



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
ESCUELA DE POSGRADO**



DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**“Propuesta de Elaboración de Ladrillos Ecológicos
Suelo-Cemento, para Mitigar la Contaminación Atmosférica,
Producida por Ladrilleras Artesanales en la Región
Lambayeque”**

TESIS

**Presentada para obtener el grado académico de
DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

AUTOR:

M.Sc. La Torre Alarcón, César Raúl

ASESOR:

Dr. Vásquez García, Ántero Celso

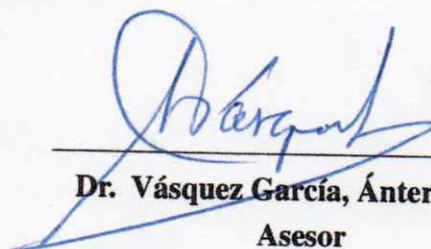
Lambayeque - Perú

2022

**“Propuesta de Elaboración de Ladrillos Ecológicos Suelo-Cemento, para Mitigar la
Contaminación Atmosférica, Producida por Ladrilleras Artesanales en la Región
Lambayeque”**



M.Sc. La Torre Alarcon, César Raúl
Autor



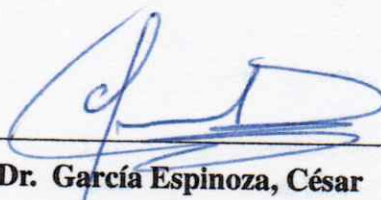
Dr. Vásquez García, Ántero Celso
Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”, para
optar el Grado de **DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES**

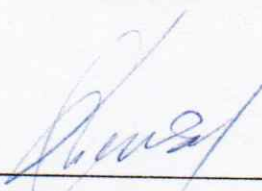
APROBADO POR:



Dr. Cieza Ramos, Arnulfo
Presidente



Dr. García Espinoza, César
Secretario



Dr. Neciosup Obando, Oscar Willian
Vocal

ACTA DE SUSTENTACIÓN

 UNPRG UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO	ESCUELA DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS	Pág. 1 de 3	

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

Siendo las 11a.m. del miércoles 19 de enero de 2022, se dio inicio a la Sustentación Virtual de Tesis soportado por el sistema Google Meet, preparado y controlado por la Unidad de Tele Educación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, con la participación en la Video Conferencia de los miembros del Jurado, nombrados con Resolución N°2007-2018-EPG, de fecha 30 de setiembre de 2018, conformado por:

Dr. ARNULFO CIEZA RAMOS	Presidente
Dr. CÉSAR GARCÍA ESPINOZA	Secretario
Dr. OSCAR WILLIAN NECIOSUP OBANDO	Vocal
Dr. ANTERO CELSO VÁSQUEZ GARCÍA	Asesor

Para evaluar el Informe de tesis del tesista CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN, candidato a optar el grado de DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES con la tesis titulada "PROPUESTA DE ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS SUELO-CEMENTO, PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, PRODUCIDA POR LADRILLERAS ARTESANALES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE".

El Sr. Presidente, después de transmitir el saludo a todos los participantes en la Video Conferencia de la Sustentación Virtual ordenó la lectura de la Resolución N°03-2022-EPG de fecha 06 de enero de 2022 que autoriza la Sustentación Virtual del Informe de tesis correspondiente, luego de lo cual autorizó al candidato a efectuar la Sustentación Virtual, otorgándole 30 minutos de tiempo y autorizando también compartir su pantalla.

Culminada la exposición del candidato, se procedió a la intervención de los miembros del Jurado, exponiendo sus opiniones y observaciones correspondientes, posteriormente se realizaron las preguntas al candidato.

Culminadas las preguntas y respuestas, el Sr. Presidente, autorizó el pase de los miembros del Jurado a la sala de video conferencia reservada para el debate sobre la Sustentación Virtual del Informe de tesis realizada por el candidato, evaluando en base a la rúbrica de sustentación y determinando el resultado total de la tesis con puntos 18.3, equivalente a Muy Bueno, quedando el candidato apto para optar el Grado de DOCTOR EN CIENCIAS

Formato : Físico/Digital	Ubicación : UI-EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	----------------------------	----------------

 UNPRG <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DEL PERÚ</small>	ESCUELA DE POSGRADO <small>Dr. Juan Carlos Rodríguez</small>	Versión:	01
		Fecha de Aprobación	29-8-2020
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN	<u>FORMATO DE ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL</u> <u>DE TESIS</u>	Pag. 2 de 3	

AMBIENTALES.

Se retomó a la Video Conferencia de Sustentación Virtual, se dio a conocer el resultado, dando lectura del acta y se culminó con los actos finales en la Video Conferencia de Sustentación Virtual.

Siendo las 12.30p.m. se dio por concluido el acto de Sustentación Virtual.



PRESIDENTE



SECRETARIO



VOCAL



ASESOR

Formato : Físico/Digital	Ubicación : US-EPG - UNPRG	Actualización:
--------------------------	----------------------------	----------------

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

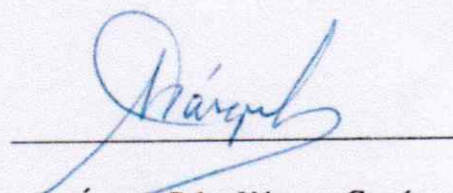
Yo **M.Sc. César Raúl La Torre Alarcón**, investigador principal y **Dr. Ántero Celso Vásquez García**, asesor del trabajo de investigación **“Propuesta de elaboración de ladrillos ecológicos, suelo-cemento, para mitigar la contaminación atmosférica, producida por ladrilleras artesanales en la región Lambayeque”**, declaro bajo juramento que el presente trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiese lugar. Que puede conducir a la anulación del grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 01 de Febrero del 2022.



M.Sc. César Raúl La Torre Alarcón

Autor



Dr. Ántero Celso Vásquez García

Asesor

DEDICATORIA

A Dios y a mis Padres:

A Dios, porque desde el cielo guía mi camino, que está conmigo cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar desempeñándome de la forma más correcta en mi vida profesional.

A mis Padres, porque antes de partir me transmitieron las enseñanzas necesarias para poder superar cualquier obstáculo que tuviera en la vida; ellos fueron pilares fundamentales en mi vida, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

Estamos siempre cerca de ustedes, no físicamente pero si, en nuestras mentes.

A mis hermanos:

Por la ayuda que me han brindado a lo largo de mi vida para poder alcanzar mis metas.

El Autor

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores del **Doctorado en Ciencias Ambientales**, que de una u otra forma contribuyeron en brindar sus conocimientos para tener la base suficiente para poder desarrollar el presente trabajo de Tesis de Doctorado.

De manera especial al profesor asesor
Dr. ÁNTERO CELSO VÁSQUEZ GARCÍA que con su aporte intelectual y experiencia me guió para desarrollar y culminar el presente trabajo.

A mis colegas docentes de la **FACFyM** por su apoyo moral, incondicional y permanente.

El Autor

PRESENTACIÓN

A los señores miembros del jurado:

De conformidad con lo prescrito por el Reglamento de Grados de la Sección de Posgrado del **Doctorado en Ciencias Ambientales** de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, presento a vuestra consideración el presente informe del trabajo de investigación intitulado: “Propuesta de elaboración de ladrillos ecológicos, suelo-cemento, para mitigar la contaminación atmosférica, producida por ladrilleras artesanales en la región Lambayeque”.

Agradezco anticipadamente sus opiniones y críticas, éstas me servirán de estímulo para seguir adelante.

El Autor

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINAS
ACTA DE SUSTENTACIÓN	III
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTOS	VII
ÍNDICE GENERAL	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ÍNDICE DE FIGURAS	XIX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
INTRODUCCIÓN	1
I DISEÑO TEÓRICO	11
1.1 Antecedentes de la investigación.	11
1.1.1 Internacionales.	12
1.1.2 Nacionales.	18
1.1.3 Regionales.	21
1.2 Base teórica.	21

	X
1.2.1 Teoría.	21
1.2.2 Definiciones de términos básicos.	23
1.2.3 Definiciones de magnitudes físicas.	29
1.3 Hipótesis	33
1.4 Variables	33
II MÉTODOS Y MATERIALES	35
2.1 Diseño de investigación	35
2.2 Población y Muestra	35
2.3 Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	36
2.3.1 Material.	36
2.3.2 Técnicas.	37
2.3.3 Instrumentos.	37
2.4 Método y procedimiento para la recolección de datos.	38
2.4.1 Extracción del suelo.	39
2.4.1.1 Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento.	39
2.4.1.2 Extracción de las muestras.	42
2.4.1.3 Procedimiento.	42
2.4.2 Clasificación del suelo	43
2.4.2.1 Método de Decantación.	44
2.4.2.2 Procedimiento.	44
2.4.3 Selección de los suelos A y B.	51
2.4.3.1 Método de decantación.	52
2.4.3.2 Procedimiento.	52
2.4.4 Densidad de los suelos A y B.	55
2.4.4.1 Materiales e instrumentos.	56
2.4.4.2 Procedimiento.	56
2.4.5 Granulometría de los suelos A y B.	56
2.4.5.1 Materiales e instrumentos.	57
2.4.5.2 Procedimiento.	57

2.4.6	Límites líquido y plástico de los suelos A y B.	58
2.4.6.1	Límite líquido de los suelos A y B.	58
2.4.6.2	Materiales e instrumentos.	58
2.4.6.3	Procedimiento.	59
2.4.6.4	Límite plástico de los suelos A y B.	60
2.4.6.5	Materiales e instrumentos.	60
2.4.6.6	Procedimiento.	60
2.4.7	Preparación de la mezcla.	61
2.4.7.1	Características de la mezcla para el suelo C1.	61
2.4.7.2	Procedimiento.	62
2.4.7.3	Características de la mezcla para el suelo C2.	63
2.4.7.4	Características de la mezcla para el suelo C3.	64
2.4.8	Moldeado de los ladrillos.	64
2.4.8.1	Procedimiento.	64
2.4.9	Curación de los ladrillos.	66
2.4.9.1	Procedimiento.	66
2.4.10	Secado de los ladrillos.	67
2.4.10.1	Procedimiento.	67
2.4.11	Densidad de los ladrillos.	68
2.4.11.1	Fundamento teórico	68
2.4.11.2	Materiales e instrumentos.	68
2.4.11.3	Procedimiento.	68
2.4.12	Resistencia a compresión de los ladrillos.	68
2.4.12.1	Fundamento teórico	68
2.4.12.2	Materiales e instrumentos.	68
2.4.12.3	Procedimiento.	69
2.4.13	Calor específico de los ladrillos.	69
2.4.13.1	Fundamento teórico	69
2.4.13.2	Materiales e instrumentos.	70

2.4.13.3	Procedimiento.	70
2.4.14	Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.	71
2.4.14.1	Fundamento teórico	71
2.4.14.2	Materiales e instrumentos.	71
2.4.14.3	Procedimiento.	72
2.5	Evaluación ambiental.	72
2.5.1	Instrumentos utilizados.	73
2.6	Técnicas para el procesamiento de datos e interpretación de los resultados. . . .	73

III RESULTADOS 74

3.1	Densidad de los suelos A y B.	74
3.1.1	Densidad del suelo A.	74
3.1.2	Densidad del suelo B.	74
3.2	Granulometría de los suelos A y B.	80
3.2.1	Granulometría del suelo A.	80
3.2.2	Granulometría del suelo B.	82
3.3	Límites líquido y plástico de los suelos.	84
3.3.1	Límites líquido y plástico del suelo A.	84
3.3.2	Límites líquido y plástico del suelo B.	86
3.4	Densidad de los ladrillos.	88
3.4.1	Ladrillos de suelo C1.	88
3.4.2	Ladrillos de suelo C2.	88
3.4.3	Ladrillos de suelo C3.	88
3.5	Resistencia a compresión de los ladrillos.	92
3.5.1	Ladrillo de suelo C1.	92
3.5.2	Ladrillo de suelo C2.	92
3.5.3	Ladrillo de suelo C3.	92
3.6	Calor específico de los ladrillos.	96
3.6.1	Ladrillo de material C1	96
3.6.2	Ladrillo de material C2	96

3.6.3	Ladrillo de material C3	96
3.7	Coefficiente de conductividad térmica de los ladrillos.	100
3.7.1	Ladrillo de suelo C1	100
3.7.2	Ladrillo de suelo C2	100
3.7.3	Ladrillo de suelo C3	100
3.8	Evaluación ambiental.	104
IV	DISCUSIÓN	106
4.1	Densidad de los suelos.	106
4.1.1	Densidad del suelo A.	106
4.1.2	Densidad del suelo B.	107
4.2	Granulometría por tamizado del suelo A	107
4.3	Granulometría por tamizado del suelo B	108
4.4	Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo A	108
4.5	Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo B	109
4.6	Densidad de los ladrillos.	110
4.7	Resistencia a compresión de los ladrillos.	113
4.8	Calor específico de los ladrillos.	118
4.9	Coefficiente de conductividad térmica de los ladrillos.	120
4.10	Evaluación ambiental.	122
4.11	Características finales de los ladrillos suelo-cemento	124
	CONCLUSIONES	126
	RECOMENDACIONES	127
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	128
	ÍNDICE DE ANEXOS	134
A	TABLAS	135
1.1	Ladrilleras artesanales en la región Lambayeque.	135

1.2	Ensayo a la resistencia a compresión del ladrillo suelo-cemento.	136
1.3	Propiedades térmicas del ladrillo de arcilla	137
1.4	Propiedades del ladrillo suelo-cemento	137
1.5	Normas de construcción	138
1.6	Costo estimado del ladrillo suelo-cemento	139
B	FIGURAS	141
2.1	Figuras básicas	141
2.2	Elaboración del ladrillo suelo-cemento.	142
2.2.1	Materiales	142
2.2.2	Instrumentos y equipos de protección.	144
C	PROGRAMAS	145
3.1	Código en Matlab.	145
D	GASES	149
4.1	Evaluación ambiental.	149
4.2	Certificado de Evaluación de la calidad del Aire.	152
E	CERTIFICADOS-FICSA	154
5.1	Certificación de laboratorio de ensayos de materiales-FICSA	154
F	FORMATO DE TABLAS.	161
6.1	Formato para la recolección de datos.	161
6.1.1	Densidad de los suelos	161
6.1.2	Densidad de los ladrillos.	162
6.1.3	Fuerza de resistencia a la compresión de los ladrillos.	162
6.1.4	Calor específico de los ladrillos.	163
6.1.5	Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.	163
G	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	164
7.1	Calor específico	164

7.1.1	Calibración del calorímetro.	164
7.1.2	Calor específico del ladrillo suelo-cemento	167
7.2	Conductividad térmica	168
H	CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO KT.	172
8.1	Equipo para medir el coeficiente de conductividad térmica.	172
8.1.1	Materiales	172
8.1.2	Procedimiento.	173

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	PÁGINAS
Tabla 1	<i>Comparación de emisiones de CO₂ entre BSC y ladrillo cerámico.</i> 14
Tabla 2	<i>Tabla de variables</i> 34
Tabla 4	<i>Composición de la mezcla suelo-cemento en porcentaje. (%)</i> 36
Tabla 5	<i>Material y herramientas para la elaboración del ladrillo suelo-cemento. .</i> 37
Tabla 6	<i>Distribución granulométrica de suelos aptos para suelo-cemento</i> 40
Tabla 7	<i>Decantación para la Muestra 1A</i> 47
Tabla 8	<i>Decantación para las tres Muestras</i> 48
Tabla 9	<i>Decantación para la Muestra 1D</i> 48
Tabla 10	<i>Decantación para las cuatro Muestras</i> 50
Tabla 11	<i>Decantación para los suelos A y B</i> 50
Tabla 12	<i>Solución del sistema de ecuaciones.</i> 55
Tabla 13	<i>Componentes de la mezcla para el suelo C1</i> 62
Tabla 14	<i>Componentes de la mezcla para el suelo C2</i> 63
Tabla 15	<i>Componentes de la mezcla para el suelo C3</i> 64
Tabla 16	<i>Instrumentos para medir gases</i> 73
Tabla 17	<i>Densidad de los suelos A y B</i> 75
Tabla 18	<i>Características del Suelo C1; 70 % de arena</i> 78
Tabla 19	<i>Características del Suelo C2; 75 % de arena</i> 78
Tabla 20	<i>Características del Suelo C3; 80 % de arena</i> 79
Tabla 21	<i>Granulometría del suelo A</i> 80
Tabla 22	<i>Fracciones del suelo A (%)</i> 81

Tabla 23	<i>Granulometría del suelo B</i>	82
Tabla 24	<i>Fracciones del suelo B (%)</i>	83
Tabla 25	<i>Límites líquido y plástico del suelo A</i>	84
Tabla 26	<i>Límites líquido y plástico del suelo B</i>	86
Tabla 27	<i>Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C1</i>	89
Tabla 28	<i>Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C2.</i>	90
Tabla 29	<i>Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C3.</i>	91
Tabla 30	<i>Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C1.</i>	93
Tabla 31	<i>Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C2.</i>	94
Tabla 32	<i>Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C3.</i>	95
Tabla 33	<i>Calor específico del ladrillo de suelo C1</i>	97
Tabla 34	<i>Calor específico del ladrillo de suelo C2</i>	98
Tabla 35	<i>Calor específico del ladrillo de suelo C3</i>	99
Tabla 36	<i>Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C1</i>	101
Tabla 37	<i>Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C2</i>	102
Tabla 38	<i>Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C3</i>	103
Tabla 39	<i>Propiedades de los ladrillos suelo-cemento</i>	104
Tabla 40	<i>Emisiones de contaminantes, ladrillos suelo-cemento</i>	104
Tabla 41	<i>Densidad del ladrillo suelo-cemento</i>	111
Tabla 42	<i>Resistencias a compresión del ladrillo suelo-cemento.</i>	114
Tabla 43	<i>Calor específico del ladrillo suelo-cemento</i>	118
Tabla 44	<i>Conductividad térmica del ladrillo suelo-cemento</i>	120
Tabla 45	<i>Características de los ladrillos suelo-cemento</i>	125
Tabla 46	<i>Ladrilleras artesanales en la región Lambayeque</i>	135
Tabla 47	<i>Caracterización del ladrillo suelo-cemento</i>	136
Tabla 48	<i>Propiedades Físicas del ladrillo de arcilla</i>	137
Tabla 49	<i>Propiedades Físicas del ladrillo suelo-cemento</i>	137
Tabla 50	<i>Resistencia característica a compresión 1</i>	138

Tabla 51	<i>Resistencia característica a compresión 2</i>	139
Tabla 52	<i>Costo del ladrillo suelo-cemento</i>	140
Tabla 53	<i>Emisiones de contaminantes, ladrillos suelo-cemento</i>	150
Tabla 54	<i>Emisiones de contaminantes, ladrillos artesanales</i>	150
Tabla 55	<i>Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Del Aire</i>	151
Tabla 56	<i>Densidad de los suelos A y B</i>	161
Tabla 57	<i>Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C1</i>	162
Tabla 58	<i>Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C1.</i>	162
Tabla 59	<i>Calor específico del ladrillo de suelo C1</i>	163
Tabla 60	<i>Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C1</i>	163
Tabla 61	<i>Calibración del calorímetro</i>	166

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁGINAS
Figura 1	Límites de Atterberg 27
Figura 2	<i>Diagrama de elaboración de ladrillos</i> 39
Figura 3	<i>Malla metálica</i> 43
Figura 4	<i>Decantación: Fase 1; Datos obtenidos en el campo</i> 45
Figura 5	<i>Decantación: Fase 2; Datos obtenidos en el campo</i> 45
Figura 6	<i>Decantación: Fase 3; Datos obtenidos en el campo</i> 45
Figura 7	<i>Decantación: Fase 4; Datos obtenidos en el campo</i> 45
Figura 8	<i>Decantación Muestra 1D; Datos obtenidos en el campo</i> 49
Figura 9	<i>Muestra Patrón; Datos obtenidos en el campo</i> 52
Figura 10	<i>Juego de tamices.</i> 57
Figura 11	<i>Secado de los ladrillos, parte inicial</i> 67
Figura 12	<i>Secado de los ladrillos, parte final</i> 67
Figura 13	<i>Densidad del suelo A.</i> 76
Figura 14	<i>Densidad del suelo B.</i> 77
Figura 15	<i>Granulometría del suelo A.</i> 81
Figura 16	<i>Granulometría del suelo B.</i> 83
Figura 17	<i>Límite líquido del suelo A.</i> 85
Figura 18	<i>Límite líquido del suelo B.</i> 87
Figura 19	<i>Densidad del ladrillo.</i> 113
Figura 20	<i>Resistencias a compresión del ladrillo.</i> 117

Figura 21	<i>Calor específico del ladrillo.</i>	119
Figura 22	<i>Conductividad térmica del ladrillo.</i>	121
Figura 23	<i>Porcentaje de ladrilleras artesanales en la región Lambayeque.</i>	141
Figura 24	<i>Máquina Compactadora: CINVA-RAM.</i>	141
Figura 25	<i>Muestra del suelo A.</i>	142
Figura 26	<i>Muestra del suelo B.</i>	142
Figura 27	<i>Muestra de cemento.</i>	143
Figura 28	<i>Muestra de la mezcla suelo-cemento.</i>	143
Figura 29	<i>Cemento Portland.</i>	143
Figura 30	<i>Medidor de agua.</i>	143
Figura 31	<i>Palana de construcción.</i>	144
Figura 32	<i>Guantes de protección.</i>	144
Figura 33	<i>Casco de protección.</i>	144
Figura 34	<i>Informe de monitoreo ambiental.</i>	149
Figura 35	<i>Monitoreo de gases.</i>	149
Figura 36	<i>Placa plana conductora.</i>	169
Figura 37	<i>Fuente de energía térmica.</i>	174
Figura 38	<i>Tecnopor como aislante térmico.</i>	174
Figura 39	<i>Mejoras de estética del equipo KT.</i>	175
Figura 40	<i>Equipo KT.</i>	175
Figura 41	<i>Toma superior del equipo.</i>	176
Figura 42	<i>Equipo KT finalizado.</i>	176
Figura 43	<i>Plano o cara del equipo, donde se ubica el ladrillo.</i>	177

RESUMEN

Se planteó el presente trabajo de investigación “Propuesta de elaboración de ladrillos ecológicos, suelo-cemento, para mitigar la contaminación atmosférica , producida por ladrilleras en la región Lambayeque”, para contribuir en la solución del problema de contaminación del aire debido a los ladrillos artesanales (cocidos) porque éstos emanan una serie de gases tóxicos contaminando así la atmósfera, entonces estos ladrillos cocidos deben ser reemplazados por el ladrillo suelo-cemento, siendo estos últimos los que menos gases tóxicos emanan. Con el objetivo general de “Mitigar la contaminación atmosférica y conservar los factores ambientales del entorno”; y objetivos específicos: caracterizar físicamente el ladrillo suelo-cemento (ladrillo ecológico o ecoladrillo), en lo referente a su densidad, resistencia a la compresión, calor específico y coeficiente de conductividad térmica; comparar las características físicas de los ladrillos ecológicos con los ladrillos artesanales; medir las diferencias de calidad de aire en los lugares de producción de los ladrillos ecológicos y ladrillos artesanales y determinar el nivel de contaminación de gases tóxicos en el aire, en zonas de producción de los ladrillos , y contrastarlo con los límites máximos permisibles establecidos en el ECA AIRE. Con la tecnología empleada para la elaboración de ladrillos suelo-cemento, y los análisis realizados en su estudio en lo que respecta a la resistencia característica a compresión, se concluyó que los tres tipos de ladrillos superaron los valores permitidos por la Norma E.070., por lo tanto, estos ladrillos suelo-cemento son adecuados para ser usados y cumplan sus funciones para los cuales fueron producidos.

Palabras clave: Ladrillo suelo-cemento, Contaminación atmosférica, Resistencia a compresión

ABSTRACT

The present research work was proposed “ Proposal for the elaboration of ecological bricks, soil-cement, to mitigate atmospheric pollution, produced by brickyards in the Lambayeque region ”, to contribute to the solution of the problem of air pollution due to Artisan bricks (fired) because they emanate a series of toxic gases that pollute the atmosphere, so these fired bricks should be replaced by soil-cement brick, as they produce less toxic gases. With the general objective of "Mitigating air pollution and conserving surrounding environmental factors"; and specific objectives: to physically characterize the soil-cement brick (ecological brick or eco brick), in relation to its density, compressive strength, specific heat and coefficient of thermal conductivity; compare the physical characteristics of ecological bricks with artisan bricks; Measure the differences in air quality in the places of production of ecological bricks and artisan bricks and determine the level of contamination of toxic gases in the air, in areas of brick production, and contrast them with the maximum permissible limits established in the ECA AIR. With the technology used for the preparation of soil-cement bricks, and the analysis carried out in its study regarding the characteristic resistance to compression, it was concluded that the three types of bricks exceeded the values required by Standard *E.070.*, Therefore, these soil-cement bricks are suitable to be used and fulfill the functions for which they were produced.

Keywords: Soil-cement brick, Air pollution, Compressive strength

INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las acciones humanas que contribuyen a uno de los problemas más graves de contaminación ambiental que se presenta a nivel mundial, es la producción de ladrillos artesanales. Por esto, es de primordial interés construir en las personas un conocimiento y una conciencia tales, para solucionarlo o mitigarlo.

Es por esto que en toda obra de construcción civil se debe tener en cuenta el sistema ambiental y paralelo a ello, se deben sumar los enfoques científico, tecnológico, social y económico y aplicarlos al momento de generar o utilizar servicios ante la sociedad. Los aspectos mencionados anteriormente se deben desarrollar en forma integral, es decir no se deben trabajar en forma aislada, y esto es lo que se enmarca dentro del concepto de Desarrollo Sostenible. Con la creciente concientización sobre las políticas ambientales y el cuidado del planeta crece el interés en evaluar alternativas sustentables en el ámbito de la construcción que reduzcan el consumo de energía y disminuyan el impacto sobre el medio ambiente.

Como ya se indicó, la contaminación ambiental es un problema ambiental global, luego a nivel internacional, muchos países específicamente como en Colombia se afirma que:

La quema de material como madera (biomasa) y carbón, entre otros, para alimentar los hornos es una práctica que genera una severa carga contaminante a la atmósfera que afecta la salud de los trabajadores y de la comunidad. La emisión de humo contiene CO , CO_2 , SO_2 y NO_X por el tipo de combustibles empleados. Pero la actividad extractiva, el movimiento de tierra y el transporte de material también agregan contaminación al aire por material articulado con efectos negativos para la salud humana y animal, aumentando el nivel de opacidad en la atmósfera. La emisión y su propagación depende de la lluvia y del viento como fenómenos climáticos que transportan los componentes tóxicos.

Para poder reducir la contaminación atmosférica, la resolución 909 de 2008 establece las normas y los estándares de emisión admisibles por contaminantes a la atmósfera, referentes al tipo de combustible sólido para la industria de productos cerámicos, refractaria y de arcilla. La norma permite unos niveles máximos de hasta $550 \text{ mg}/\text{m}^3$ para dióxido de azufre (SO_2) y para dióxido de nitrógeno (NO_x); para biomasa (madera) el material articulado es de hasta $300 \text{ mg}/\text{m}^3$. (Silva and Valencia, 2013, p. 117)

Por estudios realizados en México se afirmó que:

La actividad ladrillera artesanal presenta problemas ambientales, productivos y sociales. De acuerdo con el diagnóstico internacional del Programa Eficiencia Energética en Ladrilleras Artesanales de América Latina existen aproximadamente 45 mil productores ladrilleros ubicados en 9 países. Uno de los contaminantes principales producidos es el dióxido de carbono (CO_2), que en promedio es de $6\,034\,307 \text{ t CO}_2/\text{año}$. Este contaminante es considerado el causante del 60 % en la tendencia del calentamiento global. De la producción de ladrillos destaca la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera que proceden de fuentes fijas y de área, junto con el CO_2 son el bióxido de azufre (SO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), los clorofluorocarbonos (CFC), el metano (CH_4), las partículas de hollín y los metales pesados, además, contribuyen al cambio climático con aproximadamente 9 % de las emisiones globales de carbono negro, principalmente por el uso de calderas pequeñas y de ladrillo de baja eficiencia energética. El combustible se considera el principal problema económico y ambiental que afecta a esta microindustria. Estas emisiones son ocasionadas durante el proceso de cocción realizada en hornos artesanales rudimentarios, con

escasa tecnificación, que además enfrenta altos costos de producción que en promedio son el 60 % del costo del ladrillo. (Bahena-Martínez et al., 2020, p. 8)

A nivel nacional la gran mayoría de empresas ladrilleras de micro y pequeño tamaño presentan un alto grado de informalidad y utilizan técnicas artesanales para la fabricación de sus productos.

Los artesanos ladrilleros poseen buenos conocimientos del trabajo que realizan y desarrollan sus actividades con mucho esfuerzo y dedicación bajo una serie de paradigmas y premisas que se deben conocer y respetar, pero sobresaliendo su voluntad de mejorar sus calidad de vida y principalmente sus ansias de ofrecer un futuro mejor a sus hijos. Sus conocimientos deben ser aprovechados y mejorados combinándolos con nuevas y mejores técnicas. Estas ladrilleras artesanales emplean hornos fijos de fuego directo, techo abierto y tiro ascendente para la cocción también denominada quemado o simplemente quemado de ladrillos.

Para encender estos hornos utilizan combustibles sólidos como el carbón, llantas usadas, aceites, dichos combustibles generan emisiones de gases altamente tóxicos y cancerígenos como óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) etc, estos elementos provocan irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos en las vías respiratorias, en el sistema nervioso central, depresión y eventualmente cáncer, características que los hacen inaceptables para ser utilizados con este fin. Entonces la actividad ladrillera se convierte en fuente de contaminación que afecta la calidad del aire de las ciudades y poblaciones cercanas, la salud de sus habitantes y de los propios familiares de los ladrilleros. (Alca, 2012, p. 1)

Hasta el momento se ha hablado en forma general de una contaminación ambiental, específicamente el presente trabajo de investigación se refiere a una contaminación atmosférica, entonces:

Se entiende por contaminación atmosférica a la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgos, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza. Siempre ha existido contaminación atmosférica de origen natural, por erupciones volcánicas, tormentas de arena, descomposición de la materia orgánica o polen, pero es a partir del descubrimiento del fuego por el hombre cuando aparece la contaminación atmosférica antropogénica o contaminación atmosférica en sentido estricto, la cual ha cobrado importancia, sobre todo, a partir de la revolución industrial y el uso masivo de combustibles fósiles como fuente de energía.

Aunque se puede originar contaminación atmosférica por escapes o arrastres de gases u otro material volátil, almacenado o utilizado de diversas formas, la principal fuente de contaminación son los procesos que implican combustión, al producirse la oxidación de los distintos elementos que componen los combustibles, las materias primas y el aire. (Aránguez et al., 1999, p. 124)

La contaminación atmosférica es actualmente uno de los más graves problemas que afectan las ciudades de los países en desarrollo, teniendo impacto negativos sobre la salud pública cuando, las concentraciones de los contaminantes alcanzan niveles significativos. La capital de la amistad, Chiclayo, no es ajena a este problema, muchos estudios han determinado que corre el peligro de convertirse en una de las ciudades más contaminadas del país, si desde hoy no se toman los correctivos pertinentes.

En la región Lambayeque existen un promedio de 115 ladrilleras artesanales, donde en cada una de ellas laboran un promedio de siete personas, obteniendo un ingreso promedio por cada ladrillera y cada quema que realizan aproximadamente S/.400.00 nuevos soles; donde los miembros de cada familia cumplen sus roles en la producción de estos ladrillos: El *Padre de familia*, realiza las labores de preparación de la pasta y moldeado de los ladrillos. La *Madre de familia*, realiza

el moldeado de ladrillos y posteriormente el volteado de ladrillos en la etapa de secado. Los *Hijos*, apoyan en el volteado y traslado de ladrillos crudos al horno para la cocción. Con el funcionamiento de estas ladrilleras se presentan enfermedades respiratorias y malestar en los ojos. (Ministerio de la Producción, 2013, pp. 22-23)

Planteamiento del problema.

Sabiendo que el alto grado de contaminación atmosférica que se produce en la región Lambayeque es debido al funcionamiento de ladrilleras artesanales; para mayor constancia se tiene que:

“En la región Lambayeque existen aproximadamente 115 ladrilleras distribuidas en los distritos de José Leonardo Ortiz, Monsefú, Chiclayo, Ferreñafe y Lambayeque” (Ministerio de la Producción, 2013, p. 22).

Esto se muestra en la Tabla 46, anexo A, página 135 allí se indica el número de estas ladrilleras artesanales por provincia y distrito; donde el horno de cada ladrillera para su funcionamiento necesita de combustibles tales como leña, llantas, maderas, plásticos o textiles, aceite usado o quemado entre otros, al ser quemados emiten una gran cantidad de gases a la atmósfera, como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, bióxido de azufre y partículas sólidas; y en la Figura 23, en el anexo B, página 141, se indica el porcentaje de estas ladrilleras, por provincia, en la cual la ciudad de Chiclayo tiene el mayor porcentaje de ladrilleras; indicando así que en la región Lambayeque, la ciudad de Chiclayo es la que más contribuye a la contaminación atmosférica. La presencia de este gran número de ladrilleras es uno de los factores principales para la contaminación atmosférica en esta región.

Con todo lo expuesto anteriormente, las ladrilleras artesanales son uno de los factores que más influyen en el calentamiento global, debido a la emanación de gases hacia la

atmósfera y esto indica la existencia de material particulado en la atmósfera; entonces este problema de contaminación atmosférica se supone que se puede mitigar cambiando el ladrillo cocido artesanal por el ladrillo suelo-cemento; donde el conjunto de suelo, cemento y agua, dosificados y compactados, constituyen los ladrillos de suelo-cemento, conocidos también como ladrillos ecológicos:

Formulación del problema.

