



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE
LADRILLO ARTESANAL CON AGREGADO
NATURAL QUE CONTIENE PARTÍCULAS DE
HIERRO, 2022.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Royer David Llanos Marin

Gessler Lyndon Medrano Sanchez

Asesor:

Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen

<https://orcid.org/0000-0001-5024-7595>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Erlyn Giordany Salazar Huamán	71106769
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ítalo David Bendezu Checcillo	47050486
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 4	Carlos Elder Rudecindo Calua Carrasco	71573678
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la fuerza de seguir adelante con mis estudios y así poder cumplir mi objetivo. Por otro lado, dedico a mis familiares por su apoyo incondicional, por sus consejos y palabras de aliento en los momentos difíciles para que así pueda cumplir y llegar a mi meta que tenía planteada.

Gessler Lyndon Medrano Sánchez.

Dedicada a mi padre por el apoyo incondicional y la motivación para seguir adelante, a mi madre por su valentía, por inculcarme el trabajo y perseverancia para lograr mis metas, a los docentes de la facultad por la cátedra impartida, a todos quienes me acompañaron aportando a mi crecimiento personal y profesional.

Royer David Llanos Marín.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ayudarme día a día en mi vida como estudiante en la universidad privada del Norte y por darme las fuerzas de seguir adelante a pesar de las dificultades que se presentan. De manera especial agradezco a mi asesor Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen por su exigencia, motivación y apoyo con su experiencia y conocimiento durante el proceso de aprendizaje y desarrollo del trabajo de investigación.

Gessler Lyndon Medrano Sánchez

Agradezco a Dios por ser el piloto del avión mi vida, a mi familia, seres queridos, amigos, docentes, a nuestro asesor de tesis Ing. Tulio Edgar Guillén Sheen y todos los que me acompañaron en este largo vuelo, y a la vez por presenciar este despegue.

Royer David Llanos Marín.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE ECUACIONES	14
RESUMEN	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema	47
1.3. Objetivos	47
1.4. Hipótesis	48
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	49
2.1. Población y Muestra	50
2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	52
2.3. Procedimiento de recolección de datos	53
2.4. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos	56
2.5. Aspectos éticos	93
CAPÍTULO III: RESULTADOS	94
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	177
REFERENCIAS	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.....	38
Tabla 2 Clasificación de ladrillos.....	38
Tabla 3 Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales.....	39
Tabla 4 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Variación Dimensional.....	40
Tabla 5 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Alabeo.....	41
Tabla 6 Máximo porcentaje de absorción permitido para el tipo de unidad de albañilería.....	41
Tabla 7 Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Resistencia a la Compresión.	43
Tabla 8 Factores de corrección de $f'm$ por esbeltez	45
Tabla 9 Coeficiente de incremento por edad para los 14 y 21 días.....	46
Tabla 10 Ladrillos artesanales que conforman la muestra de investigación	50
Tabla 11 Operacionalización de Variables.....	51
Tabla 12 Protocolos de los ensayos de mecánica de suelos de materiales empleados en el estudio	53
Tabla 13 Protocolos de los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales.....	53
Tabla 14 Primera fase, ensayos de mecánica de suelos de materiales empleados en el estudio 54	
Tabla 15 Segunda fase, ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales.....	54
Tabla 16 Coordenadas UTM de localización de la ladrillera de “El Cerrillo”.....	57
Tabla 17 Vías de acceso a la ladrillera “El Cerrillo”	58
Tabla 18 Coordenadas UTM de localización de la cantera “Tingo la Palla”	59
Tabla 19 Vías de acceso a la cantera "Tingo la Palla".....	60
Tabla 20 Factores de corrección de $f'm$ por esbeltez	91
Tabla 21 Incremento de ($f'm$) por edad para las pilas de albañilería.....	91
Tabla 22 Contenido de humedad para la MP	94
Tabla 23 Análisis granulométrico para la MP.....	94
Tabla 24 Límite líquido de la MP	96
Tabla 25 Límite de plasticidad para la MP.....	97
Tabla 26 Índice de plasticidad para la MP.....	97
Tabla 27 Peso específico relativo de sólidos de la MP	100
Tabla 28 Peso unitario de la MP	100

