30SS8	244.0	244.0	244.0	243.0	243.75	0.01	122.00	122.00	120.50	120.50	121.25	0.01	91.0	91.0	94.0	93.0	92.25	0.03		
30SS9	244.0	243.0	244.0	244.0	243.75	0.01	121.50	122.00	120.00	120.50	121.00	0.01	93.0	93.5	91.0	93.0	92.75	0.03		
30SS10	243.0	242.0	245.0	244.0	243.50	0.01	121.00	122.00	121.00	121.00	121.25	0.01	92.0	93.0	92.0	91.0	92.00	0.02		
30SS11	244.0	244.0	245.0	244.0	244.25	0.00	121.00	123.00	122.00	122.00	122.00	0.02	93.0	93.0	93.5	93.0	93.25	0.04		
30SS12	244.0	244.0	244.0	243.0	243.75	0.01	121.00	121.50	120.00	120.00	120.75	0.01	91.0	94.0	91.0	93.0	92.25	0.03		
Largo promedio total					244.23	0.00	Ancho promedio total					121.33	0.01	Altura promedio total					92.35	0.03



Análisis de datos de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián con 1.40 l/m^3 de aditivo C444 y 50 kg/m^3 de aditivo SOLIDRY

Análisis del ensayo de determinación del peso

ID	Peso
Unidad	g
50SS1	4875.0
50SS2	4790.0
50SS3	4866.0
50SS4	4852.4
50SS5	4915.1
50SS6	4892.6
50SS7	4936.6
50SS8	4902.1
50SS9	4902.9
50SS10	4777.8
50SS11	4820.0
Promedio	4866.4

Análisis del ensayo de alabeo

ID	Cara A		Cara B	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
50SS1	0	0.50	0.00	0.50
50SS2	0	0.00	0.00	0.50
50SS3	0	0.00	0.00	0.00
50SS4	0	0.50	0.00	0.50
50SS5	0	0.00	0.00	0.00
50SS6	0	0.00	0.00	0.50
50SS7	0	1.00	0.00	1.00
50SS8	0	1.00	0.00	0.00
50SS9	0	0.50	0.00	0.50
50SS10	0	0.00	0.00	0.50
Concavidad (mm)			0.00	
Convexidad (mm)			1.00	

Análisis del ensayo de absorción

ID	Wd	Ws	W_b^5	Absorción	Coeficiente de saturación
Unidad	g	g	g	%	
50SS7	4936.6	5375.8	5229	0.09	1.50 %
50SS8	4902.1	5399.1	5218	0.10	1.57 %
50SS9	4902.9	5425.7	5367	0.11	1.13 %
50SS10	4777.8	5101.5	4939	0.07	2.01 %
Promedio				0.09	1.55 %

Análisis del ensayo de succión

ID	Wd	Ws	W	L	B	Succión
Unidad	g	g	g	cm	cm	gr/200cm ² /min
50SS1	4875	4895	20	243.75	121.75	0.13
50SS2	4790	4790	0	244.25	121.50	0.00
50SS3	4860	4875	15	244.00	121.75	0.10
50SS14	4820	4850	30	243.625	121.50	0.20
Promedio						0.11

Análisis del ensayo de módulo de rotura

ID	b	d	l	x	W	S
Unidad	cm	cm	cm	cm	kg	kg/cm ²
50SS12	12.20	9.23	19.4	0.5	120	3.19
50SS13	12.18	9.20	19.5	0.9	90	2.32
50SS17	12.20	9.3	19.6	1.9	70	1.57
50SS18	12.20	9.45	19.5	1.8	160	3.50
Promedio						2.65