El problema para el presente trabajo de investigación se formuló de la siguiente manera: ¿Como mitigar la contaminación atmosférica, debido a la presencia de ladrilleras artesanales, en la región Lambayeque.?

Justificación e importancia de la investigación.

La justificación para el presente trabajo de investigación se realiza bajo diferentes expectativas, tales como científica, tecnológica, social, económica y ambiental; considerando como fundamental lo ambiental que a continuación se describen:

1. **Científica:** Se agrega un aspecto más relacionado con el conocimiento científico de producir ladrillos sin contaminar el aire del entorno.
2. **Tecnológica:** Se han usado materiales, técnicas y procedimientos modernos que disminuya el impacto ambiental de los ladrillos artesanales.
3. **Social:** El conocimiento científico producido servirá para que la sociedad conecte todas acciones hacia procesos de producción de ladrillos más amigables con el aire.
4. **Económica:** El conocimiento científico producido permitirá obtener mejores ladrillos a un precio menor. Disminuir la cantidad de cemento en la elaboración de ladrillos suelo-cemento abarata los costos de producción de los mismos, haciéndolos más factibles para la construcción de viviendas de tipo social en nuestro país.

5. **Ambiental:** Todos los procesos ensayados para obtener los ladrillos suelo-cemento permitirá conservar las condiciones del aire en el entorno. Los hornos de ladrillos artesanales, además de utilizar madera como material de combustión para la cocción de ladrillos, generan emisión de grandes cantidades de humo, depredando así grandes cantidades de árboles y áreas verdes. Afectando así no solo al medio ambiente, si no también a la salud pública de trabajadores y pobladores del lugar. El uso de ladrillos suelo-cemento elimina por completo el uso del horno de cocción y elimina la tala de árboles.

La importancia radica que en la elaboración de estos nuevos ladrillos, no se hace uso de suelo fértil que es de utilidad para la producción agrícola y la alimentación animal y al mismo tiempo se minimiza el consumo de energía porque ya no se usan los ladrillos cocidos tradicionales porque su elaboración influye en el calentamiento global; y así de esta manera poder mitigar la contaminación atmosférica y conservar la ecología. Entonces se hace la propuesta para la elaboración del nuevo ladrillo ecológico, es decir el ladrillo suelo-cemento.

Alcances de la investigación

En lo que respecta al alcance de la investigación; la gran mayoría de los suelos son aptos para ser estabilizados con cemento *Portland*. El hecho de estabilizar el suelo local implica ventajas económicas debido al ahorro del alto costo de transporte y al mayor rendimiento obtenido. Además, la estabilización del suelo local reduce el impacto ambiental al evitar la explotación intensiva y progresivo agotamiento de yacimientos. Una gran propiedad de esta clase de ladrillo es, por sus características que tienen los suelos que son uno de sus componentes principales, un buen aislante térmico.

Delimitación de la investigación.

Con respecto a la delimitación de la investigación, en el presente trabajo se consideran los siguientes aspectos:

1. **Espacial:** La elaboración de ladrillos en la presente investigación se llevó a cabo en la azotea de la casa del tesista que está ubicada en el distrito de Lambayeque, provincia de Lambayeque y con materia prima (suelo) extraída del fundo de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo; dado sus condiciones así como la disponibilidad del material lo convierten en una zona potencial a llevar a cabo el desarrollo del presente trabajo de investigación.
2. **Conceptual:** Está delimitado sobre los estudios de campo (experimentales , teóricos) de mecánica de suelos, específicamente que cumpla con las normas de construcción que se exige en lo referente a la resistencia a la compresión.
3. **Temporal:** El presente trabajo de investigación se desarrolló en el transcurso de los años 2018-2020.

Limitaciones de la investigación.

En el presente trabajo de investigación se encontraron varias limitaciones para su ejecución, en lo que respecta a:

1. **Materiales:** No se encontró un suelo apropiado, o que cumpla las condiciones, para la elaboración de los ladrillos suelo-cemento; se tuvo que hacer la combinación de dos suelos de diferentes porcentajes de arena para poder encontrar el suelo deseado.
2. **Equipo e instrumentos de medición:** Se encontraron limitaciones para evaluar las siguientes propiedades físicas:
 - (a) **Resistencia a compresión:** La medición de la resistencia a compresión se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura, el factor limitante fue que no se contó con el apoyo económico para hacer estas mediciones, cada muestra tiene un determinado precio para medir su resistencia a compresión.

(b) **Calor específico:** La medición de esta magnitud física se llevó a cabo mediante un calorímetro, pero en los laboratorios de Física y Química estos equipos estaban malogrados, entonces para que este trabajo no quede truncado se tuvo que recurrir a otros medios fuera de esta Universidad, entonces estas mediciones se llevaron a cabo en la Universidad Nacional de Trujillo.

(c) **Coeficiente de conductividad térmica:** Para medir este coeficiente, en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y Universidad Nacional de Trujillo, no se contaba con un equipo o instrumento de medición; entonces viendo videos de internet se ha tenido que construir un equipo para la medición de este coeficiente.

Objetivos de la investigación.

El objetivo general trazado en el presente trabajo de investigación fue:

Mitigar la contaminación atmosférica y conservar la ecología; esto se obtiene al reemplazar los ladrillos artesanales por un nuevo ladrillo de propiedades ecológicas.

Los objetivos específicos que se cumplen en el presente trabajo de investigación son:

1. Caracterizar físicamente el ladrillo suelo-cemento, conocido también como ladrillo ecológico o ecoladrillo, en lo referente a su densidad (D), resistencia a compresión (F_c), calor específico (c_e) y coeficiente de conductividad térmica (κ).
2. Comparar las características físicas de los ladrillos ecológicos con los ladrillos artesanales.
3. Medir las diferencias de calidad de aire en los lugares de producción de los ladrillos ecológicos y ladrillos artesanales.

4. Determinar el nivel de contaminación de gases tóxicos en el aire, en zonas de producción de los ladrillos, y contrastarlo con los límites máximos permisibles establecidos en el ECA AIRE.

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos, los cuales se describen en seguida:

En el capítulo I, se describen los antecedentes de la investigación a nivel internacional, nacional y regional; donde se informa que a nivel regional no existe trabajo alguno respecto a este tipo ladrillo. Se realizan definiciones generales relativos al tema en estudio y definiciones física que se usan en el desarrollo del trabajo. Se describen la hipótesis y variables de estudio del trabajo de investigación. En el capítulo II, se describen los materiales, técnicas e instrumentos y métodos utilizados para la recolección de datos y las técnicas para el procesamiento e interpretación de resultados. En el capítulo III, en primer lugar se obtienen resultados de las propiedades de los suelos que intervienen en la elaboración de los ladrillos en estudio y luego se obtienen los resultados de las magnitudes físicas, consideradas en la caracterización del ladrillo en estudio, en lo referente a los objetivos específicos. En el capítulo IV, se realiza el análisis e interpretación, discusión de los resultados obtenidos en el capítulo III. Finalmente se realizan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación.

En el planeta tierra se evidencia actualmente el calentamiento global y esto es debido a nosotros mismos como personas que lo habitamos y propiciamos la contaminación del medio ambiente y se debe en mucho de los casos a una vida desordenada que desarrollamos, siendo alguno de estos factores la tala excesiva de los bosques, el mal uso que le damos a los Residuos Sólidos orgánicos e inorgánicos y un caso específico los procesos industriales suelen ser los grandes contaminantes del planeta, ya sea por emisión de gases que se produce durante el proceso o por los desechos que se generan.

Una de las industrias de mayor contaminación ambiental es la de producción de ladrillos artesanales (cocidos), la cual usa mucho carbón y materiales como llantas, aserrín, cáscara de arroz, leña y aceite quemado para generar la energía responsable para hacer funcionar los hornos en los cuales se realiza la cocción de los ladrillos artesanales; pero este tipo de contaminación ambiental, específicamente del aire, se puede mitigar cambiando los ladrillos convencionales cocidos por ladrillos ecológicos o también denominados ecoladrillos, tales como los ladrillos suelo-cemento.

Los denominados ladrillos ecológicos se pueden elaborar de diferentes materiales, siendo los más conocidos y prácticos los construidos con los siguientes materiales:

1. Botellas plásticas; este material se conoce como *PET* (tereftalato de polietileno), que ofrece grandes ventajas además de los bajos costos de fabricación.
2. Suelo-cemento; el conjunto de suelo, cemento y agua, dosificados y compactados, constituyen el ladrillo suelo-cemento.

1.1.1. Internacionales.

1.1.1.1. Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible.

El eje del trabajo propuesto consiste en el desarrollo de suelo estabilizado con cemento, moldeado y compactado para ser utilizado en mamposterías. El interés dado a la continuidad del trabajo de investigación y desarrollo se funda en la certeza de que se trata de un material ecológico, ya que en su composición no interfiere la capa fértil del suelo apta para cultivos, y en el ahorro de productos energéticos, dentro de lo que significa producir materiales sin cocción. (Gatani, 2000, p.36)

1.1.1.2. Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica.

El suelo natural, siempre que reúna ciertas características granulométricas, puede ser sometido al tratamiento denominado estabilización. La adición de un agente estabilizante, como el cemento, permite aprovechar mejor sus cualidades y añadir otras que por si sólo no posee.

Este procedimiento de estabilización consiste en extraer el suelo natural del terreno, pulverizarlo, agregarle una cantidad determinada y reducida de cemento, adicionarle agua hasta el humedecimiento óptimo de

la mezcla y compactarlo razonablemente, con lo que se obtiene una masa de gran resistencia al terminar el endurecimiento. De esta manera se consigue que el material soporte cargas de trabajo muy superiores a las que podría resistir el suelo sin cemento, obteniéndose además, una buena durabilidad ante la acción de agentes atmosféricos. (Barros, 2010, p.29)

1.1.1.3. Estudio de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento.

Según indicaciones del delegado comunal del área estudiada, se identificaron zonas pertenecientes a terrenos propios de la comuna de los cuales podía extraerse muestras de suelo para estudiarlas. Se extrajeron dos muestras de suelo que fueron ensayadas en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, con el fin de determinar el tipo de suelo extraído. Para ello se estableció, límite plástico, límite líquido, índice de plasticidad y granulometría.

Una vez conocidas las características de los suelos, se fabricaron probetas de suelo-cemento, se dosificó con la mezcla de las dos muestras a la vez, (considerando dosificaciones de 1:8:2, 1:7:3, 1:6:4), y con cada una por separado (1:10:0, 1:8:0, 1:0:10, 1:0.8), mezclando los materiales en volúmenes aparentes en estado seco, adicionando la cantidad de agua necesaria para obtener una mezcla de bajo tenor de humedad y de aspecto casi seco.

Las dosificaciones se indican de la siguiente manera: Cemento: Suelo 1: Suelo 2. Es decir que, 1:8:2, indica una mezcla realizada con 1 parte de cemento Portland, 8 partes de la muestra del suelo 1 y 2 partes de la muestra del suelo 2. De la misma manera, una dosificación de 1:10:0, indica una mezcla realizada con 1 parte del cemento Portland, 10 partes de

la muestra de suelo 1 y 0 partes de muestra de suelo 2.

(Mas and Kirschbaum, 2012, pp.79-80)

1.1.1.4. Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal.

Sobre las características mecánicas, los adobes no estabilizados pueden llegar a obtener resistencia a compresión entre 0.6 N/mm^2 y 2.25 N/mm^2 , pero esto puede variar, incluso mejorar según el tipo de prensa que se emplea en el proceso de fabricación de estos ladrillos. Por ejemplo, los bloques realizados usando una prensa hidráulica consiguen una resistencia a compresión en torno a los $2 - 3 \text{ N/mm}^2$, mientras que con una prensa manual se tiene una resistencia comprendida entre 1.5 N/mm^2 y 3 N/mm^2 . (Amorós, 2011, p.13)

1.1.1.5. Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material.

Según la Tabla 1 se tiene que las emisiones de CO_2 equivalente son 238 veces menos en el caso BSC en comparación con el ladrillo cerámico, lo que coincide con otros estudios realizados en Francia por Craterre de la Unesco. (Bedoya, 2018, p.65)

Tabla 1

Comparación de emisiones de CO_2 entre BSC y ladrillo cerámico.

Muestra	Huella de Carbono ($\text{kg} \cdot \text{CO}_2 - \text{eq}$)
Ladrillo cerámico	0.320
BSC	0.00134

Fuente: (Bedoya, 2018, p.65)

1.1.1.6. Ladrillos ecológicos como material sostenible para la construcción.

La elaboración de ladrillos ecológicos responde a las necesidades de disminuir el gasto energético y el impacto ambiental provocado por subproductos provenientes de cultivos agrícolas e industriales, y a la necesidad de aumentar la calidad medio ambiental. En este trabajo se propone la elaboración de ladrillos puzolánicos sin cocción y con materiales ecológicamente aceptables. Además, como puzolanas artificiales se utilizan subproductos residuales del cultivo de arroz, de esta forma se elimina colateralmente el impacto ambiental que éstos producen.

La principal ventaja del uso de los ecoladrillos es la eliminación de la emisión de CO_2 a la atmósfera al eliminar la cocción del proceso de elaboración de los mismos. Por otro lado, el hecho de que los aditivos residuales que se van a utilizar en este trabajo (tanto cáscaras como cenizas) procedan del cultivo del arroz tiene gran relevancia ya que se trata del cultivo de cereal que mayor extensión de superficie ocupa en el mundo. (Cabo, 2011, p.6)

1.1.1.7. Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia.

Existen varios tipos de estabilizantes que pueden ser empleados para mejorar las características resistentes de los bloques de tierra.

Antiguamente los estabilizantes más comunes se derivaban de productos vegetales mezclados con estabilizantes minerales. La cal, el estiércol, la orina, la sangre y las fibras vegetales han sido los aditivos más comunes durante siglos en diferentes partes del mundo. A pesar de que en la actualidad siguen utilizándose aglomerantes de esta índole, la desventaja que supone la descomposición de los derivados vegetales y animales, es un inconveniente.

Estudios reciente se han enfocado en el uso de estabilizantes minerales y sintéticos como la cal, el cemento, los residuos de altos hornos, las resinas, estabilizantes químicos, entre otros. (Calderón, 2013, p.55)

1.1.1.8. Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la deformación pampeano y cemento Portland.

El suelo-cemento es un material elaborado a partir de la mezcla de suelo, cemento Portland y agua, la cual es dosificada, compactada y curada de modo de obtener un material endurecido que satisface ciertas propiedades.

Con el agregado de cemento Portland se busca aumentar la resistencia y disminuir la deformabilidad, la permeabilidad y la sensibilidad del agua. Estas mejoras estructurales y de durabilidad crecen con el tiempo y con el incremento del porcentaje de cemento.

El suelo-cemento se utiliza principalmente en la construcción de carreteras; también es utilizado como revestimiento impermeabilizante, en la estabilización de taludes, estabilización de suelo de fundaciones, construcción de ladrillos, y otras aplicaciones menos frecuentes.

El contenido de cemento en la mezcla dependerá de las propiedades buscadas en la estabilización del suelo y del tipo de suelo utilizado. Se define *suelo mejorado o modificado con cemento* cuando el porcentaje de cemento utilizado en la mezcla es bajo (menor al 2 %). Estas dosificaciones se aplican generalmente cuando se busca mejorar la estabilidad volumétrica del suelo, no mejorar la resistencia. Para suelos finos plásticos, es recomendable usar cal en lugar de cemento ya que esta es más efectiva y económica para controlar su inestabilidad volumétrica.

Cuando se utilizan cantidades de cemento superiores, generalmente de 5 a 35 %, esta metodología se define como *suelo estabilizado con*

cemento. Al utilizar estas cantidades de cemento se consigue un material dotado de cierta rigidez y resistencia, prácticamente insensible al agua. (Serigos et al., 2009, p.9)

1.1.1.9. Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET.

Una de las industrias más contaminantes es la de producción de ladrillo, la cual usa mucho carbón y materiales como llantas para generar la energía. En este trabajo se diseña y fabrica un ladrillo a base de cemento y escamas de PET (tereftalato de polietilene). (Amariz and Jiménez, 2014, p.76).

1.1.1.10. Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción.

Se utilizan como materia prima materiales reciclados plásticos, promoviendo el uso racional de recursos disponibles en lugar de enterrarlos, quemarlos o acumularlos en basureros al aire libre; aplicando procedimientos de elaboración que no son contaminantes del medio ambiente, por lo cual es una tecnología sustentable (Gaggino, 2008, p.138).

1.1.1.11. Durabilidad de ladrillos prensados de suelo-cemento

Desde el año 1991, en el Centro de Estudios de Construcción y Arquitectura Tropical (CEC AT), del ISPJAE, se viene estudiando, entre otras actividades, el comportamiento de ladrillos de suelos estabilizados precomprimidos, producidos en máquinas compactadoras manuales. La primera experiencia se inició en el año 1991 y sirvió para en la construcción de cuatro viviendas, en el municipio de Marianao, en La Habana. Se emplearon, en esa ocasión, paredes de ladrillos de

suelo-cemento, utilizando un suelo calizo-arcilloso proveniente de una cantera cercana al lugar de la obra.

Para la confección de los bloques se emplearon dos tipos de suelo, uno de tipo arcilloso y otro arenoso, cemento Portland, cal utilizada como plastificante en el suelo arcilloso y agua. Los factores a variar fueron el cemento y el agua. Los ladrillos se fabricaron en una máquina TERSTARAM de doble compresión de patente belga. (Valle, 2001, p. 16 - 17).

1.1.2. Nacionales.

1.1.2.1 Comportamiento sísmico de un módulo de dos pisos reforzado y construido con ladrillos ecológicos y prensados.

El suelo empleado en la fabricación de las unidades ecológicas de suelo-cemento es conformado por tierra arcillosa (65 %), cemento (20 %), arena fina (10 %) y agua (5 %), las tierras más adecuadas para la fabricación de las unidades son aquellas que cumplen con las siguientes características:

- Aquellas que pasen por el tamizado de 4.8 *mm* al 100 %.
- Aquellas que pasen por el tamizado de 0.075 *mm* de 10 % al 50 %.
- Límite de liquidez menor o igual al 45 %.
- Índice de plasticidad menor o igual al 18 %.

La arcilla es un componente muy importante para la fabricación de las unidades por sus propiedades aglomerantes que mejoran su resistencia inicial y la trabajabilidad, sin embargo suelos arcillosos con propiedades diferentes a las antes descritas provocan fisuras luego del secado del material. (Rojas and Vidal, 2014, p. 4)

1.1.2.2 Las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo ecológico suelo-cemento fabricados con adición de 20 % de aserrín de madera para muros no portantes en la ciudad de Huaraz-2016.

Las composiciones de los ladrillos ecológicos tienen en sus propiedades más importantes, suelo-cemento, el primero en mayor porcentaje, teniendo también una característica física de rangos permitidos como la granulometría la cantidad de arcilla, arena y los límites de consistencia y el segundo como un elemento estabilizante.

El suelo según los antecedentes, un buen suelo para trabajar con cemento es aquel que da una buena resistencia y una poca contracción al perder la humedad en el momento de secado esto significa que un buen suelo debe tener la presencia de arena, limo y arcilla este último en menores proporciones, si alguno de estos componentes estuviera ausente según el análisis practicado de la curva granulométrica, se tendrá que adicionar para tener una composición deseada. (Ramirez, 2018, p. 7)

1.1.2.3 Características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricadas con suelo-cemento en la ciudad de Trujillo.

Todas las ladrilleras artesanales carecen de conocimientos formales sobre el proceso de producción, comercialización y gestión del negocio. El esquema del trabajo es familiar, y en la mayoría de los casos las madres de familia y los hijos participan durante todo el proceso. Los hornos en su mayoría son del tipo artesanal de fuego directo, de geometría rectangular, de tiro natural y abierto a la atmósfera.

El proceso de cocción de estas piezas fundamentales de la construcción se hace a través de la quema de leña, aceites usados, llantas, cáscara de café, aserrín y carbón mineral (briquetas de carbón mineral).

Para la producción de 20 millares de ladrillo utilizan la siguiente cantidad: 1 camionada de aserrín, 5 llantas y 1 tonelada de carbón, según Programa Regional de Aire Limpio y el Ministerio de la Producción.

Dependiendo del material que tengan a disposición lo cual acarrea no solo una deforestación, sino una creciente emisión de CO_2 , contribuyendo ampliamente a la contaminación, además de ello, la extracción de la arcilla muchas veces se realiza en manantiales naturales, perjudicando considerablemente al ecosistema. (Abanto and Akarley, 2014, p. 15)

1.1.2.4 Capacidad adherente del óptimo mortero para la unión de unidades de ladrillo de suelo-cemento compactado-Cajamarca 2015.

El suelo adecuado para ser estabilizado con cemento es el que da una resistencia elevada y poca contracción. Este suelo debe tener presencia de arena, limo y arcilla; aunque éstos dos últimos en escasa proporción para que den cohesión a la mezcla y composición granulométrica, sin que produzcan contracciones bruscas. El suelo, se debe extraer a una profundidad mayor que 40 *cm*, para quitar la capa vegetal superficial. Asimismo, debe estar limpio de basura y no contener materia orgánica que pueda descomponerse en el tiempo. La proporción óptima es 70 % de arena y 30 % de limo y arcilla. (Morí, 2017, pp. 8-9)

1.1.2.5 Ahorro energético en construcciones con cerramientos de mampuestos no convencionales.

Elaboración y fabricación de ladrillos de suelo-cemento: Los bloques de suelo-cemento comprimidos, tienen la ventaja frente a otros conformados por materiales industrializados de poder ser diseñados para responder a las

necesidades de cada caso en particular. Por este motivo, el diseño de un bloque de suelo-cemento comprende la cuantificación o dosificación de la cantidad necesaria de cada uno de los componentes que forman la mezcla a emplear en la fabricación como también las dimensiones y formas del propio ladrillo.

Las variaciones en las cantidades a utilizar de cemento, suelo y agua, modifican la resistencia del elemento, y la geometría de los bloques está relacionado con el comportamiento desde el punto de vista térmico ya que a mayor espesor (de un material cualquiera), menor transmisión de calor, y por la tanto, mejores condiciones de confort dentro de la vivienda. (Delacoste, 2015, p.12)

1.1.3. Regionales.

En la región Lambayeque, hasta la fecha, no se ha encontrado registro alguno de este tipo de investigación.

1.2. Base teórica.

1.2.1. Teoría.

1.2.1.1. Procesos industriales sostenibles.

Un proceso químico industrial es el conjunto de etapas que hacen posible la transformación de la materia prima e insumos en productos, subproductos, residuos y desechos; usando racionalmente la energía, y teniendo en cuenta en cada etapa las condiciones de operación que hagan posibles procesos eficientes. Las etapas son actividades unitarias que

pueden ser operaciones unitarias o procesos unitarios, aunque entre algunas de ellas la diferencia es muy sutil y en otras se complementan.

Los procesos químicos industriales sostenibles o procesos industriales sostenibles, son procesos también constituidos por etapas que son actividades unitarias, pero que potencian el aprovechamiento de los materiales y la energía para la producción de bienes (o productos útiles) y minimizan o eliminan la presencia de residuos y desechos -o males- (ya que dependiendo del tipo de residuo, estos pueden contribuir a la contaminación ambiental y a sus efectos).

Los procesos industriales tienen que contribuir al desarrollo sostenible, entendido como el tipo de desarrollo orientado a garantizar la satisfacción de las necesidades fundamentales de la población y elevar su calidad de vida, a través del manejo racional de los recursos naturales, propiciando su conservación, recuperación, mejoramiento y uso adecuado, de tal manera que esta generación y las futuras tengan posibilidad de utilizarlos y disfrutarlos, sobre bases éticas y de equidad, garantizando la vida en todas sus manifestaciones. (Pérez and Meza, 2013, pp. 108 - 109)

1.2.1.2. Tecnologías limpias.

La aplicación de tecnologías limpias, como sustitutas a las tecnologías tradicionales más contaminantes, son cada vez más estudiadas como herramientas de prevención. El industrial puede tomar dos posturas ante la contaminación, sabiendo que si contamina el medio, se enfrentará a la legislación y a la población en general. Estas dos posturas son la Descontaminación y Anticontaminación. La primera se refiere a la instalación de equipos que controlen y/o eliminen los agentes contaminantes mediante tratamientos externos, como por ejemplo filtros,

depuradoras, plantas de reciclado, incineradores y vertederos controlados, entre otros. El segundo criterio trata de intervenir en los procesos mediante la aplicación de tecnologías limpias, de forma que no se genere contaminación. Se trata de incluir tratamientos internos al proceso que buscan evitar la contaminación y no procesarla.

(Galván Rico and Reyes Gil, 2009, párr. 11)

1.2.1.3. Minimización de la contaminación.

La prevención de la contaminación, es una estrategia de fuerza mayor por muchas razones. Si no se genera contaminación, entonces no existen contaminantes que gestionar. De esta forma, se evitan problemas futuros tales como aquellos derivados de los métodos de disposición o eliminación de desechos al final del proceso. El prevenir la contaminación antes de que se presente también evita situaciones que podrían poner en peligro no sólo a los miembros de la comunidad, si no a los trabajadores involucrados en la gestión de la contaminación.

(Galván Rico and Reyes Gil, 2009, párr. 4)

1.2.2. Definiciones de términos básicos.

1.2.2.1. Suelo:

Es una colección de cuerpos naturales; está compuesto por el material orgánico y mineral que cubre la mayoría de la superficie terrestre; contiene materia viva y sirve de soporte para la vegetación en campo abierto y en lugares transformados por la actividad humana. Es un sistema abierto, trifásico y tridimensional. (Ramírez, 1997, p. 6)

La fase sólida, formada por material mineral y orgánica; la mineral, que está compuesta por partículas de varios tamaños, como son arena, el limo y la arcilla, que ocupan 45 % del total, en volumen; la materia orgánica ocupa 5 % del total del volumen, e incluye residuos vegetales en descomposición y organismos en vida activa. (Ramírez, 1997, p. 8)

1.2.2.2. **Cemento:**

El cemento es un material básico para la edificación y la ingeniería civil. Su principal propiedad es la de formar masas pétreas resistentes y duraderas cuando se mezcla con agua y áridos. El endurecimiento de la mezcla ocurre transcurrido un cierto tiempo desde el momento en que se realiza el amasado, lo que permite dar forma (moldear) a la piedra artificial resultante. Estas tres cualidades (moldeable, resistente, duradero) hacen que los productos derivados del cemento tengan una gran aplicación en la construcción de infraestructuras y otros elementos constructivos.

El cemento portland es un polvo firmemente molido, compuesto principalmente por silicatos de calcio y en menor proporción por aluminatos de calcio, que, mezclado con agua se combina, fragua y endurece a temperatura ambiente, tanto al aire como bajo el agua. (Sanjuán and Chinchón, 2014, p. 4)

1.2.2.3. **Agua:**

“La función del agua es hidratar el cemento y hacerlo reaccionar y contribuir a la máxima compactación del suelo” (Gatani, 2000, P. 38).

1.2.2.4. **Suelo-cemento:**

El suelo-cemento es una mezcla íntima de suelo, convenientemente pulverizado, con determinadas porciones de agua y cemento que se compacta y cura para obtener mejor densidad. Cuando el cemento se hidrata se transforma en un material duro, durable y rígido. (Delacoste, 2015, p.10)

1.2.2.5. **Ladrillo:**

“ Se denomina ladrillo a aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea manipulada con una sola mano”(Norma Técnica E.070, sf, p.13).

1.2.2.6. **Bloque:**

“Se denomina bloque a aquella unidad que por su dimensión y peso requiere de las dos manos para su manipuleo”(Norma Técnica E.070, sf, p.13).

1.2.2.7. **Curado y acopio:**

Para asegurar el fraguado eficiente de los ladrillos, éstos deben ser almacenados con una adecuada protección frente al sol y la lluvia.

Al igual que las piezas moldeadas en cemento u hormigón, durante las primeras 24 horas de fabricación de los ladrillos debe controlarse que no se produzcan pérdidas bruscas de humedad.

Ello se logra cubriendo la producción del día de la siguiente manera:

Se coloca un manto de polietileno de modo tal que se asegure que no se va a producir infiltración de aire por los bordes, apoyando ladrillos secos en el perímetro.

Al día siguiente se trasladan los ladrillos a la pila de estiba, recomendándose humedecer éstos con una regadera y volver a tapar con polietileno. Es conveniente mantener el riego hasta los 8 días de edad, formando con polietileno una cámara de curado.

Los ladrillos podrán ser empleados en construcción a partir de los 21 días de fabricación. Al término de ese tiempo habrán alcanzado una resistencia muy cercana a la máxima. (Gatani, 2000, P. 42)

1.2.2.8. **Material particulado:**

El material particulado (MP) atmosférico es una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas presentes en el aire y su composición química representa una complejidad aún mayor. Para un mejor estudio, es común la medición de las fracciones del material particulado: partículas menores de 10 micrómetros (μm), MP_{10} y partículas menores a 2,5 μm , $MP_{2,5}$, las cuales varían ampliamente con respecto a su concentración y composición química según el tiempo y lugar.

Según su origen se clasifican en partículas primarias, provenientes de fuentes directas como: la quema de biomasa, combustión incompleta de combustibles fósiles, erupciones volcánicas, desgaste de carreteras, suelo, mar y materiales biológicos (fragmentos de plantas, microorganismos, polen, etc.); y partículas secundarias, provenientes principalmente de la conversión de gases a partículas en la atmósfera. (Suárez et al., 2017, p. 188)

1.2.2.9. **Límites de Atterberg:**

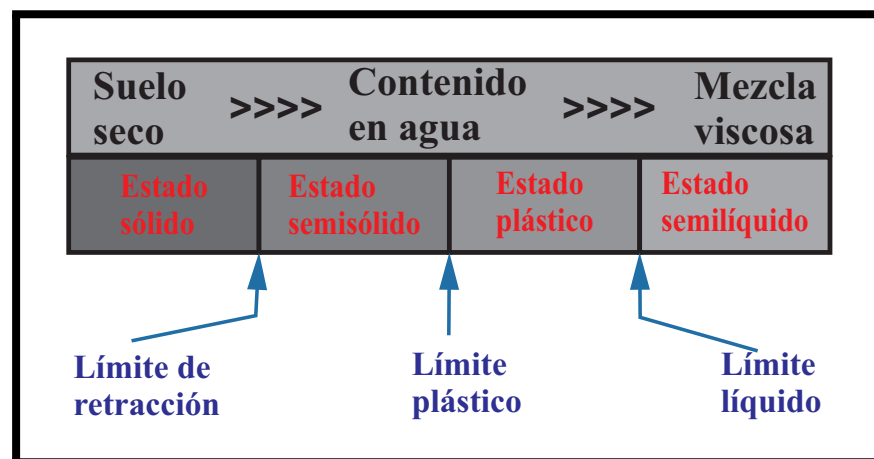
Se definen como los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: Estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido o viscoso.

El límite entre los estados sólido y semisólido se denomina límite de retracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido.

Así de este modo, un suelo de grano fino puede pasar de un estado de consistencia a otro en función del contenido de humedad. En la Figura 1 se muestra como a medida que aumenta el contenido de agua del suelo, éste, va pasando de un estado a otro y sus respectivos límites de Atterberg que hay entre ellos.

El nombre de los límites de Atterberg proviene de su difusor, el sueco Albert Atterberg y hoy en día resulta de los ensayos más habituales junto con la *granulometría de suelos*, para la caracterización de los suelos finos. (Límites de Atterberg, sf, p. s/n)

Figura 1
Límites de Atterberg



Fuente:Elaboración propia

Para determinar los límites líquido y plástico de los suelos, es necesario conocer ciertas definiciones, como son:

a) **Contenido de humedad (w):**

“Razón entre el peso del agua y peso del suelo seco de una muestra. Se expresa en porcentaje” (Peñaranda, 2019, p. 38).

$$w = \frac{W_W}{W_S} \times 100 \% \quad (1)$$

donde:

W_W : Peso del agua

W_S : Peso del suelo seco

b) **Límite líquido (L_L):**

Es el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite definido arbitrariamente entre los estados plástico y semilíquido. Dicho de otra forma, es el contenido de humedad en el que el suelo cambia de un estado plástico a uno líquido. (GUARDADO, 2020, p. 60)

c) **Límite plástico (L_P):**

Es el contenido de humedad de un suelo expresado en porcentaje; definido arbitrariamente como la frontera entre los estados semisólido y plástico. De otra manera se entiende como el contenido de humedad, en el que un suelo cambia de un estado semisólido a uno plástico. (GUARDADO, 2020, p. 60)

d) **Índice de plasticidad (I_P):**

“Se define como el rango de contenido de humedad de un suelo, en el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico” (GUARDADO, 2020, p. 64).

$$I_P = L_L - L_P \quad (2)$$

Donde:

I_P = Índice de plasticidad.

L_L = Límite líquido.