Tabla 29	<i>Contenido de humedad para el agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	101
Tabla 30	<i>Análisis granulométrico de la MH</i>	101
Tabla 31	<i>Límite líquido del agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	103
Tabla 32	<i>Límite de plasticidad para el agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	104
Tabla 33	<i>Índice de plasticidad para el agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	105
Tabla 34	<i>Peso específico relativo de sólidos de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	107
Tabla 35	<i>Peso unitario de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	107
Tabla 36	<i>Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	108
Tabla 37	<i>Límite líquido de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	110
Tabla 38	<i>Límite plástico de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	111
Tabla 39	<i>Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	111
Tabla 40	<i>Peso específico relativo de sólidos de la muestra patrón más 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	114
Tabla 41	<i>Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	114
Tabla 42	<i>Límite líquido de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	116
Tabla 43	<i>Límite plástico de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	117
Tabla 44	<i>Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	117
Tabla 45	<i>Peso específico relativo de sólidos de la muestra patrón más 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	120
Tabla 46	<i>Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	120
Tabla 47	<i>Límite líquido de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	122
Tabla 48	<i>Límite plástico de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	123
Tabla 49	<i>Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	123

Tabla 50 <i>Peso específico relativo de sólidos para la muestra patrón más 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	126
Tabla 51 <i>Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	126
Tabla 52 <i>Límite líquido de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	128
Tabla 53 <i>Límite plástico de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	129
Tabla 54 <i>Índice de Plasticidad Para la Muestra Patrón más el 75 % de Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro.</i>	129
Tabla 55 <i>Peso específico relativo de sólidos para la muestra patrón más 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	132
Tabla 56 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP - Largo (mm).</i>	134
Tabla 57 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP - Ancho (mm).</i>	135
Tabla 58 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP – Altura (mm).</i>	136
Tabla 59 <i>Alabeo de los ladrillos artesanales de la MP</i>	137
Tabla 60 <i>Absorción de los ladrillos artesanales de la MP</i>	137
Tabla 61 <i>Succión de los ladrillos artesanales de la MP</i>	138
Tabla 62 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo (mm).</i>	139
Tabla 63 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Ancho (mm).</i>	140
Tabla 64 <i>Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Altura (mm).</i>	141
Tabla 65 <i>Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	142
Tabla 66 <i>Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	142
Tabla 67 <i>Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro</i>	143
Tabla 68 <i>Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm).</i>	144
Tabla 69 <i>Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Ancho(mm)</i>	145
Tabla 70 <i>Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Altura(mm).</i>	146

Tabla 71 Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	147
Tabla 72 Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	147
Tabla 73 Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	148
Tabla 74 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm).....	149
Tabla 75 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Ancho (mm).....	150
Tabla 76 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Altura (mm).....	151
Tabla 77 Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	152
Tabla 78 Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	152
Tabla 79 Ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	153
Tabla 80 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm).....	154
Tabla 81 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Ancho (mm).....	155
Tabla 82 Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Altura (mm).....	156
Tabla 83 Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	157
Tabla 84 Ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	157
Tabla 85 Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	158
Tabla 86 Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP.....	159
Tabla 87 Resistencia a compresión (f'm) de pilas de albañilería - MP.....	160
Tabla 88 Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro	161
Tabla 89 Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro	162

Tabla 90 Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	163
Tabla 91 Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	164
Tabla 92 Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	165
Tabla 93 Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	166
Tabla 94 Resultado de la resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	167
Tabla 95 Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	168
Tabla 96 Tabla comparativa de los resultados del ensayo de Variación Dimensional	169
Tabla 97 Tabla comparativa de los resultados del ensayo de alabeo	170
Tabla 98 Tabla comparativa de los resultados del ensayo de absorción	171
Tabla 99 Tabla comparativa de los resultados del ensayo de succión	172
Tabla 100 Tabla comparativa del ensayo de resistencia a compresión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales.....	173
Tabla 101 Tabla comparativa de resultados del ensayo de resistencia a compresión(f'm) de pilas de albañilería	175