Análisis del ensayo de variación dimensional

ID	Largo (mm)					V.D. %	Ancho (mm)					V.D. %	Altura (mm)					V.D. %
	L1	L2	L3	L4	LO		A1	A2	A3	A4	AO		H1	H2	H3	H4	HO	
50SS1	244.0	243.5	244.5	243.0	243.75	0.01	122.00	123.00	121.00	121.00	121.75	0.01	90.5	91.0	94.0	93.0	92.25	0.03
50SS2	244.0	244.5	244.0	244.0	244.25	0.00	121.50	122.00	120.00	122.00	121.50	0.01	92.0	92.0	91.5	90.5	91.50	0.02
50SS3	244.0	243.5	244.0	244.0	244.00	0.00	123.00	122.00	122.00	120.00	121.75	0.01	92.5	92.0	92.0	91.0	92.00	0.02
50SS4	243.5	243.0	243.5	244.0	243.50	0.01	122.00	123.00	121.00	120.00	121.50	0.01	92.5	94.0	92.0	91.0	92.50	0.03
50SS5	244.0	243.0	243.5	245.0	244.00	0.00	122.00	123.00	121.00	120.00	121.50	0.01	93.50	94.00	92.00	92.00	93.00	0.03
50SS6	244.0	243.0	244.0	243.0	243.50	0.01	122.00	122.00	122.50	121.00	122.00	0.02	92.0	92.0	91.0	91.0	91.50	0.02
50SS7	244.0	243.0	243.5	243.0	243.50	0.01	119.00	122.00	122.00	121.00	121.00	0.01	91.0	94.0	91.0	92.0	92.00	0.02
50SS8	243.5	244.0	244.0	243.0	243.75	0.01	122.00	121.00	122.00	120.50	121.50	0.01	90.5	92.5	90.0	92.0	91.25	0.01
50SS9	244.0	243.0	244.0	244.0	243.75	0.01	120.50	122.00	122.00	121.00	121.50	0.01	91.0	90.0	93.0	93.0	91.75	0.02
50SS10	243.5	244.0	243.0	244.0	243.75	0.01	122.00	122.00	121.00	120.00	121.25	0.01	91.0	90.5	93.0	91.0	91.50	0.02
50SS11	244.0	243.0	244.0	242.0	243.25	0.01	120.50	123.00	121.00	120.00	121.25	0.01	91.5	93.0	91.0	91.0	91.75	0.02
50SS12	244.5	244.0	244.0	243.0	244.00	0.00	122.50	124.00	121.00	120.00	122.00	0.02	92.0	92.5	93.0	91.5	92.25	0.03
50SS13	244.0	243.5	245.0	243.5	244.00	0.00	122.00	123.00	121.50	120.00	121.75	0.01	93.0	92.0	91.5	91.0	92.00	0.02
Largo promedio total					243.77	0.01	Ancho promedio total				121.56	0.01	Altura promedio total				91.94	0.02

Comentarios sobre los resultados de las propiedades físico-mecánicas de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián con 1.40 l/m³ de aditivo C444 y 10, 30 o 50 kg/m³ de aditivo SOLIDRY.

Peso:

Peso de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
4799.4 g	4908.8 g	4866.4 g

Los resultados de los pesos de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m³ y aditivo SOLIDRY al 10 kg/m³, 30 kg/m³ y 50 kg/m³ no tienen un comportamiento regular. Se recomienda el uso de 50 kg/m³ de aditivo SOLIDRY debido a que la diferencia con las otras dosificaciones es de 60 g y 40 g aproximadamente. Siendo el peso promedio de las tres dosificaciones aproximadamente el equivalente para la dosificación de 50 kg/m³.

Alabeo:

Alabeo de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
2 mm	1mm	1mm

Se disminuye la convexidad de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián, al incrementarles mayores dosificaciones de SOLIDRY.

Absorción:

Absorción de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
-	-	0.09

Las unidades elaboradas con las diferentes dosificaciones de aditivo SOLIDRY se desintegraron, notándose una mejora al estabilizarlas con 50 kg/m³ de SOLIDRY. Por lo que se recomienda utilizar dosificaciones superiores a esta.