L_P = Límite de plasticidad.

e) Carta de plasticidad de Casagrande

A partir de grandes estudios, Casagrande definió que los suelos con un límite líquido superior a 50 ($L_L > 50$) son de alta plasticidad, mientras que los suelos que tienen un límite líquido inferior a 50 se definen como de baja plasticidad. (Límites de Atterberg, sf, p. s/n)

1.2.3. Definiciones de magnitudes físicas.

Definición 1. Densidad (D):

Es importante tener en cuenta que para calcular la densidad necesitamos un cuerpo al que le podamos medir la masa y el volumen pero lo que obtenemos es una propiedad de la sustancia que constituye el cuerpo y no del cuerpo mismo. Matemáticamente, entonces la densidad es el cociente entre la masa de un cuerpo y su volumen. (Marini et al., 2019, p.3)

$$D = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Unidades:

Sus unidades en el Sistema Internacional (SI) están dadas por:

$$D \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Definición 2. Resistencia a la fuerza de compresión (F_c):

La resistencia a la compresión del ladrillo, F_c , se usa como control de calidad en la elaboración (dosificación de los materiales, temperatura y tiempo de horneado), para conocer la calidad de los materiales y su materia prima utilizados en la fabricación de ladrillo. El ensayo de resistencia a la compresión, consistió en llevar la pieza de ladrillo a la falla y registrar la carga de rotura en el área de contacto, para determinar el esfuerzo de compresión máximo mediante la ecuación. (4). (García et al., 2012, p. 46 - 47)

$$F_c = \frac{Q_{\text{máx.}}}{A} \quad (4)$$

donde:

F_c : Es la resistencia a la fuerza de compresión o simplemente resistencia a la compresión, expresada en Pa

$Q_{\text{máx.}}$: Es la carga máxima (de rotura), expresada en N .

A : Es el área de aplicación de la carga, expresada en m^2 .

Unidades:

Su unidad en el Sistema Internacional (SI) es el Pascal, entonces:

$$F_c [Pa]$$

La resistencia característica a la compresión se obtiene al restar la desviación estándar a la resistencia a la compresión, esto es:

$$F'_c = F_c - S \quad (5)$$

donde:

F'_c : Es la resistencia característica a la compresión, expresada en N .

S : Es la desviación estándar.

Definición 3. Capacidad calorífica (C):

“La capacidad calorífica de un cuerpo, es la cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de un cuerpo en un grado.” (Guzmán, 2009, p. 12; Capítulo 5)

En términos matemáticos, la capacidad calorífica se expresa como:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (6)$$

Unidades:

Sus unidades en el Sistema Internacional (SI) están dadas por:

$$C \left[\frac{J}{K} \right]$$

Definición 4. Calor específico (c_e):

“El calor específico, es la capacidad calorífica por unidad de masa.” (Guzmán, 2009, p. 12; Capítulo 5)

Matemáticamente, viene expresada como:

$$c_e = \frac{C}{m} \quad (7)$$

Esta ecuación se puede escribir como:

$$c_e = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT}$$

Unidades:

Sus unidades en el Sistema Internacional (SI), se obtienen a partir de la ecuación (7) estas son:

$$c_e \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Definición 5. Conducción de calor:

Cuando hay transporte de energía entre elementos de volumen adyacente en virtud a la diferencia de temperaturas entre ellos, se conoce como conducción de calor. La expresión matemática fundamental de la conducción de calor es la generalización de los resultados de los experimentos en el flujo lineal de calor a través de una lámina de material de espesor Δx y de área A , una de las caras se mantienen a temperatura $T + \Delta T$, los resultados muestran que Q es proporcional al tiempo Δt y al gradiente de temperatura $\frac{\Delta T}{\Delta x}$, esto es: (Guzmán, 2009, p. 20 -21; Capítulo 5)

$$\begin{aligned}
 Q &\propto A \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta t & \Rightarrow & Q = -\kappa A \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta t \\
 \frac{dQ}{dt} = \dot{Q} &= -\kappa A \frac{dT}{dx} & \Rightarrow & \frac{\dot{Q}}{A} = -\kappa \frac{dT}{dx}
 \end{aligned}$$

$$\vec{q} = -\kappa \vec{\nabla} T \quad (8)$$

donde:

\vec{q} : es el vector *flujo de calor por unidad de superficie* (Wm^{-2}).

κ : es una constante de proporcionalidad, llamada *coeficiente de conductividad térmica*, define la capacidad del material para conducir el calor a través de él. ($Wm^{-1}K^{-1}$)

$\vec{\nabla} T$: es el *gradiente del campo de temperatura* en el interior del material (Km^{-1}).

1.3. Hipótesis

Se afirma que si es factible mitigar la contaminación atmosférica debido a los gases emanados por las ladrilleras artesanales; esto se obtiene mediante el uso de los ladrillos suelo-cemento conocidos también como ladrillos ecológicos o ecoladrillos.

1.4. Variables

Las variables identificadas son:

Tabla 2
Tabla de variables

Variable	Indicadores	Sub-Indicadores	Técnicas
V.I (V. Solución)	<ol style="list-style-type: none"> 1. No utilizar la capa fértil del suelo apta para el cultivo y crianza de animales. 2. Utilizar tierra local, extraída a una profundidad mayor a 30 o 40 <i>cm</i> de la superficie, o a una profundidad que no existan vestigios de capa vegetal. 3. Utilizar suelos arenosos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Suelo: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arcilla ▪ Limo ▪ Arena 2. Cemento 3. Agua 4. Personal 5. Máquina moldeadora 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis documental
V.D (V. Problema)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se mide la calidad del aire tanto en el ambiente donde se producen los ladrillos ecológicos y ladrillos artesanales. 2. Identificar el tipo de gases tóxicos que producen las ladrilleras artesanales. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Minimizar el consumo de energía eléctrica y térmica. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análisis documental.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MÉTODOS Y MATERIALES

2.1. Diseño de investigación

La presente investigación o estudio se enmarcó en su primera fase como descriptiva y en la segunda como experimental.

2.2. Población y Muestra

Para la presente investigación se elaboraron 63 ladrillos suelo-cemento (Ladrillos ecológicos) todos compactados con la prensa *CINVA-RAM*. La elaboración de éstos se clasificó en 3 formas, dependiendo del tipo de suelo con respecto al porcentaje de arena; el suelo *C1* contiene un 70 % de arena, el suelo *C2* un 75 % de arena y el suelo *C3* un 80 % de arena.

De los 63 ladrillos; se elaboraron 20 ladrillos de cada tipo de suelo los cuales fueron sometidos a la resistencia a compresión en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo y de estas muestras se eligió una de cada tipo para evaluar su calor específico, dicha evaluación se llevó a cabo en el laboratorio de física de la Universidad Nacional de Trujillo; y 1 ladrillo de cada tipo de suelo fueron elaborados para medir el coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Resumiendo, toda esta información se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4*Composición de la mezcla suelo-cemento en porcentaje. (%)*

Suelos	Arena (%)	Limo-Arcilla (%)	Cemento	N° de Ladrillos		
	(suelo)		(% del suelo)	F_c	κ	Total
C1	70	30	20	20	1	21
C2	75	25	20	20	1	21
C3	80	20	20	20	1	21

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la Tabla 4, se tiene que:

F_c : Indica que 20 ladrillos de cada suelo son sometidos a resistencia a compresión.

κ :Indica que a un ladrillo de cada suelo se le ha determinado el coeficiente de conductividad térmica.

2.3. Materiales, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

2.3.1. Material.

El material y herramientas que se utilizaron para la elaboración de los ladrillos suelo-cemento, se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5

Material y herramientas para la elaboración del ladrillo suelo-cemento.

Material	Herramientas	
* Suelo A	* 01 Martillo	* 01 Palana
* Suelo B	* 01 Balanza	* 01 Vernier
* Cemento Portland	* 01 Nivel	* 01 Casco
* Agua	* 01 Wincha	* 01 Par de guantes
* Cubeta	* 01 Frasco	* 01 Máquina
* Lubricantes y sal	* 01 Probeta	CINVA-RAM

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.3.2. Técnicas.

Las técnicas utilizadas en el presente trabajo de investigación se denominan *Análisis documental*.

2.3.3. Instrumentos.

1. Instrumentos de medición.

- a) 01 Balanza digital.
- b) 01 Regla milimetrada.
- c) 01 Probeta graduada.
- d) 01 Máquina compactadora (CINVA-RAM).
- e) 01 Máquina compresora (LABORATORIO DE FICSA).

- f) 01 Calorímetro.
- g) 01 Equipo para medir el coeficiente de conductividad térmica (Elaboarción propia.)
- h) Detector de gases marca Rki modelo Eagle.

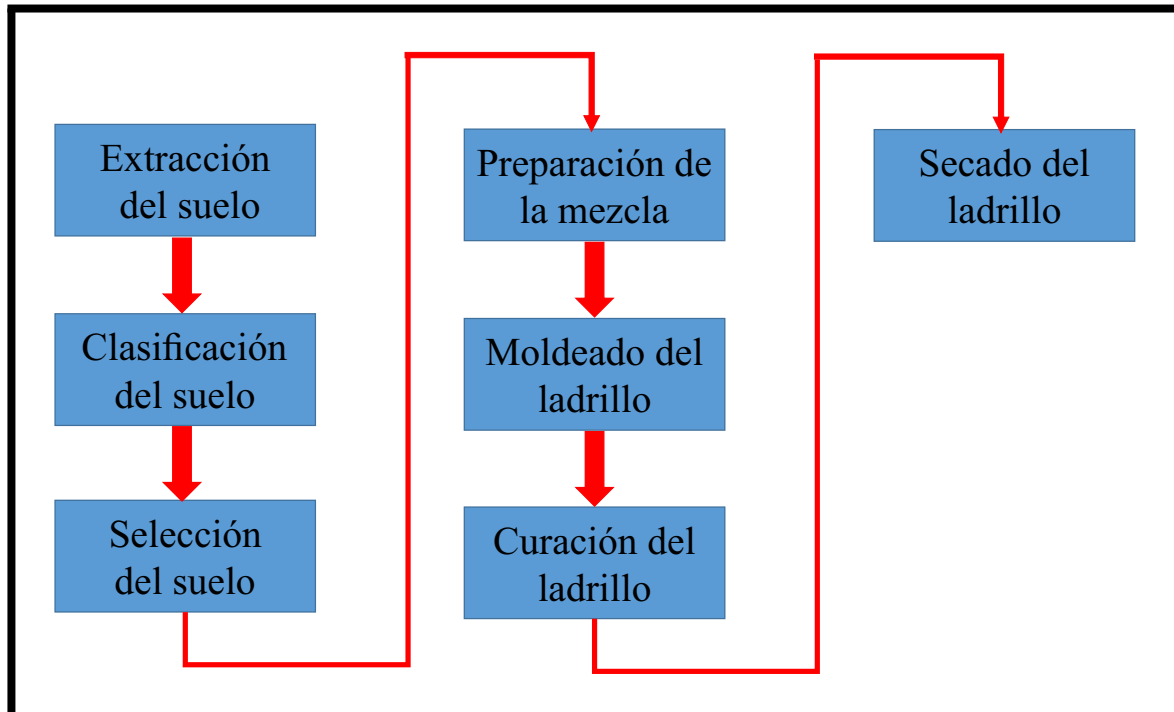
2. Instrumentos de recolección de datos.

- a) Ficha de registro de datos: Los datos de densidad de los suelos; densidad, resistencia a compresión, calor específico y coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos suelo-cemento fueron registrados en formatos especialmente diseñados y que se presentan en las tablas: 56, 57, 58, 59 y 60; respectivamente, del anexo F, página 161.
- b) Equipo para medir la densidad de los suelos (01 Balanza y 01 probeta).
- c) Equipo para medir la densidad de los ladrillos suelo-cemento (01 Regla milimetrada).
- d) Equipo para elaborar los ladrillos (01 Máquina **CINVA-RAM**).
- e) Equipo para medir el calor específico de los ladrillos (Calorímetro).
- f) Equipo para medir el coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos (Elaboración propia).

2.4. Método y procedimiento para la recolección de datos.

En esta sección, primeramente, se construye un diagrama donde se indica las etapas que se sigue para la elaboración del ladrillo suelo-cemento.

En la Figura 2, se presenta el diagrama de elaboración del ladrillo suelo-cemento.

Figura 2*Diagrama de la elaboración del ladrillo suelo-cemento*

Fuente:Elaboración propia

2.4.1. Extracción del suelo.

Universalmente existen una gran variedad de suelos, y su clasificación depende del uso que se les da, es decir depende de un sistema de referencia; para el tipo de investigación que se está realizando el número de suelos aptos se reduce ya que éstos que deben cumplir ciertas características para poderlos usar en la elaboración de los ladrillos suelo-cemento; entonces se da algunas recomendaciones para estos tipos de suelos.

2.4.1.1. Suelos aptos para mezclas de suelo-cemento.

Prácticamente todos los suelos pueden ser empleados para producir suelo-cemento con la lógica excepción de la capa vegetal, sin embargo, cuando se

requiere ejecutar una mezcla con calidad y consumo mínimo de cemento, el número de suelos aptos se reduce.

Se consideran suelos aptos para mezclas de suelo-cemento aquellos cuyos consumo de cemento en peso se encuentren entre 5 y 12 % con respecto al peso del suelo. Además, que la laboralidad sea tal que permita la producción de los elementos a fabricar.

Generalmente los suelos aptos son aquellos que tienen tales proporciones de suelos gruesos y finos que producen una granulometría abierta, sin predominio excesivo de un determinado tamaño. De igual forma su plasticidad debe ser tal que aporte una determinada cohesión a la mezcla, lo que mejora la laboralidad y aumenta el aislamiento térmico sin que se produzcan agrietamientos por contracción. (Toirac, 2008, pp.528 - 529)

El rango granulométrico del suelo en % pasado expresado en la Tabla 6 garantiza las buenas propiedades del suelo-cemento y es el siguiente:

Tabla 6

Distribución granulométrica de suelos aptos para suelo-cemento

Tamiz	% que pasa
3 pulgadas	100
Nº 4	100 - 50
Nº 40	100 - 15
Nº 200	50 - 10

Fuente: (Toirac, 2008, p.529)

Los límites de plasticidad lo fijan el límite líquido y el límite plástico del suelo. Ambos límites están representados por un por ciento de humedad y tiene el siguiente significado físico:

El límite líquido: por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. En otras palabras el límite líquido refleja el punto (% de humedad) en que el suelo comienza a fluir como un líquido.

El límite plástico: por ciento de humedad en que el suelo pasa de un estado rígido (elástico) a un estado plástico.

Con la resta numérica de ambos límites se obtiene el índice plástico o rango de humedades en que el suelo se comporta plásticamente.

Estos límites dependen no solo del contenido de arcilla si no de su tipo y rango admisible para mezclas de suelo-cemento. Se fija como sigue:

$$\text{Límite líquido} < 45 \% \quad (9)$$

$$\text{Límite plástico} < 18 \% \quad (10)$$

(Toirac, 2008, p. 529)

En esta etapa, en primer lugar, se busca el lugar de donde se va a extraer el suelo o suelos que mejor cumplan, en forma total o parcial , las características propuestas en el proyecto de tesis; es decir las diferentes proporciones de arena en cada suelo; para ello se extraen muestras de diferentes suelos y la comprobación del porcentaje de arena en cada suelo se lleva a cabo mediante el ensayo de campo denominado *Decantación* conocido también como *Método de la botella*.

Teniendo en cuenta que en el proyecto de tesis se propuso trabajar con tres tipos de suelos arenosos, a saber: suelos con **70 %**, **75 %** y **80 %** de arena; pero suelos con estas características, en la región Lambayeque, se encuentran en las canteras; pero sus costos

incluyendo además el transporte de la materia prima son muy altos, entonces esto demanda que se eleve el costo de producción de los ladrillos y lo más recomendable es minimizar todo tipo de costos. Se recomienda como condición óptima de producción del ladrillo suelo-cemento el empleo de suelos o tierra local.

Teniendo en cuenta estas condiciones, se optó por trabajar con suelos que se pueden encontrar con facilidad en el fundo de la Universidad Nacional *Pedro Ruiz Gallo*.

Se informa que todo el proceso, realizado para la obtención del ladrillo suelo-cemento, se llevó a cabo en la casa del Tesista.

2.4.1.2. Extracción de las muestras.

2.4.1.3. Procedimiento.

1. No se debe utilizar tierra de la capa superficial del suelo, porque ésta es de utilidad para la producción agrícola y la alimentación animal; porque al utilizar los suelos superficiales éstos quedan deteriorados en lo que respecta a su calidad como suelo agrícola.
2. La tierra o suelos deben ser extraídos a una profundidad mayor a 30 *cm* o 40 *cm* de la superficie o a una profundidad tal que no existan vestigios de capa vegetal.
3. Del fundo de la Universidad, anteriormente indicada, inicialmente se extrajeron tres muestras de diferente tipo de suelo que de ahora en adelante se las llamará *Muestra 1A*, *Muestra 1B* y *Muestra 1C*; las cuales se llevaron a la casa del tesista y en la azotea estas muestras se sometieron a un proceso de secado; extendiendo éstas en la azotea en capas finas de este suelo de un espesor de aproximadamente 2 *cm* a 3 *cm* al aire libre, para acelerar su secado; este secado se realiza por un tiempo de 10 días.

4. Una vez secas estas muestras se procede a triturarlas o molerlas, en este caso como se trata de cantidades pequeñas de muestra se realiza el proceso de trituración o molerlas con el pie.

5. Estas muestras trituradas, se hacen pasar por un Tamiz o zaranda N°4 que corresponde a un tamiz cuyos orificios son de 4.75 mm de diámetro con el objetivo de que por la zaranda pasen partículas cuyos diámetros sean menores o iguales a 4.75 mm ; en nuestro caso se utilizó una

Figura 3
Malla metálica



Fuente: Elaboración propia

zaranda o malla metálica de orificios cuadrados de 3.3 mm de lado; donde las dimensiones de la zaranda utilizada son $44\text{ cm} \times 90\text{ cm}$, como se muestra en la Figura 3.

6. Una vez pasadas las muestras por esta malla, éstas quedan listas para ser clasificadas.

2.4.2. Clasificación del suelo

Existen dos vías para proceder a la clasificación de los suelos, la primera y más precisa, es por medio de ensayos físicos de laboratorio. La segunda, mucho menos precisa, es por medio de ensayos elementales de campo que no requieren una tecnología especializada. La primera variante debe ser la de mayor utilización debido a que con una debida clasificación prácticamente se garantiza la calidad requerida de la mezcla con un mínimo consumo de cemento. Sin embargo, pueden existir constructores aislados que por razones del poco volumen de construcción a realizar consideren más práctico (aunque más costoso) utilizar la clasificación de campo y por ende emplear la segunda variante. (Toirac, 2008, pp.527 - 528)

En esta etapa de clasificación del suelo, en nuestro caso de las muestras obtenidas en el ítem anterior, se lleva a cabo mediante el Ensayo de Campo conocido como decantación, que luego se describe.

2.4.2.1. Método de Decantación.

2.4.2.2. Procedimiento.

Este ensayo de campo se describe mediante un ejemplo, tomando como referencia la *Muestra 1A*, esto es:

- a.- En esta primera parte se representa gráficamente las cuatro sesiones o etapas en la cual se ha dividido el ensayo de campo mencionado.
- b.- En la Figura 4, se tiene una probeta cuyo volumen es 250 cm^3 ; en ella se vierte 60 cm^3 de la *Muestra 1A*.
- c.- En la Figura 5, se vierte 180 cm^3 de agua, obteniéndose así un volumen total de 240 cm^3 entre la *Muestra 1A* y el agua.

Figura 4

Decantación: Fase 1; Datos obtenidos en el campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Decantación: Fase 2; Datos obtenidos en el campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 6

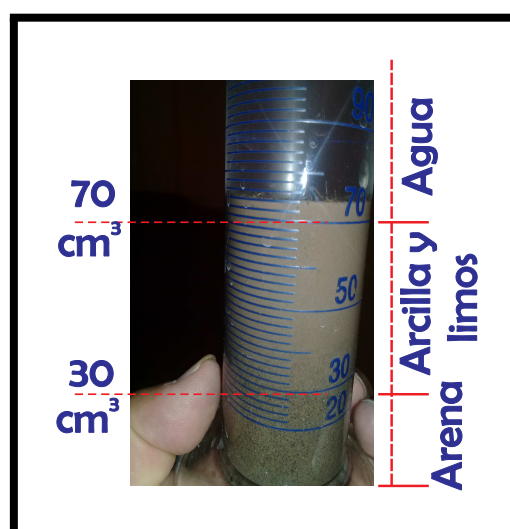
Decantación: Fase 3; Datos obtenidos en el campo



Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Decantación: Fase 4; Datos obtenidos en el campo



Fuente: Elaboración propia

- d.- Se agrega una cucharadita de sal común y se tapa la probeta.
- e.- Batir bien la mezcla por un tiempo de tres a cuatro minutos para que la sal (que trabaja como defloculante) pueda separar todas las partículas finas del suelo, así como se nota en la Figura 6, y déjela reposar durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y se observará que las partículas mayores se han sedimentado, así como se muestra en la Figura 7.
- f.- En la Figura 7 se debe observar, generalmente, en el fondo una capa de arena, en el centro una capa de limo y en la parte superior una capa de arcilla. Pero en nuestro caso tan solo se observa perfectamente dos capas, siendo la del fondo la capa de arena y la superior corresponde a una combinación de limo y arcilla. Si el agua no está completamente transparente ello se debe a que parte de arcilla más fina está todavía mezclada con el agua, en la superficie del agua pueden flotar fragmentos de materia orgánica.
- g.- Finalmente, a partir de la Figura 7, se mide la profundidad o altura de la capa del fondo (arena) $V_1 = 30 \text{ cm}^3$ y la capa superior (limo-arcilla) $V_2 = 40 \text{ cm}^3$.

Pero el volumen porcentual se define como:

$$V_{PA} = \frac{V_A}{V_T} \times 100 \% \quad (11)$$

donde:

V_{PA} : Es el volumen porcentual de arena en la muestra.

V_A : Es el volumen de arena en la muestra.

V_T : Es volumen total de la muestra.

De los datos obtenidos de la Figura 7 y reemplazando estos valores en la ecuación (11), se tiene:

$$V_{PA} = \frac{30}{70} \times 100 \% = 0.4256 \times 100 \% = 42.56 \%$$

$$V_{PA} = 42.56 \% \quad (12)$$

Los resultados obtenidos, por decantación, para la *Muestra 1A* se resumen en la Tabla 7; esto es:

Tabla 7
Decantación para la Muestra 1A

Muestra	$\frac{V_1}{(cm^3)}$	$\frac{V_2}{(cm^3)}$	$\frac{V_T}{(cm^3)}$	V_R	$\frac{V_P}{(\%)}$
1A	30	40	70	30/70	42.56

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Descripción de la Tabla

- V_1 : Es el volumen de Arena en la Muestra.
- V_2 : Es el volumen de Limo y Arcilla en la Muestra.
- V_T : Es el volumen Total de la Muestra.
- V_R : Es el volumen Relativo de Arena en la Muestra.
- V_P : Es el volumen Porcentual de Arena en la Muestra.

El ensayo de campo para las muestras *Muestra 1B* y *Muestra 1C*, se lleva a cabo de forma análoga al realizado para la *Muestra 1A* y se obtienen los resultados indicados en la Tabla 8, para las tres muestras.

Tabla 8*Decantación para las tres Muestras*

Muestras	$\frac{V_1}{(cm^3)}$	$\frac{V_2}{(cm^3)}$	$\frac{V_T}{(cm^3)}$	V_R	$\frac{V_P}{(\%)}$
1A	30	40	70	30/70	42.56
1B	40	34	74	40/74	54.05
1C	45	30	75	45/75	60.00

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 8 se tienen los primeros resultados correspondientes a la etapa de extracción del suelo, obteniéndose que ninguna de las tres muestras reúnen las características de los suelos buscados para el estudio de la presente tesis, es decir suelos con un 70 %, 75 % y 80 % de arena; esto implica que hay que seguir buscando los suelos deseados.

Entonces en el fundo de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, se realiza la búsqueda de una cuarta muestra cuya característica principal es que tenga un porcentaje de arena mayor al 80 %, esto se consiguió en dicho fundo y lo llamaremos *Muestra 1D*; a esta muestra se le realiza el estudio de campo-Decantación, al igual que las muestras anteriores y se obtiene el resultado dado en la Tabla 9.

Tabla 9*Decantación para la Muestra 1D*

Muestra	$\frac{V_1}{(cm^3)}$	$\frac{V_2}{(cm^3)}$	$\frac{V_T}{(cm^3)}$	V_R	$\frac{V_P}{(\%)}$
1D	52	8	60	52/60	86.67

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Observación: Para esta muestra, que es la que tiene mayor porcentaje de arena de todas, se puede apreciar con mayor claridad en la probeta los volúmenes correspondientes para la arena y limo-arcilla, para ello se presenta la Figura 8.

Figura 8

Decantación Muestra 1D; Datos obtenidos en el campo



Fuente: Elaboración propia

Resumiendo, de la Tabla 8 y Tabla 9, se tiene que:

Tabla 10*Decantación para las cuatro Muestras*

Muestras	$\frac{V_1}{(cm^3)}$	$\frac{V_2}{(cm^3)}$	$\frac{V_T}{(cm^3)}$	V_R	$\frac{V_P}{(\%)}$
1A	30	40	70	30/70	42.86
1B	40	34	74	40/74	54.05
1C	45	30	75	45/75	60.00
1D	52	8	60	52/60	86.67

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De las cuatro muestras dadas en la tabla 10, se descartan las muestras que tienen menor porcentaje de arena, estas son la *Muestra 1A* y *Muestra 1B*, quedándose con la *Muestra 1C* y *Muestra 1D* para el estudio del presente trabajo de Tesis. Entonces, para un mejor manejo de estas muestras, de ahora en adelante, a la *Muestra 1D* se la llama *Suelo A* y a la *Muestra 1C* se la llama *Suelo B*, esto se resume en la Tabla 11:

Tabla 11*Decantación para los suelos A y B*

Suelos	$\frac{V_1}{(cm^3)}$	$\frac{V_2}{(cm^3)}$	$\frac{V_T}{(cm^3)}$	V_R	$\frac{V_P}{(\%)}$
A	52	8	60	52/60	86.67
B	45	30	75	45/75	60.00

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.4.3. Selección de los suelos A y B.

En esta etapa, a partir de los *Suelos A y B*, definidos en la Tabla 11, se obtienen los *Suelos C*; es decir se seleccionan los suelos C1, C2 y C3 aptos para la elaboración de los ladrillos ecológicos propuestos en dicho trabajo.

Luego entonces se plantea el siguiente problema:

¿Dados los *Suelos A y B*, definidos en la Tabla 11, obtener los suelos arenosos deseados, es decir suelos al 70 %, 75 % y 80 % de arena?.

La solución para este problema, consiste en determinar los suelos con los porcentajes de arena indicados, esto se obtiene aplicando el trabajo de campo conocido como decantación, con esto se determina ¿qué volúmenes de los suelos A y B se deben combinar para determinar los suelos deseados, que se denominarán *Suelos C*?. Entonces para que se haga más clara la obtención de las ecuaciones, se toma como modelo o patrón para aplicar este método de decantación una muestra del *Suelo A*, por ser que para este caso se identifica muy claramente los volúmenes de arena y arcilla-limo presentes en esta muestra; esto se representa en la Figura 9.

Figura 9

Muestra Patrón; Datos obtenidos en el campo



Fuente:Elaboración propia

Donde:

- V_X , es el volumen de arena presente en la muestra.
- V_Y , es el volumen de arcilla-limo presente en la muestra.

entonces el volumen total de la muestra es $V_T = V_X + V_Y$

2.4.3.1. Método de decantación.

2.4.3.2. Procedimiento.

1. El volumen porcentual de arena en un suelo está definido como la razón del volumen de arena en el suelo y el volumen total del suelo multiplicado por 100 %, esto es:

$$V_{PS} = \frac{V_{ARENA}}{V_{TOTAL}} \times 100 \% \quad (13)$$

Mediante la ecuación (13) se obtiene el sistema de ecuaciones necesarias para hallar los volúmenes de los suelos A y B.

De la Figura 9, para el *suelo A* que tiene un porcentaje de arena $a = 86.67\%$, su volumen porcentual está dado por:

$$\frac{V_X}{V_X + V_Y} = \frac{a}{100} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_1}{V_1 + V_2} = \frac{a}{100} \quad (14)$$

donde V_1 y V_2 son los volúmenes de arena y arcilla-limo, respectivamente, de este suelo. El denominador de la ecuación (14) dado por $V_1 + V_2$ representa al volumen total de este suelo.

Ordenando la ecuación (14):

$$100 V_1 = a(V_1 + V_2) \quad \Rightarrow \quad (100 - a)V_1 - a V_2 = 0 \quad (15)$$

2. De la Figura 9, para el *suelo B* que tiene un porcentaje de arena $b = 60.00\%$, su volumen porcentual está dado por:

$$\frac{V_X}{V_X + V_Y} = \frac{b}{100} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_3}{V_3 + V_4} = \frac{b}{100} \quad (16)$$

donde V_3 y V_4 son los volúmenes de arena y arcilla-limo, respectivamente, de este suelo. El denominador de la ecuación (16) dado por $V_3 + V_4$ representa al volumen total de este suelo.

Ordenando la ecuación (16):

$$100 V_3 = b(V_3 + V_4) \quad \Rightarrow \quad (100 - b)V_3 - b V_4 = 0 \quad (17)$$

3. Ahora combinando los *suelos A* y *B* se obtiene una *primera mezcla* cuya característica principal es que sea un suelo arenoso o que tenga un porcentaje de arena c que

corresponde al suelo buscado que puede ser del 70 %, 75 % ó 80 %; matemáticamente este volumen porcentual se expresa en forma análoga a los porcentajes de los *suelos A* y *B*, de la Figura 9 se tiene:

$$\frac{V_X}{V_X + V_Y} = \frac{c}{100} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_1 + V_3}{V_1 + V_2 + V_3 + V_4} = \frac{c}{100} \quad (18)$$

Donde $V_1 + V_3$ y $V_2 + V_4$ son los volúmenes de arena y arcilla-limo, respectivamente, de esta nueva mezcla. El denominador de la ecuación (18) dado por $V_1 + V_2 + V_3 + V_4$ representa al volumen total de esta nueva mezcla.

Ordenando la ecuación (18):

$$\begin{aligned} 100(V_1 + V_3) &= c(V_1 + V_2 + V_3 + V_4) \\ (100 - c)V_1 - cV_2 + (100 - c)V_3 - cV_4 &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

4. Además esta nueva mezcla debe cumplir la condición que su volumen sea igual al que se emplea para aplicar el *método de decantación*; el volumen de esta mezcla es la cuarta parte del volumen de una probeta graduada (25 %) y las tres cuartas partes, volumen restante de la probeta, debe ser llenada con agua (75 %); pues se cuenta con una probeta graduada de 250 cc, pues se utiliza un volumen de 240 cc de la probeta, esto implica que el volumen de esta nueva mezcla debe ser 60 cc que se llamará volumen ***d***, porque este volumen puede variar dependiendo del volumen de la probeta, entonces esto matemáticamente se expresa como:

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = d \quad (20)$$

Entonces, en este problema se dispone de cuatro ecuaciones y también se cuenta con cuatro variables o incógnitas, esto indica que si se puede solucionar este sistema de

ecuaciones; el sistema de ecuaciones está definido por las ecuaciones (15), (17), (19) y (20), las cuales reagrupándolas éste sistema queda como:

$$\left. \begin{array}{cccc} (100 - a)V_1 & -aV_2 & & = 0 \\ & & (100 - b)V_3 & -bV_4 = 0 \\ (100 - c)V_1 & -cV_2 & +(100 - c)V_3 & -cV_4 = 0 \\ V_1 & +V_2 & +V_3 & +V_4 = d \end{array} \right\} \quad (21)$$

La solución al sistema de ecuaciones dada por la ecuación (21) se lleva a cabo mediante un código realizado en *Matlab* que se encuentra en el Anexo C, página 145; y este resultado, para $a = 86.67 \%$, $b = 60 \%$, $c = 70 \%$ y $d = 60 \text{ cm}^3$, se muestra o indica en la Tabla 12.

Tabla 12

Solución del sistema de ecuaciones.

Volúmenes	Suelo A		Suelo B	
	$V_1 (\text{cm}^3)$	$V_2 (\text{cm}^3)$	$V_3 (\text{cm}^3)$	$V_4 (\text{cm}^3)$
	19.4983	2.9989	22.5017	15.0011
	22.4972		37.5028	

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.4.4. Densidad de los suelos A y B.

Conocidos los volúmenes de los suelos A y B, para poder determinar sus respectivas masas es necesario conocer sus respectivas densidades; porque estas masas son indispensables

para poder determinar las mezclas para los ladrillos de suelos $C1$, $C2$ y $C3$ que son los requeridos en el presente trabajo de investigación.

2.4.4.1. Materiales e instrumentos.

1. 500 g de la muestra del suelo A.
2. 500 g de la muestra del suelo B.
3. 01 Probeta graduada (cm^3 .)
4. 01 Balanza digital (g.)

2.4.4.2. Procedimiento.

1. En una probeta, graduada en cm^3 , se miden 50 cm^3 del suelo A; y luego en una balanza, graduada en gramos, se mide la masa del suelo medido últimamente.
2. Se repite el paso anterior, ahora para un volumen de 60 cm^3 .
3. Aumentando el volumen del suelo en 10 cm^3 para cada medida, se sigue este proceso hasta obtener 10 datos; es decir 10 medidas para diferentes volúmenes del suelo.

En forma análoga se determina la densidad del suelo B.

2.4.5. Granulometría de los suelos A y B.

El análisis granulométrico de los suelos es uno de los ensayos más básicos y sencillos para caracterizar un suelo pero no por ello menos importante. La granulometría por tamizado consiste en confeccionar una **Curva granulométrica** de una muestra. Para ello se hace pasar la muestra seca por tamices o mallas con diferentes aberturas.

El objetivo de este ensayo es determinar los porcentajes de los diferentes tamaños de grano que presentan las muestras de los suelos A y B.

2.4.5.1. Materiales e instrumentos.

1. 500 g de la muestra del suelo A.
2. 500 g de la muestra del suelo B.
3. 01 Balanza con precisión de 1 g.
4. 01 Horno de secado, para la muestra,
hasta una temperatura de 110 °C.
5. 01 Juego de tamices.
6. Recipientes, cepillos.