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Diagrama de Flujo General para la Actividad Ladrillera.	33
<i>Figura 2</i> Tipos de Unidades de Albañilería.....	37
<i>Figura 3</i> Efecto de la Altura en la Hilada debido a la variación dimensional de la Unidad	40
<i>Figura 4</i> Ilustración del ensayo de absorción en la unidad de albañilería.....	42
<i>Figura 5</i> Ilustración del ensayo de succión de la unidad de albañilería.....	42
<i>Figura 6</i> Ilustración de la resitencia a compresion en las pilas de albañilería	44
<i>Figura 7</i> Ilustración del esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de carga unitaria axial ...	45
<i>Figura 8</i> Esquema del procedimiento de recolección de datos.....	55
<i>Figura 9</i> Ubicación de la ladrillera “El Cerrillo”	57
<i>Figura 10</i> Rutas de acceso a la ladrillera “El Cerrillo”	58
<i>Figura 11</i> Ubicación de la cantera "Tingo la Palla".....	59
<i>Figura 12</i> Ruta de acceso desde la Ciudad de Cajamarca hasta la Provincia de San Marcos.	60
<i>Figura 13</i> Ruta de acceso desde la Provincia de San Marcos hasta el Distrito de José Sabogal.	61
<i>Figura 14</i> Ruta de acceso desde el Distrito de José Sabogal hasta el Centro Poblado Matibamba.	61
<i>Figura 15</i> Ruta desde el Centro Poblado Matibamba hasta la Localidad Tingo La Palla	62
<i>Figura 16</i> Localidad Tingo la Palla - cantera "Tingo la Palla"	62
<i>Figura 17</i> Cantera Tingo la Palla	63
<i>Figura 18</i> Agregado natural que contiene partículas hierro, atraído magnéticamente por un imán	63
<i>Figura 19</i> Plano de Ubicación de la cantera “Tingo la Palla”	64
<i>Figura 20</i> Contenido de humedad.....	66
<i>Figura 21</i> Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado.....	68
<i>Figura 22</i> Límite líquido del suelo.....	71
<i>Figura 23</i> Límite plástico del suelo	73
<i>Figura 24</i> Peso específico relativos de sólidos	75
<i>Figura 25</i> Peso unitario de los agregados finos	76
<i>Figura 26</i> Combinación del material en diferentes porcentajes	78
<i>Figura 27</i> Batido y moldeado de los ladrillos artesanales.....	79
<i>Figura 28</i> Secado y cocción de los ladrillos artesanales	79
<i>Figura 29</i> Almacenamiento y transporte de los ladrillos artesanales	80
<i>Figura 30</i> Variación dimensional de ladrillos artesanales	82
<i>Figura 31</i> Cuña milimétrica para los ensayos de alabeo.....	83
<i>Figura 32</i> Esquema de alabeo en la unidad de albañilería - Convexo	83
<i>Figura 33</i> Esquema de alabeo en la unidad de albañilería - Cóncavo	84

Figura 34 Alabeo de ladrillos artesanales.....	84
Figura 35 Absorción de los ladrillos artesanales	86
Figura 36 Succión de los ladrillos artesanales	88
Figura 37 Resistencia a la compresión axial de las muestras de ladrillos artesanales	89
Figura 38 Resistencia a compresión en pilas de albañilería	92
Figura 39 Curva granulométrica de la MP	95
Figura 40 Límites de Atterberg para la MP.....	96
Figura 41 Clasificación unificada de suelos S.U.C.S	98
Figura 42 Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón.	99
Figura 43 Curva granulométrica de la MH.....	102
Figura 44 Límites de Atterberg para el agregado natural que contiene partículas de hierro .	104
Figura 45 Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro	105
Figura 46 Clasificación según AASHTO de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	106
Figura 47 Curva granulométrica de muestra patrón más adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	109
Figura 48 Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	110
Figura 49 Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro	112
Figura 50 Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro	113
Figura 51 Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	115
Figura 52 Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro	116
Figura 53 Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro	118
Figura 54 Clasificación del material según AASHTO la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro	119
Figura 55 Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	121
Figura 56 Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.	122
Figura 57 Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro	124

Figura 58 Clasificación del Material según AASHTO de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro	125
Figura 59 Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.....	127
Figura 60 Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.	128
Figura 61 Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro	130
Figura 62 Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro	131
Figura 63 Elaboración de ladrillos artesanales	133
Figura 64 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de variación dimensional.....	169
Figura 65 Gráfico de comparativo de resultados del ensayo de alabeo para los diferentes tipos de ladrillos artesanales	170
Figura 66 Gráfico de comparativo de resultados del ensayo de absorción de los diferentes tipos de ladrillos artesanales	171
Figura 67 Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de succión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales.....	172
Figura 68 Gráfico comparativo de los resultados de la resistencia a compresión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales	174
Figura 69 Gráfico comparativo de resultados de la resistencia a compresión($f'm$) de los diferentes tipos de pilas de albañilería.....	175