Succión:

Succión de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
-	0.214	0.11



Es a partir de los 30 kg/m³ que las unidades fabricadas con aditivo SOLIDRY que la unidad no se desmorona y empieza a adquirir dicha propiedad, no es recomendable puesto que, Ángel San Bartolomé indica que la succión debe estar comprendida entre 10 a 20 gr/200cm²min. Por lo que se sugiere incrementar la dosificación de aditivo SOLIDRY.

Variación Dimensional:

Dimensiones	Variación dimensional de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
	10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
Largo	0.02	0.00	0.01
Ancho	0.01	0.01	0.01
Altura	0.02	0.03	0.02

Las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con las dosificaciones de 10 kg/m³, 30 kg/m³ y 50 kg/m³ de aditivo SOLIDRY, la variación de sus dimensiones es mínima, por lo que se recomienda el incremento de dosificación de aditivo SOLIDRY.

Módulo de Rotura:

Módulo de Rotura de las unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY al:		
10 kg/m ³	30 kg/m ³	50 kg/m ³
4.88 kg/m ²	2.97 kg/m ²	2.65 kg/m ²

A mayor cantidad de aditivo SOLIDRY menor es el módulo de rotura de las unidades de albañilería, por lo que no se recomienda uso desmesurado por encima de la dosificación de 50 kg/m³ de aditivo SOLIDRY, en cambio se sugiere plantear para posteriores investigaciones dosificaciones que difieran en rangos pequeños de dosificación.



Anexo 5: Análisis de Costos Unitarios de las Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián y Santiago estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m³ y aditivo SOLIDRY al 10 kg/m³, 30 kg/m³ y 50 kg/m³

Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de Santiago estabilizadas con aditivo C444 al 2.75 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 50 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.88
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0031	185.00	0.57
SOLIDRY	kg		0.0556	5.00	0.28
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					1.17

Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de Santiago estabilizadas con aditivo C444 al 2.75 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 30 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.77
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0031	185.00	0.57
SOLIDRY	kg		0.0333	5.00	0.17
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					1.06



Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de Santiago estabilizadas con aditivo C444 al 2.75 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 10 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.66
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0031	185.00	0.57
SOLIDRY	kg		0.0111	5.00	0.06
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					0.94

Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 50 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.60
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0016	185.00	0.29
SOLIDRY	kg		0.0556	5.00	0.28
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					0.89



Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 30 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.49
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0016	185.00	0.29
SOLIDRY	kg		0.0333	5.00	0.17
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					0.78

Unidades de albañilería fabricadas con el suelo del distrito de San Sebastián estabilizadas con aditivo C444 al 1.40 l/m ³ y aditivo SOLIDRY a 10 kg/m ³					
Jornada:		8 horas/día	Rendimiento:		300 und/día
Descripción del recurso	und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					0.28
Peón	hh	1	0.0267	10.50	0.28
Materiales					0.38
Suelo natural	m ³		0.0011	30.00	0.03
Agua	m ³		0.0007	2.50	0.00
C-444	lt		0.0016	185.00	0.29
SOLIDRY	kg		0.0111	5.00	0.06
Equipos					0.01
Herramientas Manuales	%Mo		3	0.28	0.01
Precio por unidad					0.67



Cuadro de resumen de los Análisis de Costos Unitarios

Dosificación de SOLIDRY	Suelo de la zona de Santiago adicionando 2.75 l/m ³ de aditivo C444		Suelo de la zona de San Sebastián adicionando 1.4 l/m ³ de aditivo C444	
	APU (S/.)	Solo costos de materiales (S/.)	APU (S/.)	Solo costos de materiales (S/.)
50 kg/m ³	1.17	0.85	0.89	0.57
30 kg/m ³	1.06	0.74	0.78	0.46
10 kg/m ³	0.94	0.62	0.67	0.35

Por cada intervalo de 1.35 l/m³ de dosificación de aditivo C444 el costo por unidad de albañilería varía en 0.28 soles y por cada 20 kg/m³ de dosificación de aditivo SOLIDRY el costo por unidad de albañilería varía en 0.11 soles.