Figura 10

Juego de tamices.



Fuente: Elaboración propia

2.4.5.2. Procedimiento.

1. Verter en un recipiente, seco y limpio, 200 g de la muestra del suelo A.
2. Pesar el recipiente con la muestra, para luego descontar el peso de la muestra.
3. Colocar el sistema, recipiente y muestra, en el horno por un tiempo de 24 horas, hasta una temperatura de 110 °C.
4. Se retira el sistema del horno, se deja enfriar y se pesa el sistema.
5. Se descuenta el peso del recipiente, para obtener así el peso de la muestra seca.
6. Luego se hace pasar por los diferentes tamices para granulometría de suelos dispuestos de mayor a menor abertura mediante una agitación, a esto se le conoce como el proceso de zarandeo.

7. Se pesa el material retenido en cada tamiz, con lo que conocido el peso inicial de la muestra, se determina el porcentaje de material que queda retenido en cada tamiz.

2.4.6. Límites líquido y plástico de los suelos A y B.

Los límites líquido y plástico de los suelos están definidos por los límites de Atterberg; éstos límites son ensayos de laboratorio normalizados que permiten obtener los límites del rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico.

2.4.6.1. Límite líquido de los suelos A y B.

2.4.6.2. Materiales e instrumentos.

1. 500 g de la muestra del suelo A.
2. 500 g de la muestra del suelo B.
3. 01 Espátula de metal.
4. 01 Acanalador.
5. 01 Tamiz N° 40.
6. 01 Copa Casagrande.
7. 01 Balanza de 1 g de precisión.
8. Recipientes y cepillos.
9. 01 Horno de secado a temperatura uniforme de 110°C.

2.4.6.3. Procedimiento.

1. Moler la muestra de suelo A (suelo B).
2. Esta muestra molida se pasa por la malla N°40, la cual retiene a partículas cuyo diámetro es mayor o igual a 0.425 mm .
3. Se mide aproximadamente una masa de 500 g del material que pasa esta malla.
4. En el recipiente de porcelana se introdujo una cierta cantidad de esta muestra con una cantidad de agua inicial y ésta se amasa con ayuda de una espátula hasta alcanzar una pasta homogénea en lo que respecta al grado humedad.
5. Esta masa se deja reposar un tiempo mínimo de 2 h para logra así una buena homogeneidad.
6. Se vertió una parte de esta masa en la cuchara de Casagrande y con ayuda de una espátula se compacta en su interior formando una superficie aproximadamente horizontal y lisa de unos 10 mm de espesor como máximo.
7. Se utilizó el acanalador de Casagrande para dividir la muestra, haciendo una ranura por el centro de la cuchara de Casagrande.
8. Se ubicó la cuchara de Casagrande en la máquina y se procede al golpeo de la cuchara desde una altura de 1 cm al hacer girar la manija de la máquina a una rapidez de 2 golpes/s , hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de aproximadamente 13 mm . Luego se registra el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
9. Del fondo de la cuchara de Casagrande se toma una cierta cantidad de la muestra y se mide su peso, esto es el peso del suelo húmedo y se registra.
10. Esta parte de la muestra se coloca en el horno hasta una temperatura de 110 °C y luego se pesa, este es el peso del suelo seco y se registra.
11. Repetir este proceso desde el ítem 3.6. al ítem 3.10. por lo menos dos veces más con el suelo restante en la vasija de porcelana, al que se le ha agregado agua suficiente para ponerlo en un estado de mayor fluidez.

2.4.6.4. Límite plástico de los suelos A y B.

2.4.6.5. Materiales e instrumentos.

1. Muestra del suelo A.
2. Muestra del suelo B.
3. 01 Placa de vidrio.
4. 01 Horno de secado a temperatura uniforme de 110 °C.

2.4.6.6. Procedimiento.

1. La preparación de la muestra es igual que para el ensayo de límite líquido, o bien se puede utilizar una porción del material que queda del ensayo de límite líquido.
2. Se toma una porción de suelo de aproximadamente 1 cm^3 y amasarla sobre el vidrio con la palma de la mano hasta formar bastoncillos o cilindros de 3 mm de diámetro aproximadamente.
3. Si el diámetro del cilindro es menor de 3 mm y no presenta fisuras, se dobla y se vuelve a amasar nuevamente, este paso se repite hasta lograr que el cilindro se fisure cuando alcance un diámetro de 3 mm .
4. El ensayo se da por finalizado cuando los cilindros obtenidos comienzan a fisurarse o agrietarse al alcanzar los 3 mm de diámetro.
5. Obtenido este estado se coloca las barritas en una cápsula (depósito) pesándola inmediatamente para luego ser llevada al horno a una temperatura de 110 °C.
6. Luego se retira esta muestra (cilindro) y se pesa, y esto representa el peso del suelo seco más cápsula.

Con estos datos obtenidos, se elabora la Tabla 25 dada en la página 84, para el suelo A; y la Tabla 26 dada en la página 86 para el suelo B.

2.4.7. Preparación de la mezcla.

En primer lugar se presenta un listado de los elementos que se usan en la mezcla y otro de los instrumentos usados en esta etapa:

Elementos de la mezcla, cuyas figuras se presentan en el Anexo B, Página 142:

1. Suelo A.
2. Suelo B.
3. Cemento Portland.
4. Agua.

Instrumentos para preparar la mezcla, cuyas figuras se presentan en el Anexo B, Página 144:

1. Una pala.
2. Una balanza.
3. Un par de guantes.
4. Un frasco o envase de coca cola.

2.4.7.1. Características de la mezcla para el suelo C1.

En esta sección, haciendo uso del código elaborado en *Matlab* que se encuentra en el anexo C , página 145, se determinan las masas los suelos **A**, **B**, el **cemento** y el **volumen de agua** para la elaboración de 1 ladrillo ecológico; y luego esto se repite para 2, 10 y 20 ladrillos; estos resultados se presentan en las tablas: 13, 14 y 15 para los suelos **C1**, **C2** y **C3** respectivamente.

Se toma como referencia, para preparar la mezcla, el material necesario para 10 ladrillos; esto se indica en la Tabla 13 y para una mayor comprensión de la preparación de la mezcla las masas de cada componente de estos ladrillos se encuentran en el anexo B, página 142. Se considera como una medida de volumen, para el agua, por cada ladrillo un

frasco o envase de coca cola de 550 mL, de ahora en adelante a esta medida de volumen se le llama frasco para un uso más práctico de medida de volumen en este trabajo.

Tabla 13

Dosificación, de las componentes de la mezcla y agua, para el suelo C1; 70 % de arena

N	Suelo A	Suelo B	Cemento	Mezcla	Volumen de Agua	
	Masas (g)				(cm ³)	Frascos
1	1157	1760	583	3500	550	1
2	2314	3519	1167	7000	1100	2
10	11570	17597	5833	35000	5500	10
20	23139	35194	11667	70000	11000	20

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.4.7.2. Procedimiento.

1. Una vez obtenidas las masas requeridas de los suelos A, B y del cemento; con una pala se procede a dar 3 o 4 vueltas a esta mezcla hasta obtener un color homogéneo de ésta; y luego esta mezcla se le acomoda en forma de hoyo en su centro, de tal manera que en ella se pueda verter agua.
2. Se agrega en el centro de la mezcla, la octava parte del volumen de agua especificado en la Tabla 13, en este caso 8 frascos o su equivalente que es 4400 cm³ de agua y se deja reposar por un tiempo de 10 minutos.
3. A los 10 minutos, de haber reposado la muestra con agua, se procede a dar una primera vuelta a toda la mezcla en forma homogénea pero tratando de evitar que ésta forme

grumos o bolas de mezcla, en caso de formarse grumos se tiene que ir destruyéndolos a medida que se va dando vuelta a la mezcla. Se vierte un frasco más de agua, y nuevamente se procede a dar una segunda vuelta a toda la mezcla al igual que en la primera vuelta. Finalmente se vierte un frasco más de agua, con esto se completa la dosis de agua para toda la mezcla (10 frascos), y se procede a dar la última vuelta o voltear toda la mezcla.

4. Se deja reposar esta mezcla preparada por un tiempo de 30 a 45 minutos, para que frague el cemento y tome mayor compactación con la mezcla.

Con esto, esta mezcla queda lista para realizar el moldeado de los ladrillos.

Todo esto se ha realizado para el suelo **C1**; para los suelos **C2** y **C3** se siguen los mismos pasos o criterios con la única diferencia que se tiene que modificar son las cantidades de: **Suelo A** , **Suelo B**, **Cemento** y **agua**, pero estas cantidades se encuentran calculadas en la Tabla 14 y Tabla 15 para los suelos *C2* y *C3* respectivamente.

2.4.7.3. Características de la mezcla para el suelo C2.

Tabla 14

Dosificación, de las componentes de la mezcla y agua, para el suelo C2; 75 % de arena

N	Suelo A	Suelo B	Cemento	Mezcla	Volumen de Agua	
	Masas (g)				(cm ³)	Frascos
1	1706	1211	583	3500	550	1
2	3412	2422	1167	7000	1100	2
10	17058	12109	5833	35000	5500	10
20	34116	24217	11667	70000	11000	20

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.4.7.4. Características de la mezcla para el suelo C3.

Tabla 15

Dosificación, de las componentes de la mezcla y agua, para el suelo C3; 80 % de arena

N	Suelo A	Suelo B	Cemento	Mezcla	Volumen de Agua	
	Masas (g)				(cm ³)	Frascos
1	2236	680	583	3500	550	1
2	4472	1361	1167	7000	1100	2
10	22362	6805	5833	35000	5500	10
20	44724	13609	11667	70000	11000	20

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

2.4.8. Moldeado de los ladrillos.

Para dar inicio a esta etapa, de elaboración de ladrillos, se cuenta con la mezcla y la máquina con la cual se va a moldear el ladrillo completamente preparadas; esta máquina denominada Máquina Compactadora **CINVA-RAM** se muestra en el anexo B, Figura 24, página 141.

2.4.8.1. Procedimiento.

1. Primeramente, el molde del ladrillo, que es parte de la máquina, se le limpió con una franela o trapo húmedo, asegurando que éste en su interior quede completamente limpio y libre de cualquier cuerpo ajeno a él, luego se pasa por todo el contorno del molde un poco de arenilla, para que la muestra al ser compactada no quede pegada en los contornos del molde.
2. Se cargó la Máquina con mezcla, por medio de la tolva, aproximadamente para *cuatro*

ladrillos dependiendo de la capacidad de la tolva, luego se jala horizontalmente una pequeña placa de la máquina y ésta traslada horizontalmente la mezcla hasta llenar el molde del ladrillo y se tapa.

3. A una palanca de aproximadamente 1.5 *m* de longitud se le aplicó una fuerza, y ésta comunica una nueva fuerza a la base del molde, la cual trata de desplazarlo hacia arriba comprimiendo así la mezcla que se encuentra dentro del molde, a esta palanca se le dá dos a tres golpes hacia abajo, con la misma intensidad, para comprimir lo máximo que se pueda la mezcla que se encuentra en el molde.
4. Luego se destapó el molde y con una palanca de 0.5 *m* de longitud, que está unida a la máquina, se le presiona hacia abajo la cual permite que el ladrillo se desplace hacia arriba quedando éste libre, como se muestra en el Anexo B, Figura 24, de la página 141 luego el ladrillo se coloca en una placa lisa para poderlo manipular con más facilidad evitando así que éste se deforme, y se traslada hacia un lugar plano y liso y acá se rocía con una pequeña cantidad de agua, pero evitando que los filos o bordes del ladrillo se deformen.
5. Repetir este paso hasta terminar con la mezcla preparada.
6. Una vez terminada la mezcla preparada, a los ladrillos elaborados se le deja reposar por un tiempo de 1 hora.
7. Luego estos ladrillos se depositan en una fuente o depósito lleno de agua por el tiempo de una hora y luego se traslada a una superficie plana, lisa y que estén protegidos del sol, lluvia y aire hasta el siguiente día.

2.4.9. Curación de los ladrillos.

El curado de los ladrillos es un paso muy importante que debe ser tomado con cuidado. Descuidarse de este etapa podría hechar a perder todo el trabajo que se haya hecho antes. La humedad de los ladrillos debe salir lenta y uniformemente.

La etapa de curación consiste en hidratar los ladrillos y esta se puede dar de dos forma, la primera es con una regadera mojar todos los ladrillos y la segunda consiste en depositar los ladrillos en un depósito y llenar este depósito con agua hasta cubrirlos totalmente; en nuestro caso se ha considerado la segunda forma, la cual se detalla en seguida.

2.4.9.1. Procedimiento.

1. Se preparan fuentes o depósitos con agua y en éstas se colocan los ladrillos, teniendo en cuenta que éstos no estén en contacto entre ellos para evitar que sus aristas y vértices sufran deformaciones, esto se realiza por un tiempo de 5 *minutos*, y luego éstos se retiran del depósito, se los traslada y ubican en una superficie plana, lisa y que estén protegidos del aire y sol. Si la superficie es el piso, el ladrillo y piso no deben tener contacto, pues entre ellos se ubica papel para evitar que el ladrillo pierda rápidamente la humedad; esta pérdida de humedad debe ser lenta y en forma progresiva.
2. Este baño de 5 *minutos* se realizó dos veces al día, aproximadamente en el turno de la mañana entre las 6.00 *h* y 7.00 *h* y en la tarde entre las 18.00 *h* y 19.00 *h*.
3. El tiempo de curación es de 10 días.
4. Con esto se concluye la etapa de curación para los 10 primeros ladrillos, luego se realiza lo mismo para los 10 ladrillos restantes del suelo *C1*. Se realiza los mismos pasos para los ladrillos de suelo *C2* y *C3*.

2.4.10. Secado de los ladrillos.

Una vez concluida la etapa de curación de los ladrillos, empieza la etapa de secado; es decir al día número once o décimo primer día de edad de los ladrillos, en la cual se considera lo siguiente:

2.4.10.1. Procedimiento.

1. Se colocaron los ladrillos en filas, apoyando su lado de mayor área en el piso o suelo como se muestra en la Figura 11, protegiéndolos del sol; dejándolos por un tiempo de 10 días.
2. Al décimo primer día o día once, de esta etapa, se gira a los ladrillos un ángulo de 90° , de tal manera que el lado de área intermedia esté en contacto con el piso o suelo como se muestra en la Figura 12, en esta posición los ladrillos deben permanecer por un tiempo de 10 días.

Con esto termina la etapa de secado de los ladrillos, contando éstos con una edad de 30 días, los cuales deben estar listos para ser usados en la construcción.

Figura 11

Secado de los ladrillos, parte inicial



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Secado de los ladrillos, parte final



Fuente: Elaboración propia

2.4.11. Densidad de los ladrillos.

2.4.11.1. Fundamento teórico

Esta magnitud física está definida por la ecuación (3), dada en la página 29.

2.4.11.2. Materiales e instrumentos.

1. 60 Ladrillos suelo-cemento.
2. 01 Regla milimetrada.
3. 01 Balanza de precisión 1g.

2.4.11.3. Procedimiento.

1. Medir las tres aristas del ladrillo.
2. Medir la masa del ladrillo.
3. Repetir los ítem 1 y 2 para los 20 ladrillos de cada tipo de suelo.

2.4.12. Resistencia a compresión de los ladrillos.

2.4.12.1. Fundamento teórico

Esta magnitud física está definida por la ecuación (4), dada en la página 30.

2.4.12.2. Materiales e instrumentos.

1. 63 ladrillos suelo-cemento.
2. 01 Máquina de compresión.
3. 01 Placa de cartón.
4. 01 Regla milimetrada.

2.4.12.3. Procedimiento.

1. Medir el área mayor del ladrillo, es decir el área donde la fuerza incide en forma perpendicular.
2. Igualar las áreas de las caras de la muestra (Área mayor), de tal manera que queden planas y paralelas.
3. Colocar el ladrillo suelo-cemento con su área mayor sobre la base de la máquina de compresión, éste se le centra respecto al bloque superior de la máquina.
4. Sobre la muestra se coloca una placa metálica (cartón) de una dimensión parecida al área de la muestra, ésta debe estar centrada, con la finalidad de hacer una mejor distribución de fuerzas.
5. Se baja el vástago a una velocidad constante manipulando lentamente la rótula hasta que llegue a hacer contacto sobre la superficie del ladrillo.
6. Se encera el dial y la máquina empieza a comprimir la muestra.
7. Cuando el ladrillo empieza a agrietarse, se registra la carga máxima de rotura; la máquina tiene una escala analógica en unidades de \vec{kg} .
8. Conocida esta fuerza y el área mayor del ladrillo, se puede determinar la resistencia a la compresión del ladrillo.
9. Repetir, los pasos anteriores, para los 20 ladrillos de cada tipo de suelo.

2.4.13. Calor específico de los ladrillos.

2.4.13.1. Fundamento teórico

Esta magnitud física, su fundamento teórico está desarrollado en el Anexo G, página 167, y su evaluación experimental está dada por la ecuación (3).

2.4.13.2. Materiales e instrumentos.

1. 03 Muestras de ladrillo (Muestras C1, C2 y C3).
2. Agua.
3. 01 Balanza.
4. 01 Calorímetro.
5. 01 Cocina eléctrica.
6. 01 Vaso pirex.
7. 02 Termómetros.

2.4.13.3. Procedimiento.

1. Se vierte, en el calorímetro, una cantidad de agua de tal manera que cuando la muestra se encuentre dentro del calorímetro sea cubierta en su totalidad; en este caso se escogió una masa $m_1 = 200\text{ g}$ de agua y que se encuentra a temperatura ambiente $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.
2. A la muestra se le hizo una perforación, de tal manera que por ella pase una cuerda (Hilo pabilo) y facilite su manejo de ésta cuando esté caliente, es decir que la muestra quede amarrada por la cuerda de una longitud tal que facilite el manejo de la muestra dentro del calorímetro.
3. Esta muestra con la cuerda se ubica dentro del vaso pirex con agua, tal que cubra toda la muestra; a este sistema obtenido se calienta por medio de una cocina eléctrica hasta una temperatura, la cual puede ser variable, $T_{2M} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este valor numérico puede ser variable.
4. Por medio de la cuerda, se extrae esta muestra y se introduce en el calorímetro que se encuentra con agua a temperatura ambiente y se tapa.

5. Se agita el agua dentro del calorímetro, por medio de un agitador que es propio del calorímetro, para que la transferencia del calor sea más rápido.
6. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se mide esta temperatura obteniéndose así la temperatura de equilibrio $T_E = 27.5^{\circ}C$.
7. Repetir este proceso por cinco veces.

2.4.14. Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.

2.4.14.1. Fundamento teórico

Esta magnitud física, su fundamento teórico está desarrollado en el Anexo G, página 171, y su evaluación experimental está dada por la ecuación (15).

2.4.14.2. Materiales e instrumentos.

1. 03 Muestras de ladrillo (Muestras C1, C2 y C3).
2. 01 Equipo para medir el coeficiente de conductividad térmica (κ).
3. 02 Termómetros.
4. 01 Bombilla de **60 W**.
5. 01 Cronómetro.
6. 01 Zócate.
7. 01 Extensión.
8. 20 **cm³** de aceite comestible.

2.4.14.3. Procedimiento.

1. Se realizó dos orificios en el ladrillo en la dimensión que corresponde a su altura en la línea central y perpendicular a la longitud del ladrillo, de tal manera que éste quede dividido en dos partes iguales.
2. La distancia entre los orificios es de **3.5 cm**.
3. Se conecta el ladrillo al equipo.
4. Se agrega aceite en los orificios del ladrillo.
5. Se conectan los termómetros en los orificios realizados en el ladrillo.
6. Se instala la bombilla en el equipo.
7. Se conecta la extensión a la red eléctrica.
8. Una vez instalado completamente el equipo, a los 10 *minutos* tomar las medidas dadas por los termómetros T_A y T_B , donde $T_A > T_B$.
9. Repetir el paso anterior, hasta obtener 24 datos, en intervalos de tiempo de 10 *minutos*; para este tiempo el proceso de conducción de calor se vuelve estable.

2.5. Evaluación ambiental.

Las evaluación de las emisiones de contaminantes se llevó a cabo el 23 de Agosto del 2019 en el lugar donde se elaboraron los ladrillos suelo-cemento; éstas mediciones se realizaron con instrumentos de última generación con la precisión requerida y debidamente calibrados antes de su uso.

2.5.1. Instrumentos utilizados.

1. Analizador de gases.

Tabla 16

Instrumentos para medir gases

MARCA	MODELO	MIDE
ECOTECH	SERINUS	SO_2 y H_2S .
ECOTECH	SERINUS	NOX .
ECOTECH	SERINUS	CO .
ECOTECH	SERINUS	O_3 .

2. Muestreador de $PM_{2.5}$

Equipo: MICRO VOL 1100, marca ECOTECH para medir $PM_{2.5}$

2.6. Técnicas para el procesamiento de datos e interpretación de los resultados.

Para el procesamiento de datos se han utilizado tres software, el *Matlab*, *Excel* y *CorelDraw 2019*; donde el *Matlab* se ha utilizado para elaborar el código o programa, para la interpretación de resultados se ha utilizado específicamente el *Excel* y para la elaboración de las figuras el *CorelDraw 2019*.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. Densidad de los suelos A y B.

En el presente capítulo se determinan, en forma experimental, en primer lugar la densidad de los suelos A y B. Es necesario conocer las densidad de estos dos suelos porque mediante una combinación apropiada de ellos se obtienen los suelos *C1*, *C2* y *C3* que son los requeridos, en el presente trabajo de investigación, para la elaboración de los ladrillos suelo-cemento. Luego se determinan la densidad, resistencia a compresión, calor específico y coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos suelo-cemento.

3.1.1. Densidad del suelo A.

A partir de la Tabla 17, se obtiene que la densidad del suelo A varió desde 1.35 g/cm^3 hasta 1.38 g/cm^3 , obteniéndose una densidad promedio de 1.37 g/cm^3 .

3.1.2. Densidad del suelo B.

A partir de la Tabla 17, se obtiene que la densidad del suelo B varió desde 1.24 g/cm^3 hasta 1.28 g/cm^3 , obteniéndose una densidad promedio de 1.25 g/cm^3 .

Tabla 17
Densidad de los suelos A y B

N	Suelo A			Suelo B		
	Volumen (cm^3)	Masa (g)	Densidad (g/cm^3)	Volumen (cm^3)	Masa (g)	Densidad (g/cm^3)
1	50	69	1.38	50	64	1.28
2	60	82	1.37	60	75	1.25
3	70	95	1.36	70	88	1.26
4	80	108	1.35	80	100	1.25
5	90	122	1.36	90	113	1.26
6	100	137	1.37	100	125	1.24
7	110	150	1.36	110	136	1.24
8	120	165	1.38	120	150	1.25
9	130	177	1.36	130	162	1.25
10	140	192	1.37	140	178	1.27
Densidad promedio			1.37	1.25		

Datos obtenidos en el laboratorio de Física; U N P R G (Fuente: Elaboración propia)

De la Tabla 17, se obtiene el valor medio o promedio de las densidades de los suelos A y B, las cuales vienen dadas, respectivamente, por las ecuaciones (22) y (23).

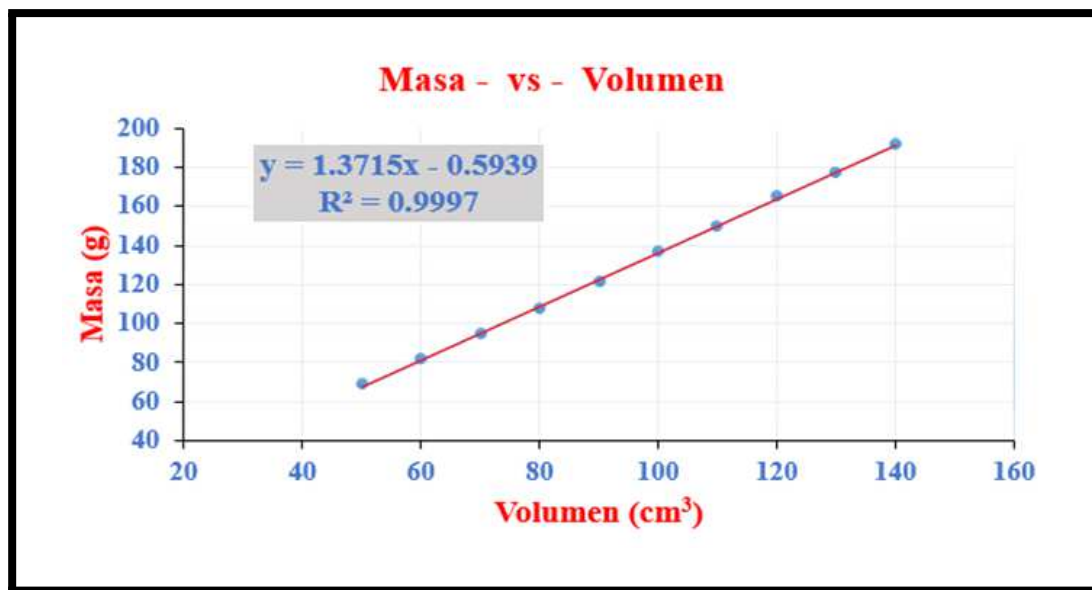
$$\bar{D}_A = 1.37 \text{ g/cm}^3 \quad \text{ó} \quad \bar{D}_A = 1370 \text{ kg/m}^3 \quad (22)$$

$$\bar{D}_B = 1.25 \text{ g/cm}^3 \quad \text{ó} \quad \bar{D}_B = 1250 \text{ kg/m}^3 \quad (23)$$

Los valores de estas densidades también se pueden determinar aplicando el método de los mínimos cuadrados, obteniéndose la recta estimada para cada suelo a partir de la Tabla 17, estas rectas se representan en la Figura 13 y Figura 14 donde la pendiente de cada recta estimada representan numéricamente la densidad de suelo A y suelo B, respectivamente.

Figura 13

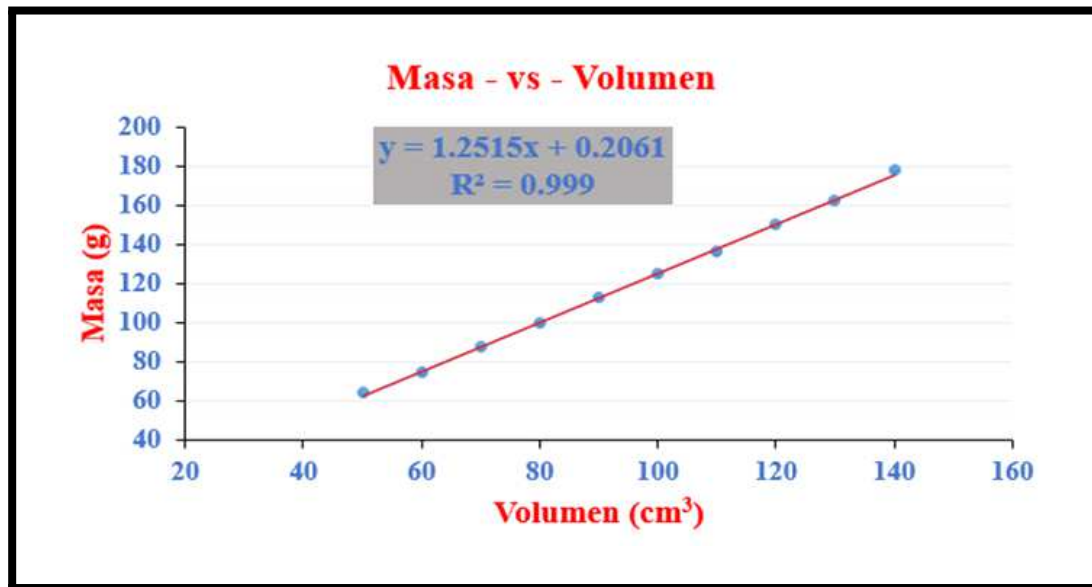
Densidad del suelo A.



Fuente: Elaboración propia

De la Figura 13, la pendiente de la recta es $b = 1.37$, entonces la densidad de este suelo es:

$$D_A = 1.37 \text{ g/cm}^3 \quad (24)$$

Figura 14*Densidad del suelo B.*

Fuente: Elaboración propia

De la Figura 14, la pendiente de la recta es $b = 1.25$, entonces la densidad de este suelo es:

$$D_B = 1.25 \text{ g/cm}^3 \quad (25)$$

Luego, del sistema de ecuaciones dado por la ecuación (21) y las densidades de los suelos A y B dadas por las ecuaciones (22) y (23), respectivamente; las cuales se solucionan haciendo uso del código realizado en *Matlab* el cual se presenta en el anexo C, página 145, se obtienen las masas y sus respectivas densidades de los suelos C1, C2 y C3; las cuales se indican, respectivamente, en las Tablas: 18, 19 y 20.

Tabla 18
Características del Suelo C1; 70 % de arena

Suelo A					Suelo B					Suelo C1	
V ₁	V ₂	M	D	V _P	V ₃	V ₄	M	D	V _P	D	V _P
cm ³		g	g/cm ³	%	cm ³		g	g/cm ³	%	g/cm ³	%
19.50	3.00	30.82	1.37	86.67	22.50	15.00	46.88	1.25	60.00	1.29	70.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19
Características del Suelo C2; 75 % de arena

Suelo A					Suelo B					Suelo C2	
V ₁	V ₂	M	D	V _P	V ₃	V ₄	M	D	V _P	D	V _P
cm ³		g	g/cm ³	%	cm ³		g	g/cm ³	%	g/cm ³	%
29.25	4.50	46.23	1.37	86.67	15.75	10.50	32.82	1.25	60.00	1.32	75.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20
Características del Suelo C3; 80 % de arena

Suelo A					Suelo B					Suelo C3	
V_1	V_2	M	D	V_P	V_3	V_4	M	D	V_P	D	V_P
cm^3		g	g/cm^3	%	cm^3		g	g/cm^3	%	g/cm^3	%
39.00	6.00	61.64	1.37	86.67	9.00	6.00	18.76	1.25	60.00	1.34	80.00

Fuente: Elaboración propia

3.2. Granulometría de los suelos A y B.

3.2.1. Granulometría del suelo A.

Muestra = Suelo A ; Peso de la muestra = 200.00 \vec{g}
 Peso de la muestra seca = 182.25 \vec{g} ; Pesos finos lavados = 17.75 \vec{g}

Tabla 21
Granulometría del suelo A

	Tamices ASTM (Pul)	Abertura (mm)	Peso Retenido (\vec{g})	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
GRAVAS	3"	75.00	0	0	0	100.00
	2"	50.00	0	0	0	100.00
	1 1/2"	38.10	0	0	0	100.00
	1"	25.00	0	0	0	100.00
	3/4"	19.00	0	0	0	100.00
	1/2"	12.50	0	0	0	100.00
	3/8"	9.50	0	0	0	100.00
ARENAS	N° 4	4.75	0	0	0	100.00
	N° 10	2.00	0.14	0.07	0.07	99.93
	N° 20	0.85	0.36	0.18	0.25	99.75
	N° 40	0.425	0.84	0.42	0.67	99.33
	N° 50	0.30	7.61	3.81	4.48	95.53
	N° 100	0.15	123.79	61.90	66.37	33.63
FINOS	N° 200	0.074	48.10	24.05	90.42	9.58
	Platillo		1.41			
	Platillo + Pérdida por lavado		19.16	9.58	100.00	
			200	100.00		

Datos obtenidos en el laboratorio de suelos-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

3.2.2. Granulometría del suelo B.

Muestra = Suelo B ; Peso de la muestra = 200.00 \vec{g}
 Peso de la muestra seca = 70.96 \vec{g} ; Pesos finos lavados = 129.04 \vec{g}

Tabla 23
Granulometría del suelo B

	Tamices ASTM (Pulg)	Abertura (mm)	Peso Retenido (\vec{g})	% Parcial Retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa
GRAVAS	3"	75.00	0	0	0	100.00
	2"	50.00	0	0	0	100.00
	1 1/2"	38.10	0	0	0	100.00
	1"	25.00	0	0	0	100.00
	3/4"	19.00	0	0	0	100.00
	1/2"	12.50	0	0	0	100.00
	3/8"	9.50	0	0	0	100.00
ARENAS	N° 4	4.75	0	0	0	100.00
	N° 10	2.00	0.16	0.08	0.08	99.92
	N° 20	0.85	0.88	0.44	0.52	99.48
	N° 40	0.425	2.00	1.00	1.52	98.48
	N° 50	0.30	6.12	3.06	4.58	95.42
	N° 100	0.15	41.12	20.56	25.14	74.36
FINOS	N° 200	0.074	20.36	10.18	35.32	64.68
Platillo			0.32			
Platillo + Pérdida por lavado			129.36	64.68	100.00	
			200	100.00		

Datos obtenidos en el laboratorio de suelos-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

De la tabla 23 se obtienen los datos registrados en la Tabla 24.