ÍNDICE DE ECUACIÓN

<i>Ecuación 1. Contenido de humedad</i>	<i>66</i>
<i>Ecuación 2. Porcentajes retenidos en cada tamiz - análisis granulométrico.....</i>	<i>67</i>
<i>Ecuación 3. Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz - análisis granulométrico.....</i>	<i>68</i>
<i>Ecuación 4. Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz – análisis granulométrico.....</i>	<i>68</i>
<i>Ecuación 5. Contenido de humedad del límite líquido – límites de plasticidad.....</i>	<i>70</i>
<i>Ecuación 6. Contenido de humedad del límite plástico - límites de plasticidad</i>	<i>72</i>
<i>Ecuación 7. Peso específico relativo de sólidos</i>	<i>74</i>
<i>Ecuación 8. Peso unitario suelto</i>	<i>76</i>
<i>Ecuación 9. Longitud Promedio</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación 10. Ancho Promedio</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación 11. Altura Promedio</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación 12. Variación dimensional.....</i>	<i>81</i>
<i>Ecuación 13. Absorción.....</i>	<i>85</i>
<i>Ecuación 14. Succión</i>	<i>87</i>
<i>Ecuación 15. Resistencia a compresión axial.....</i>	<i>89</i>
<i>Ecuación 16. Área Bruta de la unidad de albañilería.....</i>	<i>89</i>
<i>Ecuación 17. Resistencia a compresión axial de pilas</i>	<i>90</i>
<i>Ecuación 18. Esbeltez</i>	<i>91</i>
<i>Ecuación 19. Resistencia a compresión axial de pilas corregido</i>	<i>92</i>
<i>Ecuación 20. Desviación estándar</i>	<i>92</i>

RESUMEN

La Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería estipula que las unidades de albañilería deben cumplir con las exigencias y características para fines estructurales según su clasificación. Los ladrillos elaborados artesanalmente en la ciudad de Cajamarca, en su mayoría se desconocen sus propiedades físicas y mecánicas, por lo general se realiza el expendio de este material sin conocer sus propiedades ya que los artesanos no cuentan con una ficha técnica, a la vez se desconoce si son aptos para el comportamiento estructural y sísmico a las cuales son sometidas. En base a ello se buscó determinar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro al 2022. La metodología empleada según su propósito es considerada aplicada, con un enfoque cuantitativo y diseño experimental, de alcance descriptivo y de acuerdo al periodo de estudio es transversal, seleccionándose una muestra de 300 ladrillos elaborados con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro. Los resultados determinaron que los ladrillos elaborados con adición del 10% de este material es la más óptima, presentando menor alabeo en su concavidad y un menor porcentaje de absorción en relación a las muestras ensayadas, sin embargo no satisface las exigencias de norma en función a la succión, por otro lado esta muestra presenta una mayor resistencia a compresión de la unidad alcanzando los 68.20 kg/cm², mientras que la resistencia a compresión en pilas de albañilería, alcanzó una resistencia de 36.64 kg/cm² a los 21 días de curado, cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

PALABRAS CLAVES: Ladrillo artesanal, partículas de hierro, propiedades físicas y mecánicas.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Uno de los inventos que más impacto ha tenido en la evolución de las culturas es el ladrillo artesanal. Su evolución ha cambiado en el transcurso del tiempo y lugar, actualmente se están realizando numerosos estudios para intentar utilizar nuevos insumos para su producción que ayuden a disminuir sus efectos ambientales negativos, utilizando menos materia prima y mejorando sus propiedades físicas y mecánicas. Este elemento ha jugado un papel importante en la industria de la construcción a lo largo de su historia. Como es de conocimiento, el ladrillo artesanal se usa ampliamente en la construcción; sin embargo, debido a que muchos fabricantes no se rigen a las normativas vigentes de los países donde se producen estos ladrillos artesanales, estas unidades presentan deficiencias en sus propiedades físicas y mecánicas.

Egipto es uno de los países que emplea ladrillos de arcilla a gran escala en la construcción de viviendas, los fabricantes producen ladrillos de diferentes modelos, utilizando grandes volúmenes de arcilla; pero debido a la escasez de material, diversos investigadores utilizaron residuos industriales en el desarrollo de nuevos materiales mediante técnicas de reutilización y reciclaje, obteniendo efectos positivos como: conservación de recursos, bajo costo y mejoras ambientales; asimismo, se evidenció efectos negativos en las características mecánicas y físicas de estas unidades (Shaqour et al., 2021).