Tabla 24

Fracciones del suelo B (%)

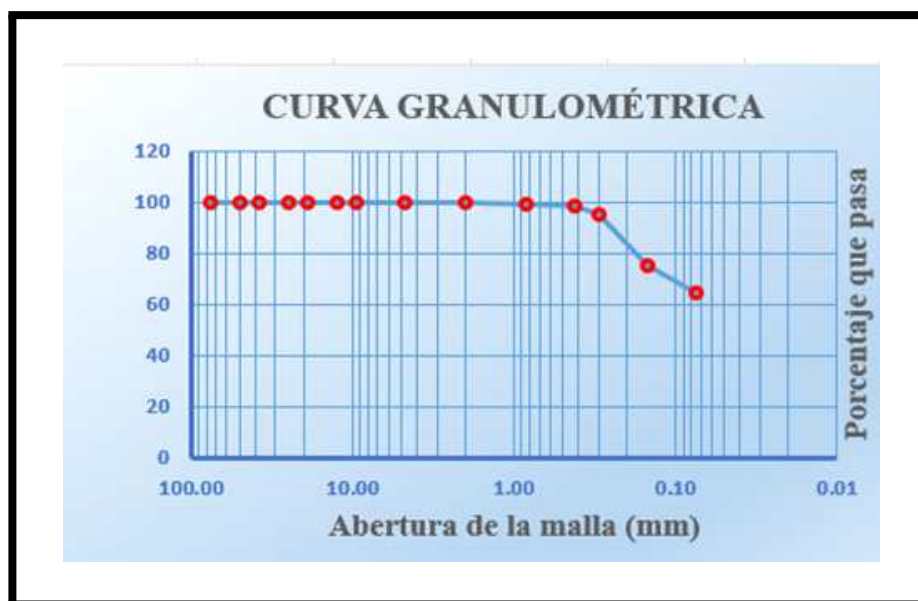
Grava	0	Gruesa Fina	0
Arena	35.32	Gruesa Media Fina	0.08 1.44 33.80
Finos	64.68		

Datos obtenidos en el laboratorio de suelo-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

A partir de la Tabla 23 se construye la Figura 16; en la cual en el eje de las abcisas se representa *La abertura de la malla*, en milímetros (*mm*), a escala logarítmica y en el eje de las ordenadas se representa el porcentaje del suelo que pasa una por una malla.

Figura 16

Granulometría del suelo B.



Datos obtenidos en el laboratorio de suelos-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

3.3. Límites líquido y plástico de los suelos.

3.3.1. Límites líquido y plástico del suelo A.

Tabla 25

Límites líquido y plástico del suelo A

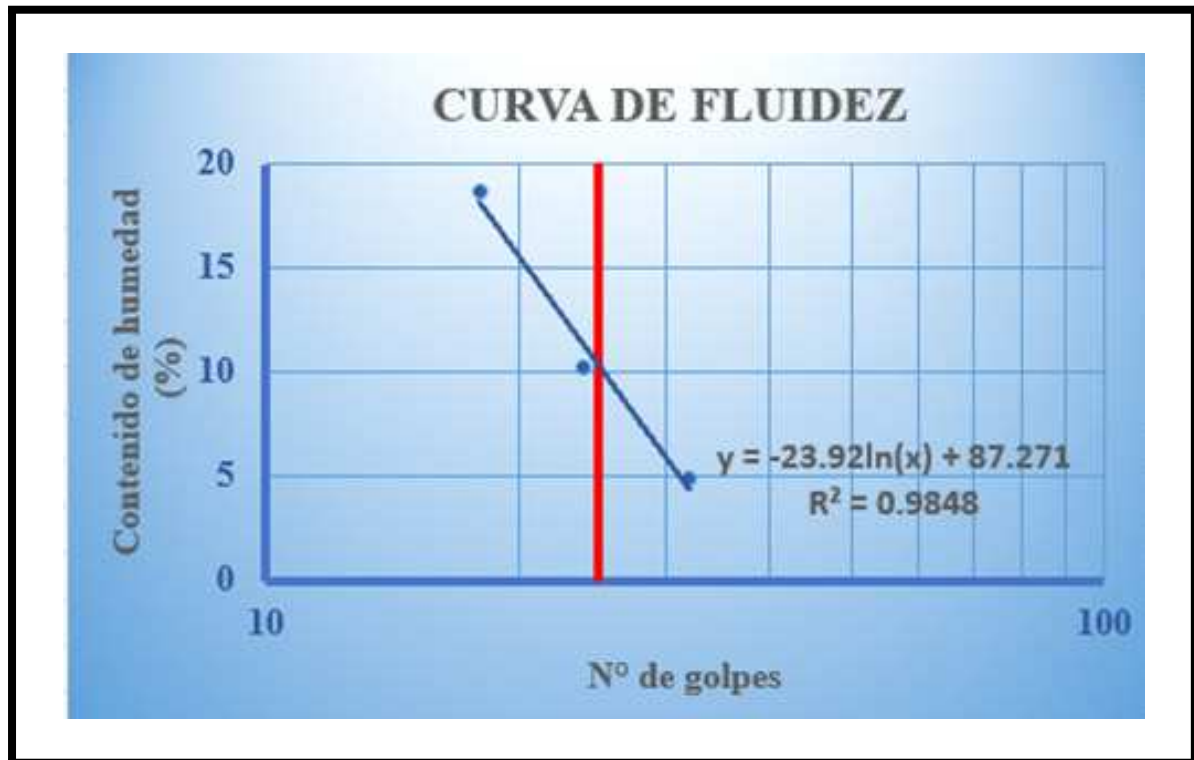
Datos	Límite Líquido			L. Plástico
	10.94			7.20
Muestra	SUELO A			
Cápsula N°	251	187	20	148
1. Peso suelo húmedo + cápsula (\vec{g})	48.47	49.36	47.36	42.95
2. Peso suelo seco + cápsula (\vec{g})	47.21	46.79	43.28	41.52
3. Peso del agua (\vec{g})	1.26	2.57	4.08	1.43
4. Peso de la cápsula (\vec{g})	21.39	21.80	21.39	21.66
5. Peso suelo seco (\vec{g})	25.82	24.99	21.89	19.86
6. % de humedad	4.88	10.28	18.64	7.20
N° de golpes	32.00	24.00	18.00	

Datos obtenidos en el laboratorio de suelo-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

A partir de la Tabla 25 se construye la Figura 17; en la cual en el eje de las abcisas se representa *El número de golpes* a escala logarítmica y en el eje de las ordenadas se representa *El contenido de humedad en %* a escala aritmética.

Figura 17

Límite líquido del suelo A.



Datos obtenidos en el laboratorio de suelo-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

3.3.2. Límites líquido y plástico del suelo B.

Tabla 26

Límites líquido y plástico del suelo B

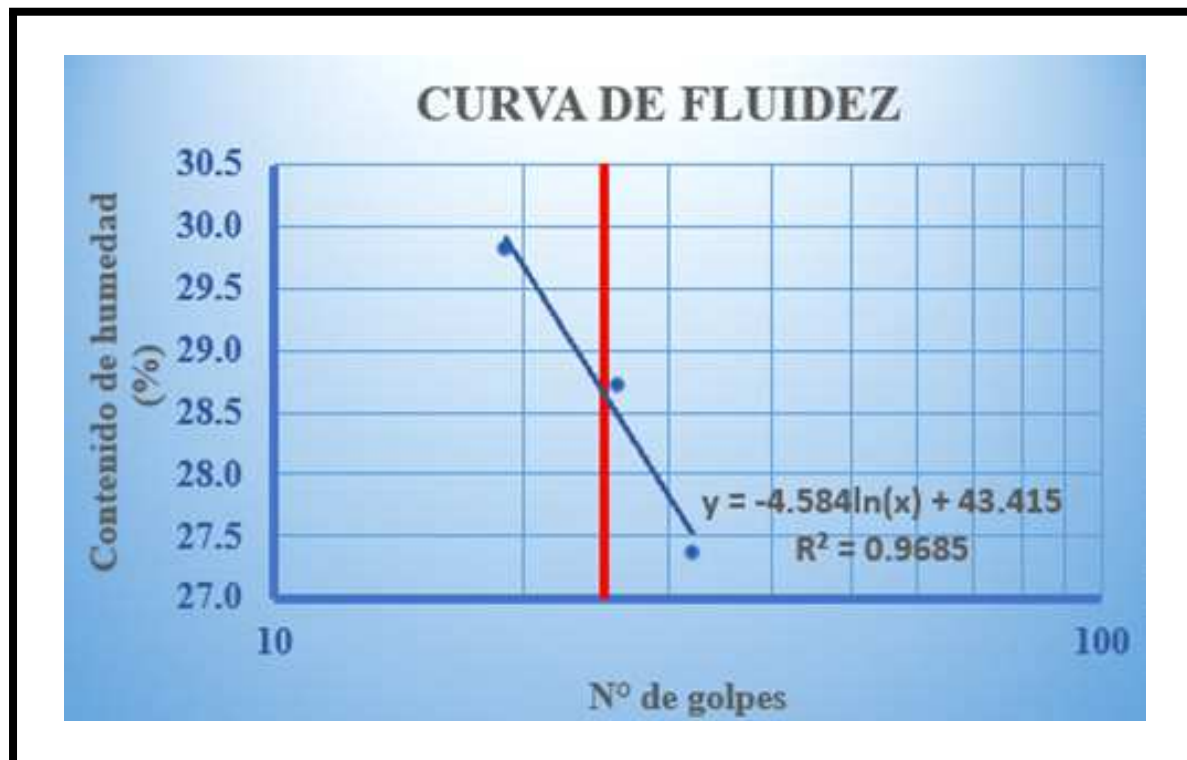
Datos	Límite Líquido			L. Plástico
	28.77			12.00
Muestra	SUELO B			
Cápsula N°	320	219	311	281
1. Peso suelo húmedo + cápsula (\vec{g})	46.93	40.71	46.61	41.00
2. Peso suelo seco + cápsula (\vec{g})	41.38	36.51	40.84	38.89
3. Peso del agua (\vec{g})	5.55	4.20	5.77	2.11
4. Peso de la cápsula (\vec{g})	21.11	21.89	21.49	21.30
5. Peso suelo seco (\vec{g})	20.27	14.62	19.35	17.59
6. % de humedad	27.38	28.73	29.81	12.00
N° de golpes	32.00	26.00	19.00	

Datos obtenidos en el laboratorio de suelo-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

A partir de la Tabla 26 se construye la Figura 18; en la cual en el eje de las abcisas se representa *El número de golpes* a escala logarítmica y en el eje de las ordenadas se representa *El contenido de humedad en %* a escala aritmética.

Figura 18

Límite líquido del suelo B.



Datos obtenidos en el laboratorio de suelo-FICSA (Fuente: Elaboración propia)

3.4. Densidad de los ladrillos.

3.4.1. Ladrillos de suelo C1.

Las dimensiones del ladrillo, medidas con una regla milimetrada fueron: Longitud 22.9 cm , ancho 13.1 cm , su altura varió desde 6.1 cm hasta 6.7 cm y su densidad varió desde 1702 kg/m^3 hasta 1905 kg/m^3 . La densidad promedio fue 1807 kg/m^3 , con una desviación estándar de 60.18 kg/m^3 y un coeficiente de variación de 3.33% , como se presenta en la Tabla 27.

3.4.2. Ladrillos de suelo C2.

Las dimensiones del ladrillo, medidas con una regla milimetrada fueron: Longitud 22.9 cm , ancho 13.1 cm , su altura varió desde 6.2 cm hasta 6.8 cm y su densidad varió desde 1778 kg/m^3 hasta 1938 kg/m^3 . La densidad promedio fue 1868 kg/m^3 , con una desviación estándar de 46.46 kg/m^3 y un coeficiente de variación de 2.49% , como se presenta en la Tabla 28.

3.4.3. Ladrillos de suelo C3.

Las dimensiones del ladrillo, medidas con una regla milimetrada fueron: Longitud 22.9 cm , su ancho varió desde 13.0 cm hasta 13.1 cm , su altura varió desde 6.3 cm hasta 6.9 cm y su densidad varió desde 1837 kg/m^3 hasta 1974 kg/m^3 . La densidad promedio fue 1900 kg/m^3 , con una desviación estándar de 37.22 kg/m^3 y un coeficiente de variación de 1.96% , como se presenta en la Tabla 29.

Tabla 27*Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C1*

Muestra	Longitud	Ancho	Altura	Área	Volumen	Masa	Densidad	
N°	(cm)			(cm ²)	(cm ³)	(g)	(g/cm ³)	(kg/m ³)
1	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3369	1.73	1728
2	22.9	13.1	6.1	299.99	1829.94	3115	1.70	1702
3	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3377	1.73	1732
4	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3468	1.75	1752
5	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3467	1.78	1778
6	22.9	13.1	6.1	299.99	1829.94	3377	1.85	1845
7	22.9	13.1	6.4	299.99	1919.94	3390	1.77	1766
8	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3829	1.91	1905
9	22.9	13.1	6.2	299.99	1859.94	3218	1.73	1730
10	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3484	1.79	1787
11	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3550	1.77	1766
12	22.9	13.1	6.1	299.99	1829.94	3472	1.90	1897
13	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3555	1.82	1823
14	22.9	13.1	6.3	299.99	1889.94	3556	1.88	1882
15	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3686	1.83	1834
16	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3609	1.82	1823
17	22.9	13.1	6.2	299.99	1859.94	3432	1.85	1845
18	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3661	1.85	1849
19	22.9	13.1	6.3	299.99	1889.94	3499	1.85	1851
20	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3643	1.84	1840
Densidad promedio (\bar{D})							1.81	1807
Desviación estándar (S)							0.06	60.18
Coeficiente de variación (C_V) [%]							3.33	3.33

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 28*Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C2.*

Muestra	Longitud	Ancho	Altura	Área	Volumen	Masa	Densidad	
N°	(cm)			(cm ²)	(cm ³)	(g)	(g/cm ³)	(kg/m ³)
1	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3693	1.87	1865
2	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3633	1.81	1808
3	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3604	1.82	1820
4	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3520	1.78	1778
5	22.9	13.1	6.3	299.99	1889.94	3605	1.91	1907
6	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3582	1.81	1809
7	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3629	1.81	1806
8	22.9	13.1	6.2	299.99	1859.94	3545	1.91	1906
9	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3622	1.83	1829
10	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3659	1.88	1876
11	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3780	1.88	1881
12	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3874	1.93	1927
13	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3807	1.89	1894
14	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3806	1.89	1894
15	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3931	1.93	1927
16	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3694	1.87	1866
17	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3824	1.90	1903
18	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3771	1.85	1849
19	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3814	1.87	1870
20	22.9	13.1	6.4	299.99	1919.94	3721	1.94	1938
Densidad promedio (\bar{D})							1.87	1868
Desviación estándar (S)							0.05	46.46
Coeficiente de variación (C_V)[%]							2.49	2.49

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 29*Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C3.*

Muestra	Longitud	Ancho	Altura	Área	Volumen	Masa	Densidad	
N°	(cm)			(cm ²)	(cm ³)	(g)	(g/cm ³)	(kg/m ³)
1	22.8	13.0	6.8	296.40	2015.52	3868	1.92	1919
2	22.8	13.0	6.6	296.40	1956.24	3605	1.84	1843
3	22.9	13.1	6.3	299.99	1889.94	3497	1.85	1850
4	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3748	1.84	1837
5	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3916	1.92	1920
6	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3681	1.86	1859
7	22.9	13.1	6.3	299.99	1889.94	3644	1.93	1928
8	22.9	13.1	6.5	299.99	1949.94	3664	1.88	1879
9	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3679	1.86	1858
10	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3938	1.93	1930
11	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3908	1.97	1974
12	22.9	13.1	6.9	299.99	2069.93	4030	1.95	1947
13	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3844	1.88	1884
14	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3973	1.95	1948
15	22.9	13.1	6.7	299.99	2009.93	3821	1.90	1901
16	22.9	13.1	6.6	299.99	1979.93	3781	1.91	1910
17	22.9	13.1	6.9	299.99	2069.93	3930	1.90	1899
18	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3871	1.90	1898
19	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3888	1.91	1906
20	22.9	13.1	6.8	299.99	2039.93	3888	1.91	1906
Densidad promedio (\bar{D})							1.90	1900
Desviación estándar (S)							0.04	37.22
Coeficiente de variación (C_V) [%]							1.96	1.96

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

3.5. Resistencia a compresión de los ladrillos.

Las mediciones, de esta magnitud física, se realizaron en el laboratorio de suelos, de la Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura (FICSA), de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

3.5.1. Ladrillo de suelo C1.

Las dimensiones del ladrillo fueron medidas con una regla milimetrada, la fuerza o resistencia a compresión fueron realizadas con una máquina compresora, y varió desde 10.37 MPa hasta 16.33 MPa . La resistencia a compresión promedio fue de 13.40 MPa y una resistencia característica a compresión de 11.53 MPa , una desviación estándar de 1.47 MPa y un coeficiente de variación de 10.93 %, como se muestra en la Tabla 30.

3.5.2. Ladrillo de suelo C2.

Las dimensiones del ladrillo fueron medidas con una regla milimetrada, la resistencia a compresión fueron realizadas con una máquina compresora, y varió desde 10.21 MPa hasta 16.66 MPa . La resistencia a compresión promedio fue de 13.98 MPa y una resistencia característica a compresión de 11.79 MPa , una desviación estándar de 2.19 MPa y un coeficiente de variación de 15.65 %, como se muestra en la Tabla 31.

3.5.3. Ladrillo de suelo C3.

Las dimensiones del ladrillo fueron medidas con una regla milimetrada, la resistencia a compresión fueron realizadas con una máquina compresora, y varió desde 11.43 MPa hasta 18.29 MPa . La resistencia a compresión promedio fue de 15.57 MPa y una resistencia característica a compresión de 13.15 MPa , una desviación estándar de 2.43 MPa y un coeficiente de variación de 15.60 %, como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 30*Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C1.*

Muestra	Longitud	Ancho	Área de	Carga máxima	Resistencia a compresión	
N°	(cm)		contacto (cm²)	alcanzada (kg)	(kg/cm²)	(MPa)
1	22.9	13.1	299.99	37250	124.17	12.17
2	22.9	13.1	299.99	35500	118.34	11.60
3	22.9	13.1	299.99	38000	126.67	12.41
4	22.9	13.1	299.99	37750	125.84	12.33
5	22.9	13.1	299.99	37500	125.00	12.25
6	22.9	13.1	299.99	44500	148.34	14.54
7	22.9	13.1	299.99	31750	105.84	10.37
8	22.9	13.1	299.99	43750	145.84	14.29
9	22.9	13.1	299.99	50000	166.67	16.33
10	22.9	13.1	299.99	43500	145.00	14.21
11	22.9	13.1	299.99	34500	115.00	11.27
12	22.9	13.1	299.99	43750	145.84	14.29
13	22.9	13.1	299.99	40500	135.00	13.23
14	22.9	13.1	299.99	46000	153.34	15.03
15	22.9	13.1	299.99	43000	143.34	14.05
16	22.9	13.1	299.99	42250	140.84	13.80
17	22.9	13.1	299.99	46250	154.17	15.11
18	22.9	13.1	299.99	41250	137.50	13.48
19	22.9	13.1	299.99	40000	133.34	13.07
20	22.9	13.1	299.99	43500	145.00	14.21
Resistencia a compresión promedio (\bar{F}_c)					136.75	13.40
Desviación estándar (S)					14.99	1.47
Coefficiente de variación (C_V)[%]					10.96	10.96
Resistencia característica a compresión (F'_c)					121.76	11.93

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 31*Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C2.*

Muestra	Longitud	Ancho	Área de contacto (cm^2)	Carga máxima alcanzada (\vec{kg})	Resistencia a compresión	
					(\vec{kg}/cm^2)	(MPa)
N°	(cm)					
1	22.9	13.1	299.99	35250	117.50	11.52
2	22.9	13.1	299.99	40750	135.84	13.31
3	22.9	13.1	299.99	31250	104.17	10.21
4	22.9	13.1	299.99	39000	130.00	12.74
5	22.9	13.1	299.99	39000	130.00	12.74
6	22.9	13.1	299.99	32500	108.34	10.62
7	22.9	13.1	299.99	33750	112.50	11.03
8	22.9	13.1	299.99	38000	126.67	12.41
9	22.9	13.1	299.99	44000	146.67	14.37
10	22.9	13.1	299.99	36750	122.50	12.01
11	22.9	13.1	299.99	43750	145.84	14.29
12	22.9	13.1	299.99	48750	162.51	15.93
13	22.9	13.1	299.99	47250	157.51	15.44
14	22.9	13.1	299.99	47250	157.51	15.44
15	22.9	13.1	299.99	50250	167.51	16.42
16	22.9	13.1	299.99	50500	168.34	16.50
17	22.9	13.1	299.99	51000	170.01	16.66
18	22.9	13.1	299.99	48750	162.51	15.93
19	22.9	13.1	299.99	51000	170.01	16.66
20	22.9	13.1	299.99	47250	157.51	15.44
Resistencia a compresión promedio (\bar{F}_c)					142.67	13.98
Desviación estándar (S)					22.33	2.19
Coeficiente de variación (C_V)[%]					15.65	15.65
Resistencia característica a compresión (F'_c)					120.34	11.79

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 32*Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C3.*

Muestra	Longitud	Ancho	Área de	Carga máxima	Resistencia a compresión	
N°	(cm)		contacto (cm ²)	alcanzada (kg)	(kg/cm ²)	(MPa)
1	22.8	13.0	296.4	45750	154.35	15.13
2	22.8	13.0	296.4	38250	129.05	12.65
3	22.9	13.1	299.99	40500	135.00	13.23
4	22.9	13.1	299.99	35000	116.67	11.43
5	22.9	13.1	299.99	45000	150.01	14.70
6	22.9	13.1	299.99	36000	120.00	11.76
7	22.9	13.1	299.99	45000	150.01	14.70
8	22.9	13.1	299.99	38250	127.50	12.50
9	22.9	13.1	299.99	40750	135.84	13.31
10	22.9	13.1	299.99	56000	186.67	18.29
11	22.9	13.1	299.99	55000	183.34	17.97
12	22.9	13.1	299.99	55750	185.84	18.21
13	22.9	13.1	299.99	50500	168.34	16.50
14	22.9	13.1	299.99	53750	179.17	17.56
15	22.9	13.1	299.99	52500	175.01	17.15
16	22.9	13.1	299.99	45500	151.67	14.86
17	22.9	13.1	299.99	54750	182.51	17.89
18	22.9	13.1	299.99	56000	186.67	18.29
19	22.9	13.1	299.99	55750	185.84	18.21
20	22.9	13.1	299.99	52500	175.01	17.15
Resistencia a compresión promedio (\bar{F}_c)					158.92	15.57
Desviación estándar (S)					24.79	2.43
Coeficiente de variación (C_V)[%]					15.60	15.60
Resistencia característica a compresión (F'_c)					134.14	13.15

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

3.6. Calor específico de los ladrillos.

El calor específico de los ladrillos, en estudio, fue medido con un calorímetro en el laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Trujillo.

3.6.1. Ladrillo de material C1

Su calor específico varió desde $697.92 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ hasta $912.67 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, con un promedio de $829.31 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, una desviación estándar de $87.42 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ y un coeficiente de variación de 10.54 %, como se muestra en la Tabla 33.

3.6.2. Ladrillo de material C2

Su calor específico varió desde $892.23 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ hasta $1090.50 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, con un promedio de $1011.25 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, una desviación estándar de $83.38 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ y un coeficiente de variación de 8.24 %, como se muestra en la Tabla 34.

3.6.3. Ladrillo de material C3

Su calor específico varió desde $1183.92 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ hasta $1353.05 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, con un promedio de $1285.45 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$, una desviación estándar de $71.26 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ y un coeficiente de variación de 5.54 %, como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 33*Calor específico del ladrillo de suelo C1*

N	Agua fría		Muestra caliente		T. Equilibrio	Resultados	
	m_1 (g)	T_1 ($^{\circ}C$)	m_2 (g)	T_2 ($^{\circ}C$)	T_E ($^{\circ}C$)	c_e (cal/g · $^{\circ}C$)	c_e (J/kg · K)
1	200	20	167	80	27.5	0.1896	789.96
2	200	20	167	80	28.5	0.2190	912.67
3	200	20	167	78	26.5	0.1675	697.92
4	200	20	167	80	28.0	0.2042	850.72
5	200	20	167	81	28.5	0.2149	895.28
Calor específico promedio (\bar{c}_e)						0.1990	829.31
Desviación estándar (S)						0.0210	87.42
Coefficiente de variación (C_V (%))						10.5416	10.54

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la tabla 33, se obtiene el promedio o media del calor específico del ladrillo suelo-cemento, elaborado con suelo C1; esto es:

$$c_{e1} = 0.1990 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}C = 829.31 \text{ J/kg} \cdot K \quad (26)$$

Tabla 34*Calor específico del ladrillo de suelo C2*

N	Agua fría		Muestra caliente		T. Equilibrio	Resultados	
	m_1 (g)	T_1 (°C)	m_2 (g)	T_2 (°C)	T_E (°C)	c_e (cal/g · °C)	c_e (J/kg · K)
1	200	20	115	65	25.0	0.2409	1003.76
2	200	20	115	66	25.5	0.2617	1090.50
3	200	20	115	65	24.5	0.2141	892.23
4	200	20	115	66	25.0	0.2350	979.28
5	200	20	115	66	25.5	0.2617	1090.50
Calor específico promedio (\bar{c}_e)						0.2427	1011.25
Desviación estándar (S)						0.0200	83.38
Coefficiente de variación (C_V (%))						8.2448	8.24

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la tabla 34, se obtiene el promedio o media del calor específico del ladrillo suelo-cemento, elaborado con suelo C2; esto es:

$$c_{e2} = 0.2427 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 1011.25 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \quad (27)$$

Tabla 35*Calor específico del ladrillo de suelo C3*

N	Agua fría		Muestra caliente		T. Equilibrio	Resultados	
	m_1 (g)	T_1 (°C)	m_2 (g)	T_2 (°C)	T_E (°C)	c_e (cal/g · °C)	c_e (J/kg · K)
1	200	20	105	79	27.5	0.3074	1280.80
2	200	20	105	80	28.0	0.3247	1353.05
3	200	20	105	80	27.5	0.3015	1256.41
4	200	20	105	79	27.0	0.2841	1183.92
5	200	20	105	80	28.0	0.3247	1353.05
Calor específico promedio (\bar{c}_e)						0.3085	1285.45
Desviación estándar (S)						0.0171	71.26
Coefficiente de variación (C_V (%))						5.5438	5.54

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la tabla 35, se obtiene el promedio o media del calor específico del ladrillo suelo-cemento, elaborado con suelo C3; esto es:

$$c_{e3} = 0.3085 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 1285.45 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \quad (28)$$

3.7. Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.

El coeficiente de conductividad térmica fue determinado por un equipo de construcción propia.

3.7.1. Ladrillo de suelo C1

La conducción de calor se estabilizó aproximadamente a las 2 H 20 min , de haber empezado el trabajo experimental, es decir, a partir de ese instante la diferencia de temperatura fue constante (Estado estacionario), obteniéndose un coeficiente de conductividad térmica de $1.1058 W/(m \cdot K)$, como se muestra en la Tabla 36.

3.7.2. Ladrillo de suelo C2

La conducción de calor se estabilizó aproximadamente a las 3 H 20 min , de haber empezado el trabajo experimental, es decir, a partir de ese instante la diferencia de temperatura fue constante (Estado estacionario), obteniéndose un coeficiente de conductividad térmica de $0.9676 W/(m \cdot K)$, como se muestra en la Tabla 37.

3.7.3. Ladrillo de suelo C3

La conducción de calor se estabilizó aproximadamente a las 3 H 30 min , de haber empezado el trabajo experimental, es decir, a partir de ese instante la diferencia de temperatura fue constante (Estado estacionario), obteniéndose un coeficiente de conductividad térmica de $1.1611 W/(m \cdot K)$, como se muestra en la Tabla 38.

Tabla 36

Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C1

N	Hora	Temperaturas			Cond. Term. κ (W/m · K)
		T_0 (°C)	T_F (°C)	$(T_0 - T_F)$ (K)	
1	13:20	35.5	31.5	4.0	2.9027
2	13:30	39.0	32.5	6.5	1.7863
3	13:40	42.0	34.5	7.5	1.5481
4	13:50	45.0	36.5	8.5	1.3660
5	14:00	47.0	38.5	8.5	1.3660
6	14:10	49.0	40.5	8.5	1.3660
7	14:20	51.0	42.0	9.0	1.2901
8	14:30	52.5	43.5	9.0	1.2901
9	14:40	54.0	45.0	9.0	1.2901
10	14:50	55.5	46.0	9.5	1.2222
11	15:00	56.5	47.0	9.5	1.2222
12	15:10	58.0	48.0	10.0	1.1611
13	15:20	59.0	49.0	10.0	1.1611
14	15:30	60.0	50.0	10.0	1.1611
15	15:40	61.0	50.5	10.5	1.1058
16	15:50	61.5	51.0	10.5	1.1058
17	16:00	62.0	51.5	10.5	1.1058
18	16:10	63.0	52.5	10.5	1.1058
19	16:20	63.5	53.0	10.5	1.1058
20	16:30	64.0	53.5	10.5	1.1058
21	16:40	64.5	54.0	10.5	1.1058
22	16:50	65.0	54.5	10.5	1.1058
23	17:00	65.5	55.0	10.5	1.1058
24	17:10	66.0	55.5	10.5	1.1058

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 37

Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C2

N	Hora	Temperaturas			Cond. Term.
		$T_0 (^{\circ}C)$	$T_F (^{\circ}C)$	$(T_0 - T_F) (K)$	$\kappa (W/m \cdot K)$
1	09:10	31.5	28.5	3.0	3.8703
2	09:20	36.0	29.5	6.5	1.7863
3	09:30	39.0	31.0	8.0	1.4514
4	09:40	42.0	33.0	9.0	1.2901
5	09:50	44.5	35.0	9.5	1.2222
6	10:00	46.5	37.0	9.5	1.2222
7	10:10	48.5	38.5	10.0	1.1611
8	10:20	50.5	40.0	10.5	1.1058
9	10:30	52.0	41.5	10.5	1.1058
10	10:40	53.5	43.0	10.5	1.1058
11	10:50	55.0	44.5	10.5	1.1058
12	11:00	56.5	45.5	11.0	1.0555
13	11:10	57.5	46.5	11.0	1.0555
14	11:20	58.5	47.5	11.0	1.0555
15	11:30	60.0	48.5	11.5	1.0096
16	11:40	61.0	49.5	11.5	1.0096
17	11:50	61.5	50.0	11.5	1.0096
18	12:00	62.5	51.0	11.5	1.0096
19	12:10	63.0	51.5	11.5	1.0096
20	12:20	64.0	52.5	11.5	1.0096
21	12:30	65.0	53.0	12.0	0.9676
22	12:40	65.5	53.5	12.0	0.9676
23	12:50	66.5	54.5	12.0	0.9676
24	13:00	66.5	54.5	12.0	0.9676

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 38

Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C3

N	Hora	Temperaturas			Cond. Term.
		$T_0 (^{\circ}C)$	$T_F (^{\circ}C)$	$(T_0 - T_F) (K)$	$\kappa (W/m \cdot K)$
1	08:50	30.5	28.0	2.5	4.6444
2	09:00	34.5	29.0	5.5	2.1111
3	09:10	37.5	30.5	7.0	1.6587
4	09:20	40.0	32.5	7.5	1.5481
5	09:30	42.0	34.5	7.5	1.5481
6	09:40	44.0	36.0	8.0	1.4514
7	09:50	45.5	37.5	8.0	1.4514
8	10:00	47.0	38.5	8.5	1.3660
9	10:10	48.5	40.0	8.5	1.3660
10	10:20	50.0	41.5	8.5	1.3660
11	10:30	51.0	42.5	8.5	1.3660
12	10:40	52.0	43.5	8.5	1.3660
13	10:50	53.5	44.5	9.0	1.2901
14	11:00	54.5	45.5	9.0	1.2901
15	11:10	55.0	46.0	9.0	1.2901
16	11:20	56.0	47.0	9.0	1.2901
17	11:30	57.0	47.5	9.5	1.2222
18	11:40	57.5	48.0	9.5	1.2222
19	11:50	58.0	48.5	9.5	1.2222
20	12:00	59.0	49.5	9.5	1.2222
21	12:10	59.5	50.0	9.5	1.2222
22	12:20	60.0	50.0	10.0	1.1611
23	12:30	60.5	50.5	10.0	1.1611
24	12:40	61.0	51.0	10.0	1.1611

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Resumiendo, a partir de las tablas elaboradas en el capítulo III correspondientes a las magnitudes físicas densidad, resistencia a compresión, calor específico y conductividad térmica, se elabora la Tabla 39.

Tabla 39

Propiedades de los ladrillos suelo-cemento

LADRILLO	\bar{D} (kg/m^3)	F'_c (MPa)	\bar{c}_e ($J/kg \cdot K$)	κ ($W/m \cdot K$)
Suelo C1	1807	11.93	829.31	1.1058
Suelo C2	1868	11.79	1011.25	0.9676
Suelo C3	1900	13.15	1285.45	1.1611

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

3.8. Evaluación ambiental.

Tabla 40

Emisiones de contaminantes producidos por la elaboración de ladrillos suelo-cemento

Contaminantes	Concentración ($\mu g/m^3$)			%
	Mínimo.	Máximo.	Promedio.	
* Monóxido de carbono (CO)	7.4	472.4	163.2	78.0
* Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	0.1	6.0	1.0	0.5
* Dióxido de azufre (SO_2)	0.1	9.2	1.6	0.8
* Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0.2	13.6	4.4	2.1
* Ozono (O_3)	2.9	35.9	25.3	12.1
* Material particulado ($PM_{2.5}$)			13.7	6.5
* Material particulado (PM_{10})			0.0	0.0

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la Tabla 40, con respecto a la columna que corresponde al porcentaje, se puede apreciar que el elemento de mayor contaminación en este proceso de elaboración de ladrillos es el Monóxido de Carbono CO con un 78 % del total de contaminación, mientras que el de menor contaminación es el Material Particulado (PM_{10}) con un 0 %.

La certificación, de la emisión de los gases producidos por la elaboración de los ladrillos suelo-cemento, presentada en la Tabla 40 se encuentra en el Anexo D, página 152.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

En el presente capítulo se lleva a cabo el análisis, interpretación y contrastación de los resultados obtenidos, en el Capítulo III, necesarios para el estudio de las características y propiedades del suelos A, suelo B, ladrillo suelo-cemento y las condiciones ambientales en las que se desarrollaron los procesos productivos.

4.1. Densidad de los suelos.

4.1.1. Densidad del suelo A.

La ecuación (22) dada en la página 75, $\bar{D}_A = 1.37 \text{ g/cm}^3$, es la densidad media del suelo A; y la ecuación (24) dada en la página 76, $D_A = 1.37 \text{ g/cm}^3$, es la densidad del suelo A, que se obtuvo a partir de la recta estimada por medio del método de mínimos cuadrados, son iguales, lo cual indica que el valor de la densidad de este suelo está correctamente determinada, porque ésta se obtuvo de dos formas diferentes arrojando así el mismo valor.

En esta recta estimada, existen varios parámetros para su interpretación:

La *pendiente* de la recta estimada, $b = 1.3715$, dada en el diagrama masa-vs-Volumen de la Figura 13, página 76, representa numéricamente la densidad del suelo A, entonces la densidad del suelo A es $D_A = 1.37 \text{ g/cm}^3$.

El *coeficiente de determinación* cuyo valor es $R^2 = 0.9997$ el cual también se puede escribir como porcentaje, es decir, $R^2 = 99.97 \%$; este valor se interpreta que se puede trazar

una línea recta que se acerque a todos los puntos que representa a todos los datos con un 99.97 % de precisión; o también se interpreta que el 99.97 % de los datos muestrales se ajustan a la recta estimada.

4.1.2. Densidad del suelo B.

El análisis e interpretación de resultados para el suelo B, se lleva a cabo de forma análoga al realizado para el suelo A cambiando únicamente en los valores numéricos; esto es:

De la Figura 14, página 77 se tiene la recta estimada $y = 1.2515x + 0.2061$, con *coeficiente de determinación* dado por $R^2 = 0.999$ que expresado en porcentaje sería $R^2 = 99.90\%$; de la recta estimada, la pendiente $b = 1.2515$ representa numéricamente la densidad de dicho suelo en estudio, es decir la densidad del suelo B, esto es: $D_B = 1.25 \text{ g/cm}^3$

Si se comparan las ecuaciones (23), página 75; y (25), página 77 estos valores son iguales, y fueron determinadas de dos formas diferentes, lo cual indica que el valor de esta densidad está correctamente determinada; además el coeficiente de determinación $R^2 = 99.90\%$ se interpreta que se puede trazar una línea recta que se acerque a todos los puntos que representa a todos los datos con un 99.90 % de precisión; o también se interpreta que el 99.90 % de los datos muestrales se ajustan a la recta estimada.

4.2. Granulometría por tamizado del suelo A

Analizando una muestra de 500 g del suelo A, para ello se trabajó con 200 g de dicho suelo, a partir de la cual se obtuvo su composición representada por:

- 0 % Grava; suma de % de pesos retenidos desde el tamiz de 3'' al tamiz N° 4.
- 90.42 % Arena; suma de % de pesos retenidos desde el tamiz N° 10 al tamiz N° 200.
- 9.58 % Finos; % de pérdida de lavado.

Este análisis realizado se obtiene de la Tabla 21, página 80; que corresponde a la composición granulométrica del suelo A y tiene una tendencia a la composición de suelos arenosos.

4.3. Granulometría por tamizado del suelo B

Analizando una muestra de 500 g del suelo B, para ello se trabajó con 200 g de dicho suelo, a partir de la cual se obtuvo su composición representada por:

- 0 % Grava; suma de % de pesos retenidos desde el tamiz de 3'' al tamiz N° 4.
- 35.32 % Arena; suma de % de pesos retenidos desde el tamiz N° 10 al tamiz N° 200.
- 64.68 % Finos; % de pérdida de lavado.

Este análisis realizado se obtiene de la Tabla 23, página 82; que corresponde a la composición granulométrica del suelo B y tiene una tendencia a la composición de suelos finos.

4.4. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo A

Siguiendo las instrucciones descritas en la norma peruana; se obtuvo:

- Un límite líquido $L_L = 10.94 \%$, correspondiente a un porcentaje determinado de humedad para un número de golpes $N = 25$; esto se obtuvo a partir de la Figura 17, página 85.
- Un límite plástico $L_P = 7.20 \%$, correspondiente a un porcentaje determinado de humedad; esto se obtuvo a partir de la Tabla 25, página 84.

- Luego, el índice de plasticidad se determinó restando el límite plástico del límite líquido, esto es:

$$I_P = 3.74 \%$$

Interpretaciones

- El límite líquido de 10.94 % nos indica que por debajo de este porcentaje de agua el suelo se comporta como material plástico. Si se supera este porcentaje el suelo se comportará como un fluido viscoso.
- El límite plástico 7.20 % nos indica que por debajo de este porcentaje se considera al suelo como material no plástico.
- El índice de plasticidad de 3.74 % indica la finura del suelo y se indica también que el suelo tiene ligera plasticidad.

4.5. Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del suelo B

Siguiendo las instrucciones descritas en la norma peruana; se obtuvo:

- Un límite líquido $L_L = 28.77 \%$, correspondiente a un porcentaje determinado de humedad para un número de golpes $N = 25$; esto se obtuvo a partir de la Figura 18, página 87.
- Un límite plástico $L_P = 12.00 \%$, correspondiente a un porcentaje determinado de humedad; esto se obtuvo a partir de la Tabla 26, página 86.

- Luego, el índice de plasticidad se determinó restando el límite plástico del límite líquido, esto es:

$$I_P = 16.77 \%$$

Interpretaciones

- El límite líquido de 28.77 % nos indica que por debajo de este porcentaje de agua el suelo se comporta como material plástico. Si se supera este porcentaje el suelo se comportará como un fluido viscoso.
- El límite plástico 12 % nos indica que por debajo de este porcentaje se considera al suelo como material no plástico.
- El índice de plasticidad de 16.77 % indica la finura del suelo y se indica también que el suelo tiene ligera plasticidad.

4.6. Densidad de los ladrillos.

El análisis e interpretación de la densidad del ladrillo suelo-cemento se realiza a partir de las tablas: 27, 28 y 29, dadas en las páginas 89, 90 y 91, respectivamente; de cada una de estas tablas se obtiene la densidad promedio (\bar{D}), su respectiva desviación estándar muestral (S) y coeficiente de variación (C_V) de los datos; todas éstas en unidades del Sistema Internacional a excepción del parámetro coeficiente de variación que es adimensional; y se elabora la Tabla 41 para su respectivo análisis estadístico e interpretación.

Tabla 41*Densidad del ladrillo suelo-cemento*

Ladrillo	$\bar{D}(kg/m^3)$	$S(kg/m^3)$	C_V (%)
Suelo C1	1807	60.18	3.33
Suelo C2	1868	46.46	2.49
Suelo C3	1900	37.22	1.96

Fuente: Elaboración propia

1. Interpretaciones de la desviación estándar.

La desviación estándar es una medida de dispersión absoluta, y se define como la dispersión de las observaciones o datos respecto a la media.

Se interpreta, aproximadamente, como un promedio de las distancias de cada una de los datos respecto a la media. Para el presente trabajo de investigación se tiene que:

Para el ladrillo de suelo C1; $S_1 = 60.18 \text{ kg/m}^3$, se interpreta que **60.18 kg/m^3** es aproximadamente el valor promedio de las distancias o desviaciones de cada uno de los datos de la muestra hacia el valor promedio o media aritmética de la muestra; que se entienda la distancia como la separación de cada dato con la media y esto está dado en unidades de la variable en estudio, en este caso es la densidad y sus unidades, en el Sistema Internacional, son **kg/m^3** .

Para los ladrillos de suelo C2 y suelo C3, las interpretaciones se realizan de la misma forma, lo único que varían son los valores numéricos.

2. Interpretaciones del coeficiente de variación.

Este coeficiente o parámetro es una medida de dispersión relativa, y se define como la dispersión relativa de las observaciones respecto a la media.

Se interpreta como, que tan grande es la desviación estándar en relación al promedio; la interpretación para cada coeficiente de las muestras se realiza como sigue:

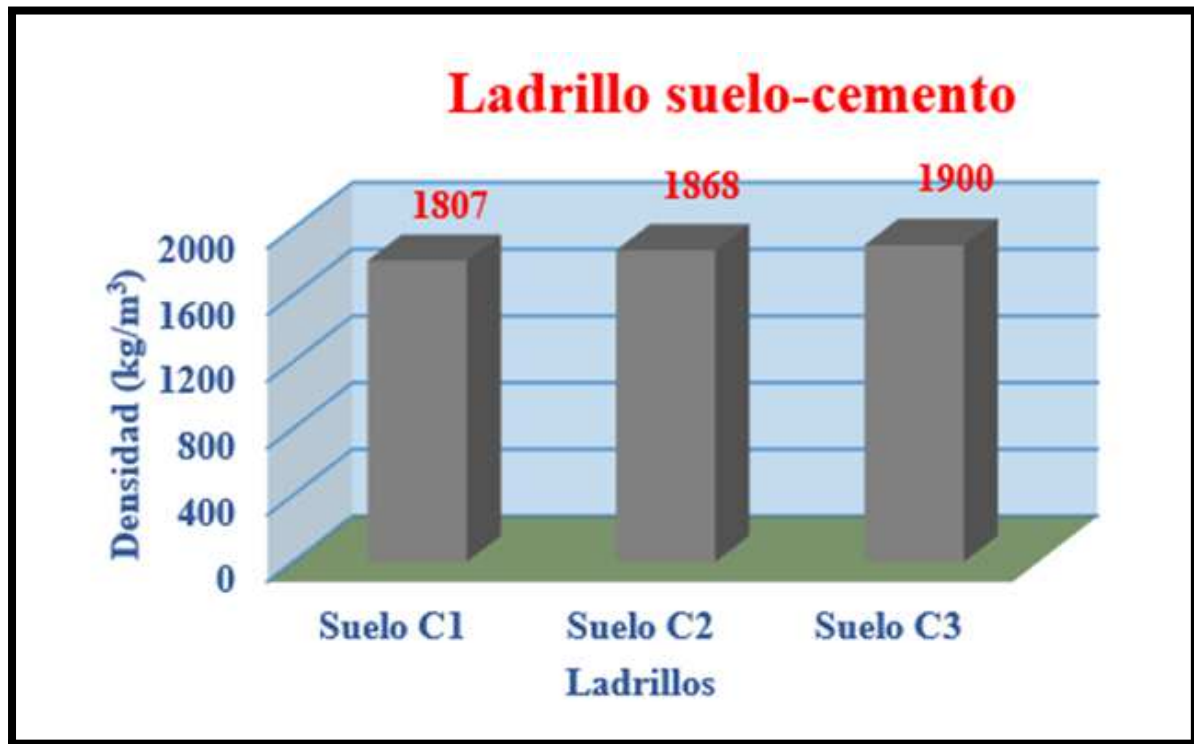
Para el ladrillo de suelo C1; $C_{V1} = 3.33\%$ se interpreta o indica que la desviación estándar muestral es 3.33 veces el valor del promedio; el valor tan pequeño que toma este coeficiente indica que la muestra tiene una distribución homogénea de los datos y por ende el promedio o media aritmética es una medida de centralización confiable de la muestra.

Para los ladrillos de suelo C2 y suelo C3, las interpretaciones se realizan de la misma forma, lo único que varían son los valores numéricos.

Ahora, si se comparan estos tres coeficientes se tiene que: $S_{V3} < S_{V2} < S_{V1}$, esto se interpreta que la distribución de los datos de la muestra que corresponde a los ladrillos de suelo C3 es más homogénea que la muestra que corresponde a los ladrillos de suelo C2 y ésta a la vez más homogénea que la muestra que corresponde a los ladrillos de suelo C1; por los valores pequeños o bajos de estos coeficientes se concluye que las medias aritméticas si son representativas de su respectiva muestra.

De la Tabla 41 se puede apreciar que las densidades promedio, de cada muestra, aumenta conforme aumenta el porcentaje de arena en cada una de ellas y esto se representa en la Figura 19, donde se grafica la densidad promedio para cada muestra de los ladrillos.

Figura 19
Densidad del ladrillo.



Fuente: Elaboración propia

4.7. Resistencia a compresión de los ladrillos.

A partir del capítulo III, tablas: 30, 31 y 32, se contruye la Tabla 42 en la cual se indican la resistencia a compresión (F_c), desviación estándar de la muestra (S), resistencia característica a compresión (F'_c) y el coeficiente de variación de la muestra (C_V) del ladrillo suelo-cemento.

Tabla 42*Resistencias a compresión del ladrillo suelo-cemento.*

Ladrillo	Resistencias a compresión							
	F_c	S	F'_c	C_v	F_c	S	F'_c	C_v
	(\vec{kg}/cm^2)			(%)	(MPa)			(%)
Suelo C1	136.75	14.99	121.76	10.96	13.40	1.47	11.93	10.96
Suelo C2	142.67	22.33	120.34	15.65	13.98	2.19	11.79	15.65
Suelo C3	158.92	24.79	134.14	15.60	15.57	2.43	13.15	15.60

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

En la Tabla 42 se presentan la resistencia a compresión (F_c) y la resistencia característica a compresión (F'_c) en el sistema técnico de unidades y en el Sistema Internacional de unidades (S.I), con sus respectivas desviaciones estándar y coeficientes de variación; el análisis e interpretación de resultados se realiza por medio de la desviación estándar y del coeficiente de variación de la muestra, para el Sistema Internacional de unidades.

Interpretación de la desviación estándar:

1. Para los ladrillos de suelo C1, de la Tabla 42 se tiene que $S_1 = 1.47 MPa$, esto indica que $1.47 MPa$ es aproximadamente la media aritmética de las desviaciones de cada uno de los datos de la muestra hacia la media de la muestra; y las unidades de la desviación estándar son las mismas que de la variable en estudio.
2. Para los ladrillos de suelo C2 y C3, a partir de la Tabla 42 se tiene que $S_2 = 2.19 MPa$ y $S_3 = 2.43 MPa$; las interpretaciones se realizan de forma análoga a la hechas para los ladrillos de suelo C1, lo único que cambian son sus valores numericos.

Interpretación del coeficiente de variación:

1. Para el ladrillo de suelo C1; $C_{V1} = 10.96 \%$, se interpreta que la desviación estándar muestral es 10.96 veces el valor de la media y por el pequeño valor de éste coeficiente se considera que los datos son homogéneos.
2. Para el ladrillo de suelo C2; $C_{V2} = 15.65 \%$, se interpreta que la desviación estándar muestral es 15.65 veces el valor de la media y por el pequeño valor de éste coeficiente se considera que los datos son homogéneos.
3. Para el ladrillo de suelo C3; $C_{V3} = 15.60 \%$, se interpreta que la desviación estándar muestral es 15.60 veces el valor de la media y por el pequeño valor de éste coeficiente se considera que los datos son homogéneos.

El coeficiente de variación permite hacer la comparación entre diferentes muestras, e incluso puede tratarse de diferentes variables de las muestras, en el presente trabajo se trata de diferentes muestras pero de la misma variable, ésta es la resistencia a la compresión; luego entonces comparando los coeficiente de variación de estas tres muestras de ladrillos se tiene que $C_{V1} < C_{V3} < C_{V2}$, esto nos permite interpretar que los datos del ladrillo de suelo C1 son más homogéneos que los datos del ladrillo de suelo C3 y los datos del ladrillo suelo C3 son más homogéneos que los datos del ladrillo de suelo C2.

Comparando los valores de la resistencia característica a compresión, dados en la Tabla 42, obtenidos en el presente trabajo de investigación; con los valores de la misma variable, dados en la Tabla 50, anexo A, página 138; por la Norma Peruana de albañilería **E.070**; se tiene que los ladrillos de suelo C1 y suelo C2 sus resistencias características a compresión son mayores que el valor mínimo que se fija en la presente Norma Peruana de albañilería; por lo tanto, los ladrillos de suelo C1 y suelo C2 pertenecen a la clase de ladrillo III.

Haciendo el mismo análisis para el ladrillo de suelo C3; éste ladrillo pertenece a la clase de ladrillo IV.

Pero de acuerdo a la Norma E.070 se tiene que la resistencia a compresión mínima exigida, para ladrillos de arcilla King Kong Artesanales, es $f'_b = 55 \text{ kg/cm}^2$, como se indica en la Tabla 51, anexo A, página 139; este valor es mucho menor que los valores de la resistencia característica a compresión halladas en el presente trabajo, entonces es posible hallar en que porcentaje es mayor el valor de la resistencia característica a compresión con respecto al valor de la resistencia a la compresión mínima dada por la Norma E.070; esto es:

1. Ladrillo de suelo C1:

$$P_1 = \frac{|F'_c - f'_b|}{f'_b} * 100 \quad \Rightarrow \quad P_1 = \frac{|121.76 - 55| * 100}{55}$$

$$P_1 = 121.38 \%$$

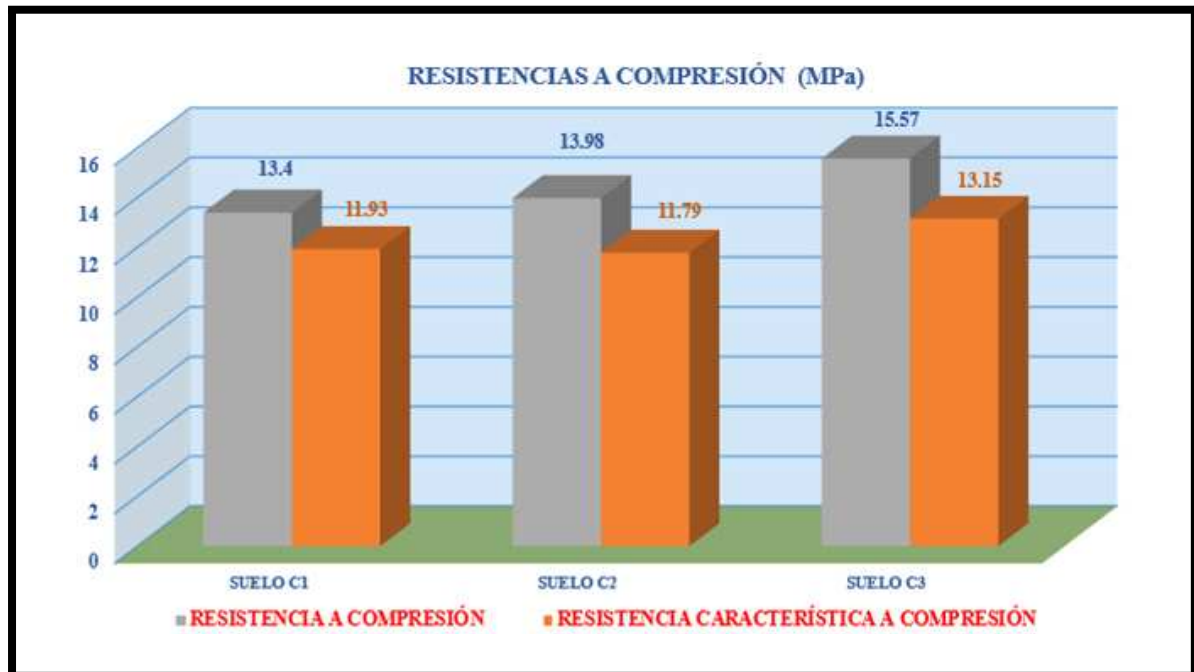
2. Ladrillo de suelo C2: Se aplica el mismo criterio, con sus respectivos valores, y se tiene:

$$P_2 = 118.80 \%$$

3. Ladrillo de suelo C3: Se aplica el mismo criterio, con sus respectivos valores, y se tiene:

$$P_3 = 143.89 \%$$

Como se ha trabajado con tres clases de suelos; a saber suelo C1, suelo C2 y suelo C3; que corresponden a diferentes porcentajes de arena como son 70 %, 75 % y 80 % de arena, respectivamente; y los ladrillos suelo-cemento para diferentes clases de suelo tiene diferentes valores de su resistencia a la compresión y por ende a su resistencia característica a la compresión, entonces para una mejor interpretación de estos resultados se elabora la Figura 20 donde se representan las ambas resistencias a la compresión para cada clase de ladrillo. Esta Figura se elabora a partir de la Tabla 42, que corresponde a ambas resistencias a la compresión pero en unidades del sistema internacional de unidades (S.I).

Figura 20*Resistencias a compresión del ladrillo.*

Fuente: Elaboración propia

De esta figura se puede apreciar, fácilmente en las barras de color gris, que a medida que aumenta el porcentaje de arena en el suelo la resistencia a la compresión aumenta; la misma tendencia debe tener la resistencia característica a la compresión, que está representada por las barras de color ladrillo, pero acá se presenta un pequeño inconveniente que para el suelo C2 su resistencia disminuye con respecto a la del suelo C1, entonces esto se debe que los datos muestrales del suelo C2 están más dispersos relativamente a la media y esto está dado por el coeficiente de variación de cada muestra, donde $C_{V1} < C_{V2}$; esto indica que los datos muestrales del suelo C1 son más homogéneos o que están menos dispersos respecto de la media o promedio.

4.8. Calor específico de los ladrillos.

El análisis e interpretación del calor específico, c_e , del ladrillo suelo-cemento se realiza a partir de las tablas: 33, 34 y 35, dadas en las páginas 97, 98 y 99, respectivamente; de cada una de estas tablas se obtiene calor específico promedio (\bar{c}_e), su respectiva desviación estándar muestral (S) y coeficiente de variación (C_V) de los datos; todas éstas en unidades del Sistema Internacional a excepción del parámetro coeficiente de variación que es adimensional; y se elabora la Tabla 43 para su respectivo análisis estadístico e interpretación.

Tabla 43

Calor específico del ladrillo suelo-cemento

Ladrillo	$\bar{C}_e(J/kg \cdot K)$	$S(J/kg \cdot K)$	C_V (%)
Suelo C1	829.31	87.42	10.54
Suelo C2	1011.25	83.38	8.24
Suelo C3	1285.45	71.26	5.54

Fuente: Elaboración propia.

1. Interpretaciones de la desviación estándar.

La interpretación, para esta medida de dispersión, es similar a las realizadas para la densidad y resistencia a la compresión de los ladrillos; entonces se tiene que:

Para el ladrillo de suelo C1; $S_1 = 87.42 J/kg \cdot K$, indica que **$87.42 J/kg \cdot K$** es aproximadamente el valor promedio de las distancias o desviaciones de cada uno de los datos de la muestra hacia el valor promedio o media aritmética de la muestra.

Para los ladrillos de suelo C2 y suelo C3, las interpretaciones se realizan de la misma forma, lo único que varían son los valores numéricos.

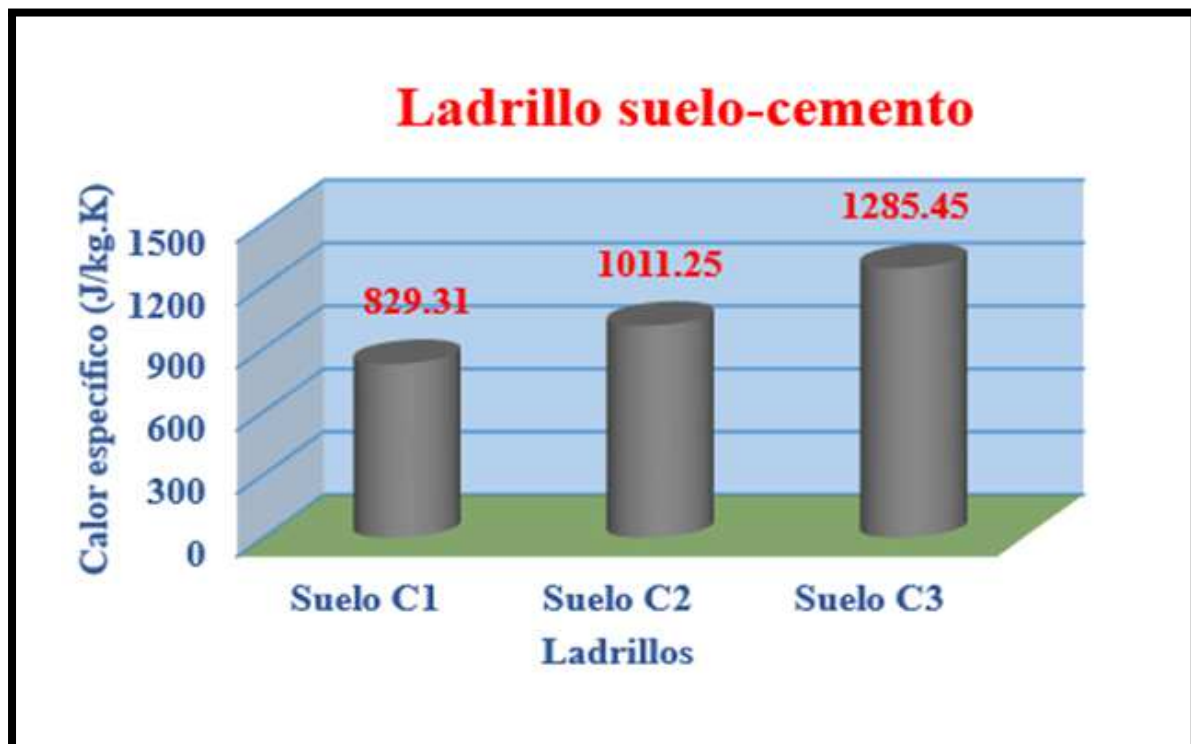
2. Interpretaciones del coeficiente de variación.

De la Tabla 43 se tienen los coeficientes de variación para cada muestra de los diferentes ladrillos; entonces estos valores $C_{V1} = 10.54\%$, $C_{V2} = 8.24\%$ y $C_{V3} = 5.54\%$ indican que la desviación estándar de cada muestra es 10.54, 8.24 y 5.54 veces el valor del promedio de cada muestra, respectivamente. Además como el valor de estos coeficientes son pequeños se considera que la distribución de datos de cada muestra es homogénea; y también se puede apreciar que la muestra correspondiente al ladrillo de suelo C3 tiene menor valor, de este coeficiente, que las correspondientes a las otras dos muestra, esto indica que sus datos son menos dispersos y por ende esta muestra es más homogénea.

La Figura 21 se obtiene a partir de la Tabla 43, donde se representa el calor específico para los tres tipos de ladrillo suelo-cemento; en ella se aprecia que dicho valor aumenta conforme aumenta el porcentaje de arena en cada tipo de ladrillo; entonces se concluye que a mayor cantidad de arena el ladrillo aumenta su calor específico.

Figura 21

Calor específico del ladrillo.



Fuente: Elaboración propia

4.9. Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.

El análisis e interpretación del coeficiente de conductividad térmica, κ , del ladrillo suelo-cemento se realiza a partir de las tablas: 36, 37 y 38, dadas en las páginas 101, 102 y 103, respectivamente; de cada una de estas tablas se obtiene el coeficiente de conductividad térmica (κ), y con estos resultados se elabora la Tabla 44 para su respectiva interpretación.

Tabla 44
Conductividad térmica del ladrillo suelo-cemento

Ladrillo	κ ($W/m \cdot K$)	$t(min.)$
Suelo C1	1.1058	140
Suelo C2	0.9676	200
Suelo C3	1.1611	210

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación del coeficiente de conductividad térmica, se ha considerado la conducción del calor en estado estacionario y la ley de Fourier, de donde se ha obtenido los resultados dados en la Tabla 44, donde t es el tiempo, medido en minutos, que emplea cada muestra de ladrillo suelo-cemento en llegar al estado estacionario, entonces se tiene que:

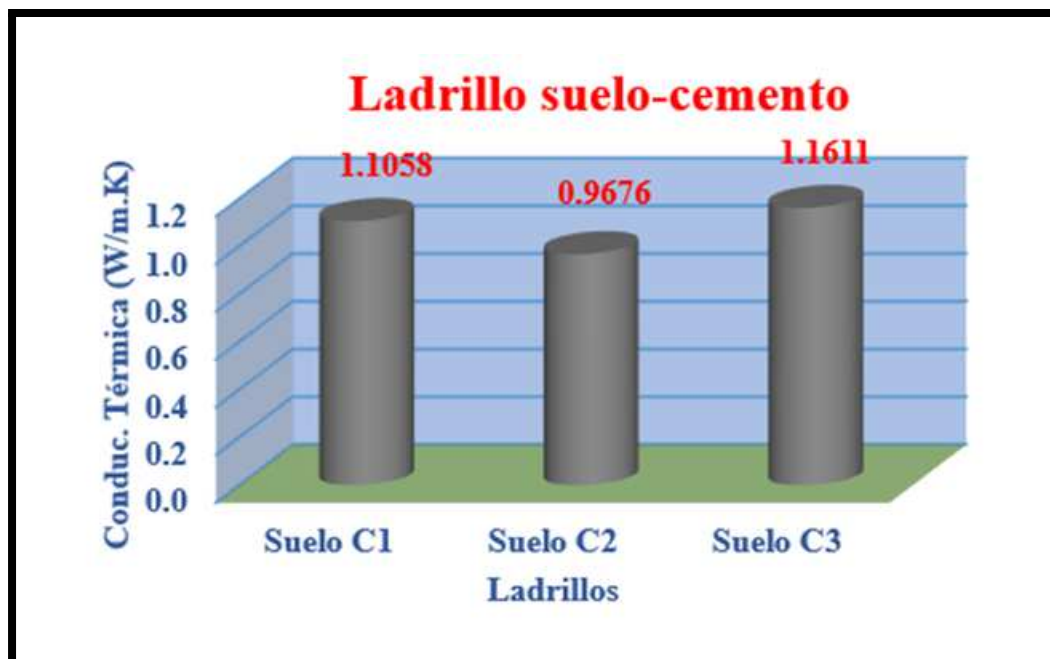
Para el ladrillo suelo-cemento C1, su coeficiente de conductividad térmica es $\kappa_1 = 1.1058 W/(m \cdot K)$ y el tiempo que emplea esta muestra en llegar al estado estacionario es $t_1 = 140 min$. De forma análoga se tiene para las otras dos muestras de ladrillo, lo único que varían son los valores numéricos de dicho coeficiente y el tiempo que emplean en llegar al estado estacionario, esto se aprecia en la Tabla 44.

Pero para el coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos suelo-cemento, su referente se considera el coeficiente de conductividad térmica del ladrillo artesanal dado en la Tabla 48, anexo A, página 137, cuyo valor es $\kappa = 0.814 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; pues al hacer sus respectivas comparaciones, estos se encuentran muy distantes, esto se debe a: En primer lugar, los materiales con los cuales se han elaborado los ladrillos suelo-cemento son diferentes a los materiales de elaboración del ladrillo de arcilla o artesanal y en segundo lugar que no se contaba con un equipo sofisticado para poder realizar la evaluación de éste coeficiente, entonces para ello se tuvo que realizar la construcción de un equipo basado en los videos de Internet.

Además, a partir de la Tabla 44 se construye la Figura 22 de donde se aprecia la variación de este coeficiente con respecto al porcentaje de arena en cada tipo de ladrillo suelo-cemento;

Figura 22

Conductividad térmica del ladrillo.



Fuente: Elaboración propia

4.10. Evaluación ambiental.

Para realizar el análisis e interpretación de resultados para esta sesión, se necesita conocer dos referentes que indiquen grados de contaminación; el primero producido por las ladrilleras artesanales en la Región Lambayeque y el segundo la contaminación estandarizada dada por la MINAM, las cuales se indican en seguida:

1. Grado de contaminación producida por ladrilleras artesanales en la Región Lambayeque.

La contaminación producida por los ladrillos artesanales se encuentran en la Tabla 54, anexo D, página 150.

Estos resultados fueron obtenidos, por el Lic. Fís. Walter Valdera Sánchez el 06 de Noviembre del 2017, de una ladrillera artesanal ubicada en el lugar de Chacupe Alto carretera a Monsefú, distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque; las mediciones de contaminación fueron realizadas con los mismos equipos e instrumentos con que se midieron las contaminaciones en la elaboración de los ladrillos suelo-cemento, cuyos resultados se encuentran en la Tabla 40, página 104.

De la Tabla 54, página 150 con respecto a la columna que corresponde al porcentaje, se puede apreciar que el elemento de mayor contaminación en este proceso de elaboración de ladrillos es el Monóxido de Carbono CO con un 86.0 % del total de contaminación, mientras que el de menor contaminación es el Dióxido de nitrógeno NO_2 con un 1.1 %.

2. Contaminación estandarizada por la MINAM

Los niveles de contaminación estandarizada por la MINAM se encuentran en el anexo D, página 151, Tabla 55

- En primer lugar, si comparamos la columna que corresponde al valor promedio de contaminación de cada elemento contaminante de la Tabla 40, página 104 con su correspondiente columna de la Tabla 54, página 150 se puede apreciar que el grado de contaminación correspondiente a la elaboración de los ladrillos suelo-cemento es menor que el grado de contaminación obtenido en la elaboración de los ladrillos artesanales.
- En segundo lugar, si comparamos el valor promedio de contaminación de cada elemento contaminante de la Tabla 40, página 104 con los valores de Límite Permisible, dados en la Tabla 55, página 151 ; se tiene que los primeros valores son menores que los segundos.

Con el análisis realizado últimamente, se interpreta que el ladrillo suelo-cemento es menos contaminante que los ladrillos artesanales y además son aceptables porque su nivel de contaminación hacia el aire es menor que los niveles estandarizados por la MINAM.