En La India, se presenta un problema en el proceso de cocción de los ladrillos artesanales, puesto que genera emisiones de dióxido de carbono (CO₂), impactando negativamente al medio ambiente, debido a que en este país existe una alta demanda de utilización de los ladrillos en las construcciones de viviendas urbanas y rurales. Hasta

el año 2022, se registró una aproximación de 90 millones de viviendas que emplearon este elemento (Thejas & Hossiney, 2022).

Por otro lado, México es una de las naciones que carece de la materia prima necesaria para la fabricación de ladrillos de arcilla, debido al auge en el uso de estos ladrillos en la construcción de viviendas. Es por ello, que la fabricación de ladrillos implica un elevado consumo de recursos naturales y energía, además de generar una gran cantidad de agentes contaminantes al medio ambiente. Los ladrillos de arcilla muchas veces sufren el ataque de agentes agresivos, como el agua, debido a los poros que presentan estas unidades, lo cual facilita su ingreso y afecta la durabilidad del ladrillo, por consecuente reduce la eficiencia como material de construcción (Maza, 2017). Palmas (2020) sostiene que los ladrillos que se fabrican en México generalmente se realiza con métodos artesanales, por lo que, la mayoría de ellos no cumplen con las exigencias mínimas indicadas en la Norma Mexicana (NMX) NMX-C-404-ONNCCE-2005, "Industria de la Construcción - Bloques, Tabiques o Ladrillos y tabiques para uso estructural: especificaciones y métodos de prueba".

En América del Sur también existe la problemática referente al incumplimiento de estándares de calidad en la fabricación de ladrillos. Caso Colombia, según Puentes (2021) indica que los fabricantes de ladrillos artesanales de arcilla no se rigen a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 de Unidades de mampostería de arcilla cocida, ladrillos y bloques cerámicos. Debido al proceso inadecuado en la elaboración de estas unidades se presenta deficiencias en las propiedades físicas y mecánicas de estos elementos.

En Ecuador se presenta otra problemática en cuanto a la comercialización de ladrillos artesanales, puesto que en varias regiones de este país no se fabrica este elemento y generalmente las personas que necesitan adquirir ladrillo tienen que transportarse de diferentes localidades hasta el lugar de fabricación, sin tener conocimiento si estas

unidades son aptas o no para su utilización. A diferencia de la Región Sierra, que cuenta con un número significativo de hornos ladrilleros artesanales en las provincias de Cotopaxi, Pichincha, Azuay, Chimborazo y Loja, la Amazonía carece de hornos ladrilleros. Sin embargo, estos ladrillos se fabrican de forma manual, y el método utilizado por los artesanos para elaborar estas unidades se ha transmitido de generación en generación, por lo que el conocimiento es hereditario y va mejorado con el tiempo. Debido a diversos factores, entre ellos la materia prima, los métodos de selección, moldeado, secado y cocción que utiliza cada artesano, es necesario fabricar ladrillos artesanales cumpliendo los requisitos mínimos que rige el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), (Romero, 2021).

En Perú, Región La Libertad, se ha encontrado que los ladrillos artesanales presentan deficiencias en sus propiedades físicas y mecánicas, debido a que estas unidades son elaboradas con material extraído de canteras informales y no se realizan ensayos del material en laboratorios para la determinación de sus propiedades (Meza & Wu, 2018). En la Región Lambayeque, una parte importante del mercado de ladrillos también es elaborada manualmente, sin control de calidad y de acuerdo a la experiencia del trabajador. Según los resultados obtenidos por Chicchon & Rivasplata (2020), en el Distrito de Monsefú en la misma región, indica que la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería se encuentra entre 23,15 kg/cm² y 28,20 kg/cm², resultados inferiores a 50 kg/cm², siendo este el valor mínimo exigido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

Mientras que, en la Región Loreto, Torres (2021) señala que la venta de ladrillos artesanales representa un gran problema, debido a que esta actividad se realiza de manera irregular sin control alguno de la calidad de los ladrillos que se comercializa, esta misma problemática se presenta en la Región Cajamarca, por lo que es necesario determinar si las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales cumplen con lo establecido

en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Así mismo, Molocho (2019) sostiene que las empresas ladrilleras artesanales de la ciudad de Cajamarca no cuentan con ficha técnica que indique las características mecánicas y físicas de las unidades de albañilería, puesto que estos ladrillos artesanales suelen presentar fracturas y deformaciones considerables.

Toda esta problemática permite demostrar que en la provincia de Cajamarca y en el resto del país, se construyen viviendas de albañilería utilizando principalmente ladrillos artesanales. A pesar de su uso generalizado, se sabe poco de las propiedades de las unidades de albañilería en este sistema constructivo, lo que frecuentemente representa un alto grado de incertidumbre en el comportamiento de la estructura.

Como resultado, es fundamental que se pueda medir un nivel estructural de albañilería en función de la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad, que a su vez dependen de la calidad de la unidad, del mortero y la mano de obra utilizada (Cortéz, 2018). Con esto, se demuestra que existe la necesidad de elaborar ladrillos artesanales cuyas propiedades físicas y mecánicas cumplan los requerimientos de la normativa técnica de cada lugar que se elabora estas unidades.

Antecedentes

Debido a la problemática existente, numerosos investigadores han realizado estudios que ayudan a mejorar las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo fabricado artesanalmente, así como a disminuir el impacto sobre el medio ambiente y el uso de materia prima en la producción de unidades de albañilería.

Antecedentes Mundiales

Kumar et al. (2020) en su artículo científico publicado en la revista Intechopen en la India: “Geopolymer Bricks Using Iron Ore Tailings, Slag Sand, Ground Granular Blast Furnace Slag and Fly Ash”, propuso como objetivo evaluar la resistencia del ladrillo empleando relaves de mineral de hierro y arena de escoria como reemplazo de arcilla o

arena natural para la producción de bloques de geo-polímero estabilizado. Se realizaron una serie de ensayos para estudiar las propiedades de resistencia y durabilidad de los ladrillos de geo-polímero. La muestra empleada fue de 6 especímenes elaboradas con: relaves de material de hierro, arena, ceniza voladora, escoria de alto horno y solución alcalina, las muestras fueron GB-1 (20%, 40%, 15%, 15 % y 10%), GB-2 (30% , 30%, 15%, 15 % y 10%), GB-3 (40%, 20%, 15%, 15% y 10%, GB-4 (20%, 40%, 15% , 15 % y 10%), GB-5 (30%, 30%, 15%, 15 % y 10%), GB-6 (40%, 20%, 15%, 15 % y 10%). De acuerdo a los resultados de las muestras sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días, se obtuvo GB-1(15.41 N/mm², 17.79 N/mm², 21.86 N/mm²), GB-2(13.04 N/mm², 14.82 N/mm², 18.46 N/mm²), GB-3(11.86 N/mm², 13.44 N/mm², 16.68 N/mm²), GB-4(17.59 N/mm², 20.16 N/mm², 25.3 N/mm²), GB-5(15.22 N/mm², 17.39 N/mm², 21.58 N/mm²), GB6(13.24 N/mm², 15.02 N/mm², 18.38 N/mm²). En cuanto a los resultados del ensayo de absorción fueron para la muestra GB-1 fue de 1.06 kg/m²/m, GB-2 0.94 kg/m²/m, G3-1 1.03 kg/m²/m, GB-4 1.28 kg/m²/m, GB-5 1.06 kg/m²/m y GB-6 0.90 kg/m²/m. Por otro lado, los ensayos de densidad seca tuvieron como resultado los siguientes GB-1 1978 kg/m³, GB-2 2001 kg/m³, GB-3 2055 kg/m³, GB-4 2006 kg/m³ GB-5 2061 kg/m³, además, la densidad húmeda son los siguientes GB-1 2110kg/m³, GB-2 2086kg/m³, GB-3 2152kg/m³, GB-4 2227 kg/m³ GB-5 2136kg/m y GB-6 2180kg/m. Finalmente, la resistencia a la compresión es mínima para los ladrillos de geo-polímero, presentando el menor porcentaje de arena de escoria, la resistencia a compresión aumenta con el mayor porcentaje de residuos de mineral de hierro, siendo la muestra GB-4 (20% relaves de material de hierro, 40% de arena) que alcanzó una resistencia 25.3 N/mm² a los 28 días.