CONTRASTACIÓN:

Para realizar la contrastación de las propiedades físicas del ladrillo suelo-cemento, obtenidas en el presente trabajo de investigación, cuyos resultados se encuentran en la Tabla 49, anexo A, página 137; se toma como referente las propiedades físicas, densidad, calor específico y coeficiente de conductividad térmica, para el ladrillo de arcilla dadas en la Tabla 48, anexo A, página 137 y como referente para la resistencia característica a compresión el valor dado en la Tabla 51, anexo A, página 139, que corresponde a la Norma Peruana de albañilería E.070; pero no se determina con que grado de error se aproximan los valores de dichas propiedades, porque estos dos tipos de ladrillos son elaborados con materiales (componentes) diferentes

Pero en el presente trabajo de investigación, lo que se buscó es elaborar ladrillos ecológicos para mitigar la contaminación atmosférica producida por la elaboración de ladrillos

de arcilla; pero estos nuevos ladrillos en lo que se refiere a la resistencia característica a compresión, su valor debe ser mayor o igual al valor mínimo establecido por las Norma Peruana de albañilería *E.070*, $f'_b = 5.4 \text{ MPa}$, para así éstos puedan ser usados en la construcción.

Entonces, de la Tabla 49 se aprecia que la resistencia característica a compresión de los ladrillos suelo-cemento es mayor que la establecida por la Norma Peruana de albañilería *E.070*, y como ya se ha visto que los ladrillos ecológicos producen menos contaminación que los de arcilla, entonces los ladrillos suelo-cemento son aptos para ser utilizados en la construcción.

Con respecto a las propiedades físicas, densidad, calor específico y coeficiente de conductividad térmica, de los ladrillos suelo-cemento y artesanales, respectivamente, los valores numéricos son diferentes, esto se debe varios factores, el primero se debe que el material o componentes usados para su elaboración son diferentes, otro factor, específicamente para evaluar el coeficiente de conductividad térmica, la ausencia de equipo para la evaluación de dicho coeficiente.

4.11. Características finales de los ladrillos suelo-cemento

Para realizar la caracterización de los ladrillos, primeramente, se identifican los símbolos que se usan en la Tabla 45. Se debe indicar que todos los valores numéricos presentados en esta tabla, corresponden a valores promedios de cada magnitud.

1. x : Longitud.
2. y : Ancho.
3. z : Altura.
4. M : Masa.
5. D : Densidad.
6. F_c : Resistencia a compresión.
7. F'_c : Resistencia característica a compresión.
8. c_e : Calor específico.
9. κ : Coeficiente de conductividad térmica.

Tabla 45*Características de los ladrillos suelo-cemento*

Ladri_	x	y	z	M	D	F_c	F'_c	c_e	κ
llos	(cm)	(mm)	(mm)	(g)	(kg/m^3)	(MPa)	(MPa)	$(J/kg \cdot K)$	$(W/m \cdot K)$
C1	22.9	132.35	65.71	3487.9	1751	13.40	11.93	829.31	1.1058
C2	22.9	132.17	67.57	3706.0	1812	13.98	11.79	1011.25	0.9676
C3	22.9	132.15	68.27	3809.0	1844	15.57	13.15	1285.45	1.1611

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron ladrillos ecológicos de suelo-cemento con mejores características que los ladrillos de arcilla producidos en ladrilleras artesanales en la región Lambayeque, sin generar contaminación de la atmósfera.
2. La producción de ladrillo suelo-cemento no necesita consumo de energía calorífica y no se contaminaron los factores ambientales del entorno.
3. Las características físicas del ladrillo suelo-cemento (ladrillo ecológico o ecoladrillo), en lo referente a su densidad, resistencia compresión, calor específico y coeficiente de conductividad térmica; permitió determinar que este ladrillo es de tecnología adecuada.
4. La calidad de aire del ambiente en el que se realizó esta investigación no presentó condiciones desfavorables durante la preparación y posterior tratamiento en comparación con los LMP del ECA AIRE.
5. En la producción de ladrillo suelo-cemento las concentraciones de material particulado $MP_{2.5}$ y MP_{10} fueron menores que las generadas durante la producción del ladrillo de arcilla y no se registraron gases tóxicos.
6. En este trabajo, se determinó experimentalmente la resistencia a compresión y luego la resistencia característica a compresión, de los tres tipos de ladrillo suelo-cemento, encontrándose que ésta última es superior a la resistencia a compresión mínima exigida, para ladrillos de arcilla King Kong Artesanales, según la Norma Peruana de albañilería E.070, la cual es $f'_b = 5.4 \text{ MPa} = 55 \text{ kg/cm}^2$ y se presenta en la Tabla 51, página 139, anexo A.
7. Considerando la Norma Peruana de albañilería E.070 dada en la Tabla 50, página 138, anexo A, se tiene que los ladrillos de suelo C1 y suelo C2 sus resistencias características a compresión son mayores que el valor mínimo que se fija en la presente Norma Peruana de albañilería; por lo tanto, los ladrillos de suelo C1 y suelo C2 pertenecen a la clase de ladrillo III y el ladrillo de suelo C3 pertenece a la clase de ladrillo IV.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, en lo que respecta al peso de cada unidad éste puede disminuir y por ende también disminuirá su masa, esto se puede lograr mediante la elaboración de ladrillo suelo-cemento con perforaciones conocidos también como ladrillo hueco, disminuyendo así también su costo.
2. Se recomienda, a los egresados del doctorado en ciencias ambientales, a continuar con los estudios de investigación sobre la elaboración del ladrillo suelo-cemento, en forma general de los ecoladrillos; por ser su producción de éstos menos contaminantes que la elaboración de los ladrillos de arcilla.
3. Utilizar los ladrillos suelo-cemento como construcciones piloto en diferentes lugares y estratos sociales de la región Lambayeque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, Flores, P. J. and Akarley, P. L. M. (2014). Características físicas y mecánicas de unidades de albañilería ecológicas fabricadas con suelo-cemento en la ciudad de trujillo. Tesis. (<https://bit.ly/TesLaLSC14-ABANTO>). (Citado en página 20.)

Alca, A. R. (2012). Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales en el Perú. Lima. Editorial Limusa. (<https://bit.ly/TesLaLSC3-ALCA>). (Citado en página 3.)

Amariz, A. D. M. and Jiménez, M. L. C. (2014). Diseño y fabricación de ladrillo reutilizando materiales a base de pet. Inge Cuc, 10(2):76–80. (<https://bit.ly/2T81Y6W>). (Citado en página 17.)

Amorós, G. M. (2011). Desarrollo de un nuevo ladrillo de tierra cruda, con aglomerantes y aditivos estructurales de base vegetal. PhD thesis, Arquitectura_Técnica. (<https://bit.ly/TesLaLSC7-AMOROS>). (Citado en página 14.)

Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., and Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. Revista española de salud pública, 73:123–132. (<https://www.scielo.org/pdf/resp/1999.v73n2/123-132/es>). (Citado en página 4.)

- Bahena-Martínez, F., Corral-Avitia, A., Juárez-López, A., Rosas-Acevedo, J., Reyes-Umaña, M., and Bedolla-Solano, R. (2020). Estudio socioambiental del sector ladrillero artesanal en el municipio de coyuca de benítez, guerrero. Ciencia en la frontera, 16(1).
(<https://bit.ly/TesLaLSC4-BAHENA>). (Citado en página 3.)
- Barros, LP y Imhoff, F. (2010). Resistencia sísmica del suelo-cemento post tensado en construcciones de baja complejidad geométrica. Revista de la construcción, 9(2):26 – 38.
(<https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v9n2/art04.pdf>). (Citado en página 13.)
- Bedoya, M. C. M. (2018). Construcción de vivienda sostenible con bloques de suelo cemento: del residuo al material. Revista de Arquitectura, 20(1):62–70.
(<https://bit.ly/Tes-Bedoya-CE>). (Citado en página 14.)
- Bioclimática, A. (9 de Abril de 2014). Características térmicas de los materiales.
(<https://bit.ly/TesLaLSC22-PEDRO>). (Citado en página 137.)
- Cabo, L. M. (2011). Ladrillo ecológico como material sostenible para la construcción.
(<https://bit.ly/Tes-Cabo-CES>). (Citado en página 15.)
- Calderón, P. J. C. (2013). Tecnologías para la fabricación de bloques de tierra de gran resistencia. Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
(<https://bit.ly/TesLaLSC1-CALDERON>). (Citado en página 16.)
- Delacoste, E. I. (2015). Ahorro energético en construcciones con cerramientos de mampuestos no convencionales. B.S. thesis, Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Ingeniería Civil.
(<https://core.ac.uk/download/pdf/72040737.pdf>). (Citado en páginas 21 y 25.)
- Gaggino, R. (2008). Ladrillos y places prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la

autoconstrucción. Revista Invi, 23(63).

(<https://bit.ly/TesLaLSC10-GAGGINO1>). (Citado en página 17.)

Galván Rico, L. E. and Reyes Gil, R. E. (2009). Algunas herramientas para la prevención, control y mitigación de la contaminación ambiental. Universidad, Ciencia y Tecnología, 13:287 – 294. (<https://bit.ly/TesLaLSC16-GALVAN>). (Citado en página 23.)

García, N. A., Gómez, G. G., and Sepúlveda, R. M. (2012). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 22(1):43–58. (<https://www.redalyc.org/pdf/911/91125275003.pdf>). (Citado en página 30.)

Gatani, M. P. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: mampuesto tradicional en base a un material sostenible. Informes de la Construcción, 51(466):35 – – 47. (<https://bit.ly/TesLaLSC17-GATANI>). (Citado en páginas 12, 24 y 26.)

GUARDADO, J. A. D. P. (2020). Determinación de la correlación entre los métodos de casagrande y cono de penetración en la obtención del límite líquido de suelos de baja y alta compresibilidad. (<https://core.ac.uk/download/pdf/338194522.pdf>). (Citado en página 28.)

Guzmán, H. M. (2009). Profesor de la pontificia universidad católica del Perú agosto 2009. Facultad de Ciencias Físicas, U.N.M.S.M. (<https://bit.ly/TesLaLSC21-GUZMAN>). (Citado en páginas 31 y 32.)

Límites de Atterberg, D. (s.f).

<https://geotecniafacil.com/limites-de-atterberg/>. (Citado en páginas 27 y 29.)

Marini, S., Evangelista, I., and Oliva, A. (2019). 7401-19 física hidrostática e hidrodinámica. (<https://bit.ly/TesLaLSC20-MARINI>). (Citado en página 29.)

Mas, J. M. and Kirschbaum, C. F. (2012). Estudios de resistencia a la compresión en bloques de suelo-cemento. (<https://bit.ly/TesLaLSC2-MAS>). (Citado en página 14.)

Ministerio de la Producción, P. (2013). Estudio diagnóstico sobre las ladrilleras artesanales en el Perú. Lima: swisscontact. (https://www.academia.edu/28728379/ESTUDIO_DIAGN). (Citado en página 5.)

Morí, S. R. E. (2017). Capacidad adherente del óptimo mortero para la unión de unidades de ladrillo de suelo-cemento compactado-cajamarca 2015. Tesis. (<https://bit.ly/TesLaLSC15-MORI>). (Citado en página 20.)

Norma Técnica E.070, A. (s.f.). Norma Técnica E.070 Albañilería. (<http://jjlsac.com/rnc/Albanileria.pdf>). (Citado en páginas 25, 138 y 139.)

Peñaranda, Q. A. C. (2019). Resistencia a compresión y absorción del adobe compactado con sustitución del agua por goma de tuna en porcentajes de 5 %, 10 % y 15 %, huaraz-ancash. (<https://bit.ly/TesLaLSC19-PENARANDA>). (Citado en página 28.)

Pérez, J. L. and Meza, V. S. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. Industrial Data, 16(1):108–117. (<https://www.redalyc.org/pdf/816/81629469013.pdf>). (Citado en página 22.)

Ramirez, B. L. A. (2018). Las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo ecológico suelo-cemento fabricadas con adición de 20 % de aserrín de madera para muros no portantes en la ciudad de huaraz-2016. Tesis. (<https://bit.ly/TesLaLSC13-RAMIREZ>). (Citado en página 19.)

Ramírez, C. R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

(<https://bit.ly/TesLaLSC20-RAMIREZ>). (Citado en páginas 23 y 24.)

Rojas, V. J. and Vidal, T. R. A. (2014). Comportamiento sísmico de un módulo de dos pisos reforzado y construido con ladrillos ecológicos prensados. Tesis.

(<https://bit.ly/TesLaLSC12-ROJAS>). (Citado en página 18.)

Sanjuán, B. M. n. and Chinchón, Y. S. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland. (<https://bit.ly/TesLaLSC18-BARBUDO>). (Citado en página 24.)

Serigos, P. A., Sfriso, A. O., and Balzamo, H. (2009). Rigidez a baja deformación de mezclas de suelo de la formación pampeano y cemento portland. Buenos Aires, Argentina.: Departamento de Estabilidad y Construcciones, Facultad de Ingenieria UBA (Universidad de Buenos Aires). (http://www.fi.uba.ar/archivos/D3_act.pdf). (Citado en página 17.)

Silva, M. S. and Valencia, L. A. Z. (2013). Impacto ambiental y gestión del riesgo de ladrilleras en la vereda los gómez de itagüí. Cuaderno Activa, 5:109–123.

(<https://bit.ly/TesLaLSC6-SILVA>). (Citado en página 2.)

Suárez, S. L., Álvarez Tolentino, D., BendeZú, Y., and Pomalaya, J. (2017). Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de huancayo, Perú. Revista de la Sociedad Química del Perú, 83(2):187–199.

(<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v83n2/a05v83n2.pdf>). (Citado en página 26.)

Toirac, C. J. (2008). El suelo cemento como material de construcción. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, 33(4):520–571.

(<https://www.redalyc.org/pdf/870/87012672003.pdf>). (Citado en páginas 40, 41 y 43.)

Valle, C. A. (2001). Durabilidad de ladrillos prensados de suelo-cemento. Materiales de construccion, 51(262):15–21. (<https://bit.ly/TesLaLSC11-VALLE>). (Citado en página 18.)

ANEXOS

ANEXO A

TABLAS

1.1. Ladrilleras artesanales en la región Lambayeque.

Tabla 46

Ladrilleras artesanales en la región Lambayeque

Provincia	Distrito	Zonas	N° de Ladrilleras Artesanales
Chiclayo	José Leonardo Ortíz	Carretera Chiclayo Ferreñafe	50
CHICLAYO	Chiclayo	Salida de Chiclayo hacia el sur	10
Chiclayo	Monsefú	Camino Chiclayo Monsefú y en el caserío Callanca	25
Ferreñafe	Ferreñafe	Salida de Ferreñafe	10
Lambayque	Lambayeque	Salida de Lambayeque	20
Total			115

Fuente: Dirección Regional de Producción Lambayeque-Sub dirección de Industrias

1.2. Ensayo a la resistencia a compresión del ladrillo suelo-cemento.

Se elaboraron seis ladrillos de ensayo, dos por cada tipo o clase de ladrillo, para verificar si éstos cumplen con el mínimo de la resistencia a la compresión; esto se representa en al Tabla 47.

Tabla 47
Caracterización del ladrillo suelo-cemento

Suelos	N	Longitud	Ancho	Altura	Área	Carga de	Resistencia a la	
						Rotura	Compresión	
		(cm)			(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(Pa)
Suelo C1	1	22.9	13.1	6.5	299.99	37750	125.84	12.33
	2	22.9	13.1	6.1	299.99	44500	148.34	14.54
Suelo C2	1	22.9	13.1	6.3	299.99	39000	130.00	12.74
	2	22.9	13.1	6.7	299.99	40750	135.84	13.31
Suelo C3	1	22.9	13.1	6.3	299.99	40500	135.00	13.23
	2	22.9	13.1	6.6	299.99	45500	151.67	14.86

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

1.3. Propiedades térmicas del ladrillo de arcilla

Las propiedades térmicas, densidad, calor específico y conductividad térmica, se indican en la Tabla 48.

Tabla 48

Propiedades Físicas del ladrillo de arcilla

Muestra	D	C_e	κ
	(kg/m^3)	$(J/kg \cdot K)$	$(W/m \cdot K)$
Ladrillo de arcilla	1800	921	0.814

Elaboración propia (Fuente:Arquitecto E. M. González) ([Bioclimática, 2014, p.s/n](#))

1.4. Propiedades del ladrillo suelo-cemento

La información que se presenta en la Tabla 49, se obtuvo del capítulo III, correspondiente a las propiedades físicas densidad, resistencia característica a compresión, calor específico y coeficiente de conductividad térmica, para cada uno de los tipos de ladrillos suelo-cemento elaborados, estos valores se encuentran en sus respectivas tablas.

Tabla 49

Propiedades Físicas del ladrillo suelo-cemento

Ladrillos	Propiedades			
	$\bar{D}(kg/m^3)$	$F'_c(MPa)$	$\bar{c}_e(J/(kg \cdot K))$	$\kappa(W/(m \cdot K))$
Suelo C1	1807	11.93	829.31	1.1058
Suelo C2	1868	11.79	1011.25	0.9676
Suelo C3	1900	13.15	1285.45	1.1611

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

1.5. Normas de construcción

“Para efectos de diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 50” (Norma Técnica E.070, sf, p.13).

Tabla 50

Resistencia característica a compresión de las diferentes clases de ladrillo.

CLASE DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA PARA FINES ESTRUCTURALES					
CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSION (máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A 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 Peruana de albañilería, E.070; (Norma Técnica E.070, sf, p.13).
<https://bit.ly/NORMAE070> , Resolución Ministerial N° 011-2006-Vivienda

Tabla 51

Resistencia característica a compresión del ladrillo de arcilla, King Kong Artesanal.

RESISTENCIAS CARACTERISTICAS DE LA ALBAÑILERÍA Mpa (kg / cm²)				
Materia Prima	Denominación	UNIDAD f_c	PILAS f_m	MURETES v_m
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto Bloque Tipo P (*)		4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
		6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

() Utilizados para la construcción de Muros Armados.*

Fuente: Norma Peruana de albañilería, E.070; (Norma Técnica E.070, sf, p.26).
<https://bit.ly/NORMAE070> , Resolución Ministerial N° 011-2006-Vivienda

1.6. Costo estimado del ladrillo suelo-cemento

En la Tabla 52 se presenta el costo del ladrillo suelo-cemento, en lo que respecta al costo del cemento. Con respecto a los otros insumos, como materia prima (suelo A y B), Máquina compactadora CINVA- RAM, y mano de obra, sus costos no han sido posible ser evaluados, porque esto se trata de un trabajo de prueba- experimental, en los cuales se ha elaborado una pequeña cantidad de ladrillos; que si se suma todos los costos de ellos el costo

total del ladrillo suelo-cemento es muy alto; pero si se ve desde un punto de vista empresarial, estos costos se reducen porque la máquina compactadora tiene un periodo de vida muy largo, el cual indica que con ella se pueden elaborar muchos millares de ladrillos, implicando así que el costo de producción de dichos ladrillos se reduzca.

De la Tabla 52 se puede apreciar, considerando tan solo el costo del cemento por ladrillo, para un ladrillo su costo es S/ 0.29 nuevos soles, entonces para un millar de ladrillos su costo es de S/ 290.00 nuevos soles.

Tabla 52
Costo del ladrillo suelo-cemento

	<u>CEMENTO</u>	N° DE	<u>CEMENTO</u>
	MASA (kg)	LADRILLOS	COSTO (S/.)
01 Bolsa	42.50	73	21.50
01 Ladrillo	0.58		0.29
01 Millar			290.00

Fuente: Elaboración propia

El cemento utilizado en la elaboración del ladrillo suelo-cemento, tiene las siguientes características:

1. Cemento PORTLAND TIPO MS (MH) de 42.5 kg la bolsa (CEMENTO FORTIMAX, Fabricación Pacasmayo.)
2. Es de moderada resistencia a los sulfatos y de moderado calor de hidratación que cumple con los requisitos de las Normas Técnicas NTP 334.082

ANEXO B

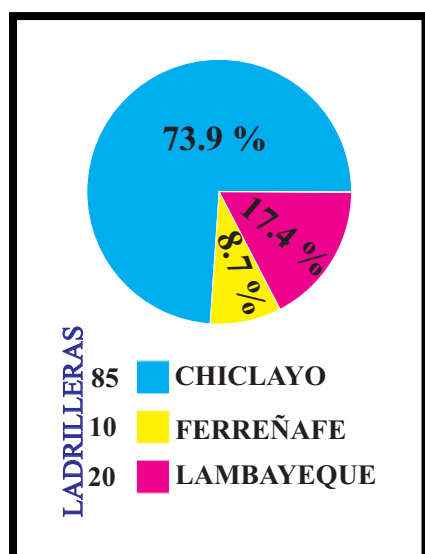
FIGURAS

2.1. Figuras básicas

En el este Anexo, se presentan las figuras de los elementos e instrumentos que fueron posible la ejecución del presente proyecto de investigación.

Figura 23

Porcentaje de ladrilleras artesanales en la región Lambayeque.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Máquina Compactadora: CINVA-RAM.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Elaboración del ladrillo suelo-cemento.

En este Anexo se presentan los materiales e instrumentos necesarios para la preparación la mezcla y elaboración de los ladrillos suelo-cemento o ladrillos ecológicos.

2.2.1. Materiales

En esta sesión se presentan las masas de cada material o componentes que forman la mezcla para la elaboración de 10 ladrillos suelo-cemento o ladrillos ecológicos, de suelo C1.

Figura 25

Muestra del suelo A.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Muestra del suelo B.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27
Muestra de cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28
Muestra de la mezcla suelo-cemento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29
Cemento Portland.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30
Medidor de agua.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Instrumentos y equipos de protección.

Figura 31

Palana de construcción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Guantes de protección.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

Casco de protección.



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C

PROGRAMAS

3.1. Código en Matlab.

En este anexo se presenta el program elaborado en **Matlab**, el cual determina la dosificación de cada elemento o componentes para la elaboración del ladrillo suelo-cemento.

```
%RESPONSABLE:CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
%FECHA:04 DE ENERO DEL 2019
%ESTE PROGRAMA PERMITE DETERMINAR QUE VOLUMENES DE DOS SUELOS DE
% DIFERENTE PORCENTAJE DE ARENA, SUELO A Y SUELO B, SE DEBE
5 %UTILIZAR PARA OBTENER SUELOS FINALES ARENOSOS DE 70 %, 75 %
% Y 80 % DE ARENA; EL PORCENTAJE DE ARENA DEL SUELO A ES
%MAYOR DEL 70 % Y EL PORCENTAJE DE ARENA DEL SUEO B ES MENOR DEL 70 %.

%%%%%%%% ESTÁ OK
10 clear ;
```

```

clc;

*****CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS C1, C2 y C3*****
*****DETERMINADAS POR LAS COMBINACIONES DE LOS SUELOS A y B*****
15 c=input('INGRESE EL PORCENTAJE DE ARENA DEL NUEVO SUELO QUE DESEA
    OBTENER, c=?\nc=');
a=input('INGRESE EL PORCENTAJE DE ARENA DEL SUELO A; MAYOR QUE c,
a=?\na=');
b=input('INGRESE EL PORCENTAJE DE ARENA DEL SUELO B; MENOR QUE c,
20 b=?\nb=');
d=input('INGRESE EL VOLUMEN, EN cm^3, DEL SUELO QUE DESEA OBTENER,
d=?\nd=');

for I=1:4
25 switch I %OPERACION
    case 1
        ***CÁLCULO DE LOS VOLÚMENES PORCENTUALES, DE ARENA, EN LOS SUELOS**
        A=[100-a -a 0 0;0 0 100-b -b;100-c -c 100-c -c;1 1 1 1];
        B=[0;0;0;d];
30 I=inv(A);
        X=I*B
        VSA=X(1)+X(2) %VPSA: VOLUMEN DEL SUELO A
        VSB=X(3)+X(4)
        VPSA=(X(1)/(X(1)+X(2)))*100 %VPSA: VOLUMEN PORCENTUAL, DE
35                                     % ARENA, EN EL SUELO A
        VPSB=(X(3)/(X(3)+X(4)))*100
        VPSC=((X(1)+X(3))/(X(1)+X(2)+X(3)+X(4)))*100
        disp('EL VOLUMEN PORCENTUAL DE ARENA, EN EL SUELO C, ES VPSC:');
        disp(VPSC)

```

case 2

****CÁLCULO DE LAS MASAS DE CADA SUELO PARA UN LADRILLO; MASA
% DE UN LADRILLO 3500 g.******

DSA=input('INGRESE LA DENSIDAD DEL SUELO A, DSA=')

DSB=input('INGRESE LA DENSIDAD DEL SUELO B, DSB=')

MSA=DSA*VSA *%MASA DEL SUELO A*

MSB=DSB*VSB *%MASA DEL SUELO B*

DSC=(MSA+MSB)/(VSA+VSB) *% DENSIDAD DEL SUELO, EN g/cm^3*

Mm=input('INGRESE LA MASA DE LA MEZCLA EN GRAMOS PARA UN
LADRILLO, Mm=') *%Mm=MASA DE LA MEZCLA 3500 g*

MC=Mm/6

MSC=5*MC

case 3

F1=(((DSB-DSC)*DSA) / ((DSC-DSA)*DSB)) *%RELACIÓN ENTRE MASAS
% MSA=F1*MSB ; F1=FACTOR*

C=[1 1;1 -F1]; *%MATRIZ C*

D=[MSC;0]; *%MATRIZ D*

I1=inv(C);

Y=I1*D

otherwise

%PROPORCIONES DE LAS MASAS PARA ''N'' LADRILLOS

N=input('INGRESE EL NÚMERO DE LADRILLOS DESEADOS, N=');

MSAF=N*Y(1);

MSBF=N*Y(2);

MSCF=N*MSC;

MmF=N*Mm;

```

        MCF=N*MC

    end

70 end

    fprintf('\t\t ENTONCES EL MATERIAL PARA, %2.0f LADRILLOS ES:\n\n',N)
    fprintf('LA MASA DE LA MEZCLA FINAL ES, MmF=%6.2f g\n\n',MmF)
    fprintf('LA MASA DEL SUELO A FINAL ES, MSAF=%6.2f g\n\n',MSAF)
75 fprintf('LA MASA DEL SUELO B FINAL ES, MSBF=%6.2f g\n\n',MSBF)
    fprintf('LA MASA DEL SUELO C FINAL ES, MSCF=%6.2f g\n\n',MSCF)
    fprintf('LA MASA DE CEMENTO ES, MCF=%6.2f g\n\n',MCF)

    fprintf('\t\t HACIENDO ALGUNOS REDONDEOS, SE TIENE QUE: \n\n')
80

    fprintf('LA MASA DE LA MEZCLA FINAL ES:\t\t\t MmF=%6.0f g\n\n',MmF)
    fprintf('LA MASA DEL SUELO A FINAL ES:\t\t\t MSAF=%6.0f g\n\n',MSAF)
    fprintf('LA MASA DEL SUELO B FINAL ES:\t\t\t MSBF=%6.0f g\n\n',MSBF)
    fprintf('LA MASA DEL SUELO C FINAL ES:\t\t\t MSCF=%6.0f g\n\n',MSCF)
85 fprintf('LA MASA DE CEMENTO FINAL ES:\t\t\t MCF=%6.0f g\n\n',MCF)

```

ANEXO D

GASES

4.1. Evaluación ambiental.

Para llevar a cabo esta evaluación, en primer lugar se determina el grado de contaminación producida por la elaboración del ladrillo suelo-cemento y en segundo lugar estos grados de contaminación del aire se comparan con los grados de contaminación producidos por los ladrillos artesanales y con los niveles Estándares Nacional de Calidad Ambiental Del Aire (MINANM).

Figura 34

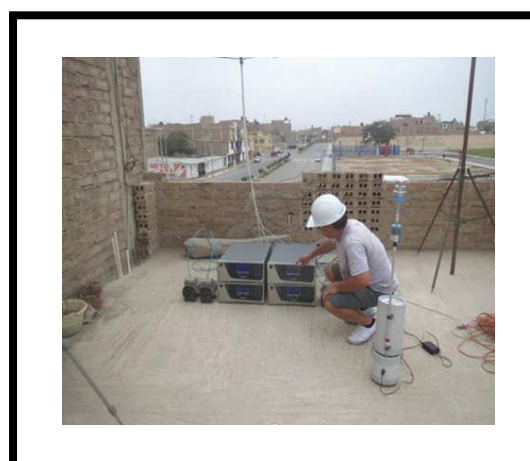
Informe de monitoreo ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35

Monitoreo de gases.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53*Emisiones de contaminantes producidos por la elaboración de ladrillos suelo-cemento*

Contaminantes	Concentración($\mu g/m^3$)			%
	Mínimo.	Máximo.	Promedio.	
* Monóxido de carbono (CO)	7.4	472.4	163.2	78.0
* Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	0.1	6.0	1.0	0.5
* Dióxido de azufre (SO_2)	0.1	9.2	1.6	0.8
* Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0.2	13.6	4.4	2.1
* Ozono (O_3)	2.9	35.9	25.3	12.1
* Material particulado ($PM_{2.5}$)			13.7	6.5
* Material particulado (PM_{10})			0.0	0

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 54*Emisiones de contaminantes producidos por la elaboración de ladrillos artesanales*

Contaminantes	Concentración($\mu g/m^3$)			%
	Mínimo.	Máximo.	Promedio.	
* Monóxido de carbono	253.4	832.2	699.4	86.0
* Sulfuro de hidrógeno	0.1	7.7	3.3	0.4
* Dióxido de azufre	0.1	5.4	2.9	0.4
* Dióxido de nitrógeno	0.1	35.1	8.6	1.1
* Ozono	6.2	42.2	30.6	3.8
* Material particulado ($PM_{2.5}$)			15.1	1.9
* Material particulado (PM_{10})			52.9	6.5

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 55*Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Del Aire*

Contaminante	Tiempo	Límite
	Promedio	Permisible ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Dióxido de Azufre (SO_2)	24 Horas	250
	1 hora	200
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	Anual	100
	24 horas	50
Material Particulado ($\text{PM}_{2.5}$)	Anual	25
	1 hora	30000
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10000
	8 horas	100
Ozono (O_3)	24 horas	100
	Anual	50
Material particulado (PM_{10})	24 horas	100
	Anual	50
Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)	24 horas	150

Elaboración: ECO PLANET E.I.R.L, 2017

Fuente: D.S N° 003-2017 MINAM

4.2. Certificado de Evaluación de la calidad del Aire.



◆ CONSULTORES AMBIENTALES
 ◆ AUTORIZADOS POR DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES (MINAG)
 DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (MUNSA)

Elaboración y Evaluación de:

- ◆ Estudios de Impacto Ambiental
- ◆ Programas de Adecuación y Manejo Ambiental
- ◆ Peritajes y Auditorías Ambientales
- ◆ Programas de Educación Ambiental
- ◆ Maestros de Calidad de Aire en Estaciones de Venta de combustibles líquidos.

El suscrito Ingeniero Civil, Santiago Alberto Vásquez García, Gerente de Operaciones de ECO PLANET EIRL

HACE CONSTAR

Que ha realizado la evaluación de la calidad del aire en el proceso productivo de ladrillos suelo-cemento solicitados por el M.Sc. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN en la ciudad de Lambayeque durante 1 día (23/08/2019).

Al respecto, es conveniente aclarar que los equipo utilizados. analizadores de gases marca Ecotech, modelo Serimus, son de última tecnología y están en proceso de acreditación por Indecopi.

Hago constar también que estos equipos son empleados por ECO PLANET EIRL y que no han recibido objeción alguna por parte de las direcciones ambientales de los diferentes ministerios en los que nuestra empresa está autorizada.

Trujillo, 16 de Septiembre del 2019.



Santiago Alberto Vásquez García
ING. CIVIL
CIP: 088081

Antóniz de Mayolo N° 319
 2do. Piso B - Urb. Los Gemados
 ☎ 425671 - 949920934 RPM - 344396
 TRUJILLO - PERÚ



- ◆ CONSULTORES AMBIENTALES
- ◆ AUTORIZADOS POR DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES (MIDAG)
- ◆ DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL (MUNSA)

Elaboración y Ejecución de:

- ◆ Estudios de Impacto Ambiental
- ◆ Programas de Atención y Manejo Ambiental
- ◆ Peritajes y Auditorías Ambientales
- ◆ Programas de Educación Ambiental
- ◆ Monitoreo de Calidad de Aire en Estaciones de Venta de combustibles líquidos.

Emisiones de contaminantes por la fabricación de ladrillos suelo-cemento

Contaminantes	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			%
	Mínimo.	Máximo.	Promedio.	
* Monóxido de carbono (CO)	7.4	472.4	163.2	78.0
* Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	0.1	6.0	1.0	0.5
* Dióxido de azufre (SO_2)	0.1	9.2	1.6	0.8
* Dióxido de nitrógeno (NO_2)	0.2	13.6	4.4	2.1
* Ozono (O_3)	2.9	35.9	25.3	12.1
* Material particulado ($\text{PM}_{2.5}$)			13.7	6.5
* Material particulado (PM_{10})			0.0	0


 Santiago Alberto Viquez Gardo
 ING. CIVIL
 CIP: 088081

Antóniz de Mayra N° 319
 2da. Piso B - Urb. Los Granados
 W 423471 - 949920654 RPN - 344396
 TRUJILLO - PERU

ANEXO E

CERTIFICADOS-FICSA

5.1. Certificación de laboratorio de ensayos de materiales-FICSA

En este Anexo se presentan los certificados de las características del material y ladrillo suelo-cemento procesados en el laboratorio, de ensayo de materiales, de la facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura (FICSA), de la Universidad Nacional “ PEDRO RUIZ GALLO”, esto es:

1. Se realizó el ensayo de clasificación del suelo A y suelo B.
2. Se midió la resistencia a la compresión del ladrillo suelo-cemento.
3. Se midió el contenido de humedad del ladrillo.

ESTUDIOS DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS Y CANTERAS.
ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO.
CERTIFICACIÓN INDECOPI N° 5755. Resolución N° 13576-2016/DSD-INDECOPI.
REGISTRO NACIONAL DE PROVEEDORES S0962339
ASOCIADO APGEO - ASOCIACIÓN PERUANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA



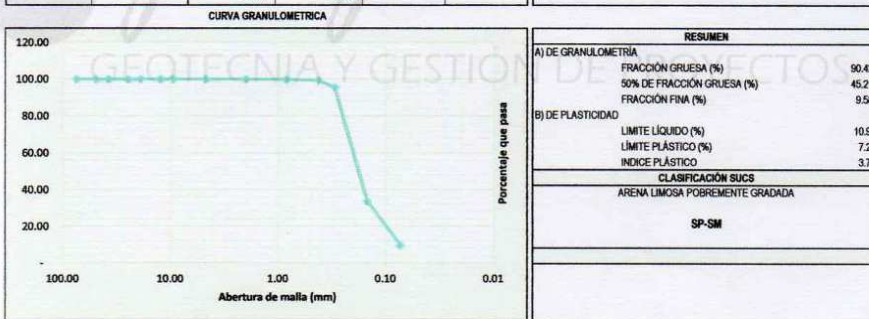
ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

PROYECTO : PROPUESTA DE ELABORACION DE LADRILLOS ECOLÓGICOS SUELO - CEMENTO PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, PRODUCIDA POR LADRILLERAS ARTESANALES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE.

SOLICITANTE : CESAR RAUL LA TORRE ALARCON
MATERIAL : SUELO "A"

DISTRITO : LAMBAYEQUE
PROVINCIA : LAMBAYEQUE
REGION : LAMBAYEQUE
FECHA : JUNIO 2019

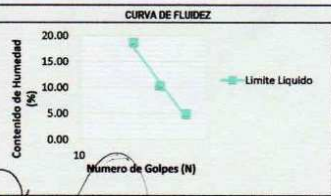
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422 NTP339.128)					
MUESTRA	SUELO "A"				
PESO MUESTRA (gr)	200.00				
PESO MUESTRA SECADA (gr)	182.25				
PESOS FINOS LAVADOS (gr)	17.75				
TAMICES ASTM (Pulg.)	ABERTURA (mm.)	PESO RETENIDO (GR)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA (%)
3"	75.00	-	-	-	100.00
2"	50.00	-	-	-	100.00
1 1/2"	38.10	-	-	-	100.00
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	-	-	-	100.00
N° 4	4.75	-	-	-	100.00
N° 10	2.00	0.14	0.07	0.07	99.93
N° 20	0.85	0.36	0.18	0.25	99.75
N° 40	0.425	0.84	0.42	0.67	99.33
N° 50	0.30	7.81	3.81	4.48	95.53
N° 100	0.15	123.79	61.90	66.37	33.63
N° 200	0.074	48.10	24.05	90.42	9.58
Plastilino		1.41			
Plastilino + Pérdida por lavado		19.16	9.58	100.00	-
		200.00	100.00		



LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4318 NTP339.129)					
DATOS		LÍMITE LÍQUIDO		L. PLÁSTICO	
		10.94		7.20	
MUESTRA		SUELO "A"			
CÁPSULA N°	251	187	20	148	
1. Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	48.47	49.36	47.36	42.95	
2. Peso suelo seco + cápsula (gr)	47.21	46.79	43.28	41.52	
3. Peso del agua (gr)	1.26	2.57	4.08	1.43	
4. Peso de la cápsula (gr)	21.39	21.80	21.39	21.66	
5. Peso suelo seco (gr)	25.82	24.99	21.89	19.86	
6. % de humedad	4.88	10.28	18.64	7.20	
N° de golpes	32	24	18		

CURVA DE FLUIDEZ

Número de Golpes (N)	Contenido de Humedad (%)
32	4.88
24	10.28
18	18.64



Jorge Luis Martínez Santos
INGENIERO CIVIL
R.C.I.P. N° 37768

ESTUDIOS DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS Y CANTERAS.
 ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO.
 CERTIFICACIÓN INDECOPI N° 5755. Resolución N° 13576-2016/DSD-INDECOPI.
 REGISTRO NACIONAL DE PROVEEDORES 50962339
 ASOCIADO APGEO - ASOCIACIÓN PERUANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA



ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

PROYECTO : PROPUESTA DE ELABORACION DE LADRILLOS ECOLÓGICOS SUELO - CEMENTO PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA, PRODUCIDA POR LADRILLOS ARTESANALES EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE.

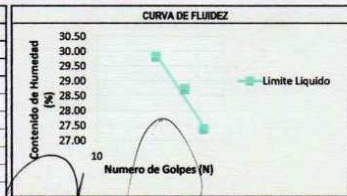
SOLICITANTE : CESAR RAUL LA TORRE ALARCON
 MATERIAL : SUELO "B"

DISTRITO : LAMBAYEQUE
 PROVINCIA : LAMBAYEQUE
 REGION : LAMBAYEQUE
 FECHA : JUNIO 2019

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D-422 NTP339.128)					
MUESTRA	SUELO "B"				
PESO MUESTRA (gr)	200.00				
PESO MUESTRA SECADA (gr)	70.96				
PESOS FINOS LAVADOS (gr)	129.04				
TAMICES ASTM (Pulg.)	ABERTURA (mm.)	PESO RETENIDO (GR)	% PARCIAL RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO (%)	% QUE PASA (%)
3"	75.00	-	-	-	100.00
2"	50.00	-	-	-	100.00
1 1/2"	38.10	-	-	-	100.00
1"	25.00	-	-	-	100.00
3/4"	19.00	-	-	-	100.00
1/2"	12.50	-	-	-	100.00
3/8"	9.50	-	-	-	100.00
N° 4	4.75	-	-	-	100.00
N° 10	2.00	0.16	0.08	0.08	99.92
N° 20	0.85	0.88	0.44	0.52	99.48
N° 40	0.425	2.90	1.00	1.52	98.48
N° 50	0.30	6.12	3.06	4.58	95.42
N° 100	0.15	41.12	20.56	25.14	74.86
N° 200	0.075	20.36	10.18	35.32	64.68
Plastilino		0.32			
Plastilino + Pérdida por lavado		129.36	64.68	100.00	-
		200.00	100.00		



LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO (ASTM D-4318 NTP339.129)				
DATOS	LÍMITE LÍQUIDO			L. PLÁSTICO
	28.77			12.00
MUESTRA	SUELO "B"			
CÁPSULA N°	320	219	311	281
1. Peso suelo húmedo + cápsula (gr)	46.93	40.71	46.61	41.00
2. Peso suelo seco + cápsula (gr)	41.38	36.51	40.84	36.89
3. Peso del agua (gr)	5.55	4.20	5.77	2.11
4. Peso de la cápsula (gr)	21.11	21.89	21.49	21.30
5. Peso suelo seco (gr)	20.27	14.62	19.35	17.59
6. % de humedad	27.38	28.73	29.82	12.00
N° de golpes	32	26	19	



Ing. Luis Martínez Santos
 INGENIERO CIVIL
 R.C.I.P. N° 57769



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE LADRILLOS
 SUELO-CEMENTO (ECOLADRILLOS)**

INFORME N° 328-2019-LEM-FICSA

EMPRESA O PROFESIONAL SOLICITANTE: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 PERSONA QUE ENTREGO LOS ESPECIMENES AL LABORATORIO: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 OBRA DE LA QUE SE DECLARO PROCEDER LOS ESPECIMENES : PROYECTO DE TESIS PARA DOCTORADO EN
 CIENCIAS AMBIENTALES
 UBICACIÓN DE LA OBRA: LAMBAYEQUE PROVINCIA: LAMBAYEQUE REGIÓN: LAMBAYEQUE
 TIPO DE LADRILLO : LADRILLO SUELO - CEMENTO; C1: 70% DE ARENA

N° DE ORDEN Y MARCA DEL LADRILLO	FECHA DE FABR.	FECHA DEL ENSAYO	EDAD DEL LADRILLO EN DIAS	CARGA DE ROTURA EN Kg/f	RESIST A LA COMPRESION Kg/cm²
1.- MUESTRA 1: LADRILLO C1:70% DE ARENA	25/03/2019	29/04/2019	34	31,750	105.84
2.- MUESTRA 2: LADRILLO C1:70% DE ARENA	25/03/2019	29/04/2019	34	50,000	166.67
3.- MUESTRA 3: LADRILLO C1:70% DE ARENA	25/03/2019	29/04/2019	34	34,500	115.00
4.- MUESTRA 4: LADRILLO C1:70% DE ARENA	14/04/2019	17/05/2019	33	46,000	153.34
5.- MUESTRA 5: LADRILLO C1:70% DE ARENA	14/04/2019	17/05/2019	33	46,250	154.17

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN DE ENSAYO

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
LARGO :	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm
ANCHO :	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm
ALTO :	6.40 cm	6.20 cm	6.70 cm	6.30 cm	6.20 cm
AREA BRUTA PROMEDIO:	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²

NOTAS:

El Laboratorio no ha intervenido en la toma de las Muestras de Ladrillos suelos-cemento, ni en la preparación de los mismos; sólo se ha limitado a ensayarlos a la compresión, por tanto, sólo responde por los resultados obtenidos en dichos Ladrillos.

Los datos de la Obra de procedencia de los Ladrillos y del solicitante fueron declarados como aparecen arriba por quien entregó los especímenes, siendo por ende responsabilidad de este último la veracidad de ellos.

La prensa de ensayo de compresión axial cuenta con certificado de calibración vigente, según ASTM E4/NTC-ISO 7500-1

Este Informe consta de una página en total y está prohibida su reproducción parcial sin autorización del laboratorio.



ING. JORGE LUIS MARTINEZ SANTOS
 JEFE - LEM-FICSA

Lambayeque 09 de diciembre del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE LADRILLOS
 SUELO-CEMENTO (ECOLADRILLOS)**

INFORME N° 328-2019-LEM-FICSA

EMPRESA O PROFESIONAL SOLICITANTE: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 PERSONA QUE ENTREGO LOS ESPECIMENES AL LABORATORIO: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 OBRA DE LA QUE SE DECLARO PROCEDER LOS ESPECIMENES : PROYECTO DE TESIS PARA DOCTORADO EN
 CIENCIAS AMBIENTALES
 UBICACIÓN DE LA OBRA: LAMBAYEQUE PROVINCIA: LAMBAYEQUE REGIÓN: LAMBAYEQUE
 TIPO DE LADRILLO : LADRILLO SUELO - CEMENTO; C2: 75% DE ARENA

N° DE ORDEN Y MARCA DEL LADRILLO	FECHA DE FABR.	FECHA DEL ENSAYO	EDAD DEL LADRILLO EN DIAS	CARGA DE ROTURA EN Kg/f	RESIST A LA COMPRESION Kg/cm²
1.- MUESTRA 1: LADRILLO C2:75% DE ARENA	03/04/2019	06/05/2019	33	31,250	104.17
2.- MUESTRA 2: LADRILLO C2:75% DE ARENA	03/04/2019	06/05/2019	33	32,500	108.34
3.- MUESTRA 3: LADRILLO C2:75% DE ARENA	19/04/2019	24/05/2019	35	50,250	167.51
4.- MUESTRA 4: LADRILLO C2:75% DE ARENA	19/04/2019	24/05/2019	35	50,500	168.34
5.- MUESTRA 5: LADRILLO C2:75% DE ARENA	19/04/2019	24/05/2019	35	51,000	170.01

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN DE ENSAYO					
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
LARGO :	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm
ANCHO :	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm
ALTO :	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm
AREA BRUTA PROMEDIO:	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²

NOTAS:

El Laboratorio no ha intervenido en la toma de las Muestras de Ladrillos suelos-cemento, ni en la preparación de los mismos; sólo se ha limitado a ensayarlos a la compresión, por tanto, sólo responde por los resultados obtenidos en dichos Ladrillos.
 Los datos de la Obra de procedencia de los Ladrillos y del solicitante fueron declarados como aparecen arriba por quien entregó los especímenes, siendo por ende responsabilidad de este último la veracidad de ellos.
 La prensa de ensayo de compresión axial cuenta con certificado de calibración vigente, según ASTM E4/NTC-ISO 7500-1
 Este Informe consta de una página en total y está prohibida su reproducción parcial sin autorización del laboratorio.

Lambayeque 09 de diciembre del 2019



ING. JORGE LUIS MARTINEZ SANTOS
 JEFE - LEM - FICSA



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE SISTEMAS Y DE ARQUITECTURA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

**RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION AXIAL DE LADRILLOS
 SUELO-CEMENTO (ECOLADRILLOS)**

INFORME N° 328-2019-LEM-FICSA

EMPRESA O PROFESIONAL SOLICITANTE: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 PERSONA QUE ENTREGO LOS ESPECIMENES AL LABORATORIO: M.SC. CÉSAR RAÚL LA TORRE ALARCÓN
 OBRA DE LA QUE SE DECLARO PROCEDER LOS ESPECIMENES : PROYECTO DE TESIS PARA DOCTORADO EN
 CIENCIAS AMBIENTALES
 UBICACIÓN DE LA OBRA: LAMBAYEQUE PROVINCIA: LAMBAYEQUE REGIÓN: LAMBAYEQUE
 TIPO DE LADRILLO : LADRILLO SUELO - CEMENTO; C3: 80% DE ARENA

N° DE ORDEN Y MARCA DEL LADRILLO	FECHA DE FABR.	FECHA DEL ENSAYO	EDAD DEL LADRILLO EN DIAS	CARGA DE ROTURA EN Kg/f	RESIST A LA COMPRESION Kg/cm²
1.- MUESTRA 1: LADRILLO C3:80% DE ARENA	07/04/2019	17/05/2019	40	35,000	116.67
2.- MUESTRA 2: LADRILLO C3:80% DE ARENA	07/04/2019	17/05/2019	40	36,000	120.00
3.- MUESTRA 3: LADRILLO C3:80% DE ARENA	21/04/2019	24/05/2019	33	55,000	183.34
4.- MUESTRA 4: LADRILLO C3:80% DE ARENA	21/04/2019	24/05/2019	33	55,750	185.84
5.- MUESTRA 5: LADRILLO C3: 80% DE ARENA	21/04/2019	24/05/2019	33	56,000	186.67

CARACTERISTICAS DEL ESPECIMEN DE ENSAYO					
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
LARGO :	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm	22.90 cm
ANCHO :	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm	13.10 cm
ALTO :	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm	6.80 cm
AREA BRUTA PROMEDIO:	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²	299.99 cm²

NOTAS:

El Laboratorio no ha intervenido en la toma de las Muestras de Ladrillos suelos-cemento, ni en la preparación de los mismos; sólo se ha limitado a ensayarlos a la compresión, por tanto, sólo responde por los resultados obtenidos en dichos Ladrillos.
 Los datos de la Obra de procedencia de los Ladrillos y del solicitante fueron declarados como aparecen arriba por quien entregó los especímenes, siendo por ende responsabilidad de este último la veracidad de ellos.
 La prensa de ensayo de compresión axial cuenta con certificado de calibración vigente, según ASTM E4/NTC-ISO 7500-1
 Este Informe consta de una página en total y está prohibida su reproducción parcial sin autorización del laboratorio.

Lambayeque 09 de diciembre del 2019



ING. JORGE LUIS MARTINEZ SANTOS
 JEFE - LEM - FICSA

ESTUDIOS DE GEOTECNIA, MECÁNICA DE SUELOS Y CANTERAS.
 ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO.
 CERTIFICACIÓN INDECOPI N° 5755, Resolución N° 13576-2016/DSD-INDECOPI.
 REGISTRO NACIONAL DE PROVEEDORES 50962339
 ASOCIADO APGEO - ASOCIACIÓN PERUANA DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA



SOLICITADO POR : CESAR RAUL LA TORRE ALARCON
PROYECTO : PROPUESTA DE ELABORACION DE LADRILLOS ECOLOGICOS SUELO - CEMENTO, PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFERICA PRODUCIDA POR LADRILLERAS ARTESANALES EN LA REGION LAMBAYEQUE.
UBICACIÓN DE LA OBRA : DIST: LAMBAYEQUE PROV. LAMBAYEQUE REGION. LAMBAYEQUE
TIPO DE MATERIAL : LADRILLOS DE ARCILLA
FECHA DE ENSAYO : 10/06/2019

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL LADRILLO

1.- MUESTRA	S1 - 70 %	S2 - 75 %	S3 - 80 %
2.- NUMERO DE MUESTRA	M-1	M-2	M-3
3.- LUGAR	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE
4.- PESO DEL BLOQUE PEQUEÑO gr.	3608	3790	3848
5.- PESO DEL BLOQUE PEQUEÑO SECO EN LA ESTUFA gr.	3437	3614	3671
6.- PESO DEL AGUA gr.	171	176	177
7.- % DE HUMEDAD	5.0	4.9	4.8

OBSERVACIONES:

1. El laboratorio no ha intervenido en la exploración y muestreo del material entregado, sólo se ha limitado a realizar el ensayo indicado al material entregado, por tanto, sólo responde por los resultados obtenidos en dicho material.
2. Los datos de, el lugar de procedencia del material, el solicitante, la Obra en la que se usarán los resultados fueron declarados como aparecen arriba por quien entregó dicho material.

3


 Jorge Luis Martínez Santos
 INGENIERO CIVIL
 R.C.I.P. N° 37768

ANEXO F

FORMATO DE TABLAS.

En este anexo se presentan los formatos para la recolección de datos para la elaboración de ladrillos suelo-cemento.

6.1. Formato para la recolección de datos.

6.1.1. Densidad de los suelos

Tabla 56

Densidad de los suelos A y B

N	Suelo A			Suelo B		
	Volumen (cm^3)	Masa (g)	Densidad (g/cm^3)	Volumen (cm^3)	Masa (g)	Densidad (g/cm^3)
1
2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10
Promedio				

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Densidad de los ladrillos.

Tabla 57

Características del ladrillo suelo-cemento, de suelo C1

Muestra	Longitud	Ancho	Altura	Área	Volumen	Masa	Densidad	
N°	(cm)			(cm ²)	(cm ³)	(g)	(g/cm ³)	(kg/m ³)
1
2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20
Promedio (\bar{D})						
Desviación estándar (S)						
Coeficiente de variación (C_V)[%]						

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Fuerza de resistencia a la compresión de los ladrillos.

Tabla 58

Propiedades del Ladrillo suelo-cemento, de suelo C1.

Muestra	Longitud	Ancho	Área de	Carga máxima	Resistencia a compresión	
			contacto	alcanzada		
N°	(cm)		(cm ²)	(kg)	(kg/cm ²)	(MPa)
1
2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
20
Promedio (\bar{f}_b)				
Desviación estándar (S)				
Coeficiente de variación (C_V)[%]				
Resistencia característica a la compresión (f'_b)				

Fuente: Elaboración propia

6.1.4. Calor específico de los ladrillos.

Tabla 59

Calor específico del ladrillo de suelo C1

N	Agua fría		Muestra caliente		T. Equilibrio	Resultados	
	m_1 (g)	T_1 ($^{\circ}C$)	m_2 (g)	T_2 ($^{\circ}C$)	T_E ($^{\circ}C$)	c_e (cal/g · $^{\circ}C$)	c_e (J/kg · K)
1
2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5
Promedio (\bar{X})					
Desviación estándar (S)					
Coeficiente de variación (C_V (%))					

Fuente: Elaboración propia

6.1.5. Coeficiente de conductividad térmica de los ladrillos.

Tabla 60

Coeficiente de conductividad térmica para el ladrillo de suelo C1

N	Hora	Temperaturas			Cond. Term.
		T_0 ($^{\circ}C$)	T_F ($^{\circ}C$)	$(T_0 - T_F)$ (K)	κ (W/m · K)
1
2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24

Fuente: Elaboración propia

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

En este anexo se presentan, la parte matemática de, los principios fundamentales de física que son necesarios para la evaluación experimental de ciertas propiedades físicas necesarias para el desarrollo del presente trabajo de tesis.

7.1. Calor específico

7.1.1. Calibración del calorímetro.

1. Fundamento teórico

Para realizar la calibración del calorímetro, se considera que el sistema donde se realiza la propagación del calor por conducción está formado por tres cuerpos o elementos, los cuales son:

Cuerpo 1: Agua fría, que gana un calor Q_1

Cuerpo 2: Agua Caliente, que pierde un calor Q_2

Cuerpo 3: Calorímetro, que gana un calor Q_3

Luego aplicando el principio fundamental de la calorimetría se tiene:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$$

$$m_1 c_{e1} \Delta T_1 + m_2 c_{e2} \Delta T_2 + \underbrace{m_3 c_{e3}}_C \Delta T_3 = 0$$

$$m_1 c_{e1} (T_E - T_1) + m_2 c_{e2} (T_E - T_2) + C (T_E - T_3) = 0$$

donde $C = m_3 c_{e3}$ es la capacidad calorífica del calorímetro.

De ésta última ecuación, y considerando que $m_2 = m_1$, $c_{e2} = c_{e1}$ y $T_3 = T_1$, despejando la constante C se tiene que:

$$C = -m_1 c_{e1} \left[\frac{(T_E - T_1) + (T_E - T_2)}{T_E - T_1} \right]$$

$$C = -m_1 c_{e1} \left[\frac{2 T_E - (T_1 + T_2)}{T_E - T_1} \right] \quad (1)$$

Donde:

C : Es la constante del calorímetro, lo que se desea determinar.

m_1 : Es la masa del agua fría (temperatura ambiente).

c_{e1} : Es el calor específico del agua.

T_1 : Es la temperatura del agua fría (temperatura ambiente.)

T_2 : Es la temperatura del agua caliente.

T_E : Es la temperatura de equilibrio del sistema.

2. Materiales e instrumentos.

- 2.1.- Agua.
- 2.2.- 01 Balanza.
- 2.3.- 01 calorímetro.
- 2.4.- 01 Cocina eléctrica.
- 2.5.- 01 Vaso pirex.
- 2.6.- 02 Termómetros.

3. Procedimiento.

- 3.1.- Se mide $m_1 = 100 \text{ g}$ de agua y su temperatura $T_1 = 20^\circ\text{C}$; y se vierte en el calorímetro.
- 3.2.- En un vaso pirex, por medio de una cocina eléctrica, se calienta $m_2 = 100 \text{ g}$ de agua hasta $T_2 = 61^\circ\text{C}$ y se vierte en el calorímetro. El valor numérico de la temperatura

puede ser variable.

- 3.3.- Se tapa el calorímetro y se agita el agua del calorímetro, por medio de un agitador que es propio del calorímetro, para que la transferencia del calor sea más rápido.
- 3.4.- Una vez alcanzado el equilibrio térmico, se mide esta temperatura obteniéndose así la temperatura de equilibrio $T_E = 38.5^{\circ}C$.
- 3.5.- Eliminar el agua del calorímetro, es decir éste instrumento debe quedar vacío.
- 3.6.- Se repite este proceso por cinco veces y con estos resultados se construye la Tabla 61.

En la etapa de procedimiento, para $N = 2 \cdots 5$ los valores de las masas pueden ser diferentes.

Tabla 61

Calibración del calorímetro

N	Cuerpo 1		Cuerpo 2		Cuerpo 3	
	Agua fría		Agua caliente		Calorímetro	
	$m_1(g)$	$T_1 (^{\circ}C)$	$m_2(g)$	$T_2 (^{\circ}C)$	$T_E (^{\circ}C)$	$C = mc_e (cal/^{\circ}C)$
1	100	20	100	61.0	38.5	21.62
2	100	20	100	60.0	38.0	22.22
3	100	20	100	61.5	38.5	24.32
4	100	20	100	60.5	38.5	18.92
5	100	20	100	62.0	39.0	21.05
Promedio						21.63

Datos obtenidos en el campo (Fuente: Elaboración propia)

De la Tabla 61 se obtiene el valor de la constante del calorímetro y está dada por:

$$C = 21.63 \text{ cal}/^{\circ}C \quad (2)$$

Considerando las unidades de esta constante, esto corresponde a la capacidad calorífica; por lo tanto esta constante es la capacidad calorífica del calorímetro.

7.1.2. Calor específico del ladrillo suelo-cemento

1. Fundamento teórico.

Para determinar el calor específico de un sólido (Ladrillo), se considera que el sistema donde se realiza la propagación del calor por conducción está formado por tres cuerpos o elementos, los cuales son:

Cuerpo 1: Agua fría, que gana un calor Q_1

Cuerpo 2: Muestra sólida (Ladrillo), que pierde un calor Q_{2M}

Cuerpo 3: Calorímetro, que gana un calor Q_3

Luego aplicando el principio fundamental de la calorimetría se tiene:

$$Q_1 + Q_{2M} + Q_3 = 0$$

$$m_1 c_{e1} \Delta T_1 + m_{2M} c_{e2M} \Delta T_{2M} + m_3 c_{e3} \Delta T_3 = 0$$

$$m_1 c_{e1} (T_E - T_1) + m_{2M} c_{e2M} (T_E - T_{2M}) + C (T_E - T_1) = 0$$

despejando el calor específico de la muestra, c_{e2M} :

$$\begin{aligned} c_{e2M} &= - \left[\frac{m_1 c_{e1} (T_E - T_1) + C (T_E - T_1)}{m_{2M} (T_E - T_{2M})} \right] \\ c_{e2M} &= - \left[\frac{(m_1 c_{e1} + C) (T_E - T_1)}{m_{2M} (T_E - T_{2M})} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Donde:

c_{e2M} : Es el calor específico de la muestra en estudio, ladrillo.

C : Es la constante del calorímetro.

m_1 : Es la masa del agua fría (temperatura ambiente).

c_{e1} : Es el calor específico del agua.

T_1 : Es la temperatura del agua fría (temperatura ambiente).

m_{2M} : Es la masa de la muestra de ladrillo.

T_{2M} : Es la temperatura de la muestra de ladrillo.

T_E : Es la temperatura de equilibrio del sistema.

2. Materiales e instrumentos.

- 2.1. Agua.
- 2.2. 01 Balanza.
- 2.3. 01 Calorímetro.
- 2.4. 01 Cocina eléctrica.
- 2.5. 01 Vaso pirex.
- 2.6. 02 Termómetros.
- 2.7. 01 Muestra de ladrillo C1.

7.2. Conductividad térmica

Existen tres maneras en las que la energía térmica se propaga de unos cuerpos a otros, estas son: por conducción, convección y radiación. Estas tres formas pueden producirse a la vez, pero por lo general predomina una de ellas. La propagación del calor por conducción es propia de los sólidos y está gobernada por la *Ley de Fourier* y establece que: La tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección; para el caso unidimensional esta ley, matemáticamente, está dada por:

$$H = \dot{Q} = -\kappa A \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

$$J = \frac{\dot{Q}}{A} = -\kappa \frac{dT}{dx} \quad (5)$$

Donde:

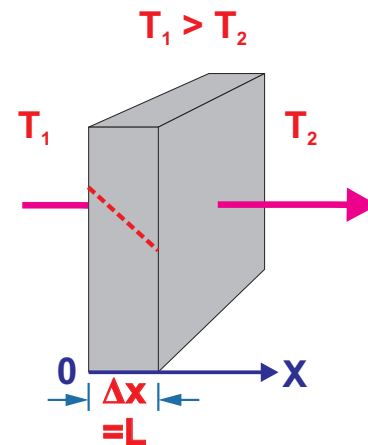
- \dot{Q} ; es la tasa de transferencia de calor a través del área A en la dirección positiva; su unidad en el S.I. es: W .

- κ ; es una constante de proporcionalidad, llamada conductividad térmica de la sustancia; sus unidades en el S.I. es: $W/m \cdot K$
- A ; es el área de la sección transversal de la transferencia de calor; su unidad en el S.I. es: m^2
- $\frac{dT}{dx}$; es el gradiente de temperatura; sus unidades en el S.I. es: K/m
- J ; es la densidad de corriente térmica; sus unidades en el S.I. son: W/m^2

Ahora consideremos una placa plana en la cual se desea hallar la distribución de temperatura en cualquier punto de ella y que no existe fuente interna de calor; entonces la distribución de temperaturas, para el caso unidimensional específicamente en el eje x , está dada por:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (6)$$

Figura 36
Placa plana conductora.



Fuente: Elaboración propia.

Pero en estado estacionario o estable la temperatura es independiente del tiempo, entonces se cumple que:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

Luego la ecuación (6) se simplifica a:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (7)$$

Para solucionar esta ecuación diferencial se necesita dos condiciones de frontera, esto se obtiene a partir de la Figura 36, las cuales son:

$$T(0) = T_1 \quad (8a)$$

$$T(L) = T_2 \quad (8b)$$

La solución de la ecuación diferencial dada por la ecuación (7), se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2 T}{dx^2} = 0 & \implies \frac{d}{dx} \left(\frac{dT}{dx} \right) = 0 \\
 d \left(\frac{dT}{dx} \right) = 0 & \implies \int d \left(\frac{dT}{dx} \right) = C_1 \\
 \frac{dT}{dx} = C_1 & \\
 dT = C_1 dx & \implies \int dT = C_1 \int dx + C_2
 \end{aligned} \tag{9}$$

entonces:

$$T(x) = C_1 x + C_2 \tag{10}$$

Aplicando la ecuación (8a) en la ecuación (10):

$$T(0) = C_2 = T_1 \implies C_2 = T_1$$

Reemplazando este valor en la ecuación (10):

$$T(x) = C_1 x + T_1 \tag{11}$$

Aplicando la ecuación (8b) en la ecuación (11):

$$T(L) = C_1 L + T_1 = T_2 \implies C_1 = \frac{T_2 - T_1}{L} \tag{12}$$

Reemplazando este valor en la ecuación (11):

$$T(x) = T_1 - \left(\frac{T_1 - T_2}{L} \right) x \tag{13}$$

Reemplazando las ecuaciones (9) y (12), respectivamente, en la ecuación (4); se tiene:

$$\begin{aligned} H &= -\kappa A \frac{dT}{dx} & \implies & & H &= -\kappa A C_1 \\ H &= -\kappa A \frac{T_2 - T_1}{L} & & & & \end{aligned} \quad (14)$$

De la ecuación (14), H tiene unidades de potencia, entonces para determinar experimentalmente la constante κ la cual es la conductividad térmica del material o sustancia, vamos a reemplazar H por P , es decir se hace $H = P$ y se tiene que:

$$\begin{aligned} \kappa &= -\frac{P L}{A(T_2 - T_1)} = -\frac{P L}{A(T_F - T_0)} \\ \kappa &= \frac{P L}{A(T_0 - T_F)} \end{aligned} \quad (15)$$

donde:

- κ ; es la constante de conductividad térmica del material o sustancia.
- P ; es potencia.
- L ; es la distancia que hay entre dos puntos de la placa, a lo largo del eje x .
- A ; es el área de la sección transversal de la placa, perpendicular a la dirección de la transferencia del calor.
- $(T_2 - T_1) = (T_F - T_0)$; es la diferencia de temperatura que existe entre los dos puntos de la placa indicados anteriormente; $T_1 = T_0 > T_F = T_2$.
- T_0 y T_F ; son las temperaturas inicial y final respectivamente.

ANEXO H

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO KT.

EQUIPO KT

En el presente anexo se indica el procedimiento que se realizó, y las figuras de avance, de construcción del equipo para medir la conductividad térmica de los ladrillos suelo-cemento.

8.1. Equipo para medir el coeficiente de conductividad térmica.

8.1.1. Materiales

1. 03 muestras de ladrillo.
2. 01 Plancha de tecnopor o corcho blanco, de $2'' = 5.08 \text{ cm}$ de espesor.
3. 01 Zócate.
4. 01 Foco de 60 W.
5. 01 Regla milimetrada.

8.1.2. Procedimiento.

1. En la Figura 37, se presenta una placa de tecnopor cuyas dimensiones son $32\text{ cm} \times 34.5\text{ cm}$, y en el centro de ella se ubica el zócate con el foco; siendo el foco la fuente responsable de generar la energía térmica o calorífica.
2. En la Figura 38, en uno de los extremos de longitud 34.5 cm , se coloca una porción de tecnopor de longitud igual a la del ladrillo y sobre ésta se coloca el ladrillo centrado, y en los tres extremos restantes se colocan tecnopor de longitud igual a sus respectivos extremos y altura 30 cm . En el extremo donde se ubica el ladrillo, lo que falta para los 30 cm de altura, se completa con tecnopor. En el ladrillo se realizaron dos orificios de aproximadamente 3 cm de profundidad, 0.5 cm de diámetro y una separación entre ellos de 2.5 cm , en ellos se introduce cierta cantidad de aceite de cocina de tal manera que cubra el bulbo de los termómetros, luego se ubican los termómetros en estos orificios. La fotografía tomada es de la parte superior.
3. En la Figura 39, con la configuración obtenida hasta el momento, por cuestión de estética, ésta se introduce en una caja de triplay, con base pero sin tapa, el espesor del triplay es de 4 mm . Las dimensiones de esta caja son las permitidas de tal manera que el equipo que se construye ingrese lo más exactamente en la caja. La fotografía tomada es de la parte superior.
4. En la Figura 40, se construye la tapa del equipo con una placa de tecnopor de dimensiones iguales a las de la placa de la base elaborado en el ítem 1.
5. En la Figura 41, fotografía tomada desde la parte superior.
6. En la Figura 42, se tiene al equipo **KT** finalizado, esto indica que está listo para ser usado y cumplir con sus funciones para el cual fue construido.
7. En la Figura 43, se realiza una presentación de frente de la estructura del plano o cara del equipo **KT** donde se ubica el ladrillo (Muestra en estudio), donde el aislante térmico es el tecnopor de $2''$ de espesor. Esto es sin considerar la parte de la madera de triplay.

Figura 37
Fuente de energía térmica.



Figura 38
Tecnopor como aislante térmico.



Figura 39

Mejoras de estética del equipo KT.

**Figura 40**

Equipo KT.



Figura 41

Toma superior del equipo.

**Figura 42**

Equipo KT finalizado.



Figura 43

Plano o cara del equipo, donde se ubica el ladrillo.