Singh et al. (2021) en su artículo científico publicado en la revista Journal of Scientific & Industrial Research en la India: “Utilization of Iron Ore Tailings for Brick Manufacture from Donimalai Mines of Karnataka, India”, tuvo como objetivo elaborar

ladrillos alternativos a partir de relaves de mineral de hierro de las minas Donimalai de Bellary, Karnataka e India, y verificar si estos cumplen con los requisitos establecidos por la Oficina de Estándares Indios (Bureau of Indian Standards-BIS). Para ello se realizaron ensayos a las unidades para la determinación de las propiedades mecánicas como la densidad aparente, la resistencia a la compresión y absorción de agua. En cuanto a la elaboración de estos ladrillos se utilizó diferentes porcentajes en las proporciones de Relaves de Hierro (FeT), Cemento Portland Ordinario (OPC), Silicato de Sodio (SS) y Arena. Las proporciones de la mezcla de los materiales utilizados se realizó en cuatro categorías i) FeT, OPC y arena en la proporción de 10:02:01, 09:03:01 y 08:04:01, ii) FeT, SS y OPC en la proporción de 09:01:01, 18:01:03 y 18:03:01, iii) FeT y SS en la proporción de 09:01,17:03 y 08: 02 y iv) FeT y OPC en la proporción de 09:01, 17:03 y 08:02 respectivamente. La investigación tuvo como resultados en el ensayo de Densidad Aparente (BD) presentó un valor máximo de 2.12 g/ cm² para la relación FeT: OPC: SS (10:02:01) y valor mínimo de 1. 88 g/cm² para la muestra FeT: OPC: SS (08:04:01). En cuanto al ensayo de Resistencia a la Compresión (CS), se obtuvo que el valor máximo de CS fue de 8,58 N/mm² en la relación al FeT: OPC (08:02) en cambio el valor mínimo de CS fue de 3,43 N/mm² en la relación FeT: SS (09:01); el valor mínimo estuvo ligeramente por debajo del estándar prescrito en 2%, siendo el requisito mínimo de CS de 3,5 N/mm² para la unidad de ladrillo de arcilla cocida, según la normativa IS 1077:1992 de la Oficina de Estándares Indios en los Ensayo de Absorción de Agua (WA). Por último, se registró un valor máximo de (21 %) para absorción de agua en las proporciones FeT: SS (09:01) y valor mínimo de 5,50% en las proporciones FeT: OPC (08:02).

Shaour et al. (2021) en su artículo científico publicado en la revista Journal of Engineering and Applied Science en Egipto: “Improved fired clay brick compressive strength by recycling wastes of blacksmiths’ workshops”, tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de limaduras de acero de los desechos generados en los talleres de herrería,

en la elaboración de ladrillos de arcilla para mejorar su resistencia a la compresión. La investigación fue de carácter experimental, en la cual se realizó una evaluación del efecto de la adición de limaduras de acero a la mezcla de arcilla roja en diferentes proporciones (0%, 1%, 2%, 3% y 4% en peso). Al realizarse el ensayo de absorción de agua, los resultados de efecto de adición de porcentajes de limaduras de acero al 3% y 4%, mostraron valores de absorción de agua del 9.6% y 9.4%, mientras que el valor máximo considerado en el Código de práctica egipcio (ECP-204) es del 16 %, por lo tanto, los valores del ensayo son incompatibles con lo establecido. Al realizar la prueba de resistencia a la compresión, se registró que el incremento del 0 % de las limaduras de acero dan una resistencia a la compresión mínima de 6,74 N/mm² y con la adición del 3% de las limaduras de este material su resistencia a la compresión máxima fue de 12.40 N/mm². Finalmente, se pudo observar que al aumentar el porcentaje de limaduras de acero aumenta la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería. Sin embargo, con la adición del 4% de limaduras de acero reduce la resistencia del ladrillo.

Martín (2015) en España, en su investigación: “Incorporación de escorias en la fabricación de productos de arcilla cocida”, tuvo como objetivo realizar la incorporación de escorias de aluminio en ladrillos de arcilla cocida para su aplicación comercial. La investigación fue experimental, y se tuvo como muestra de estudio a unidades de arcilla con incorporación del 10%, 20%, 30% y 40% de escorias de aluminio. De acuerdo con los hallazgos de la investigación, señalaron que, a densidades más altas, el material es más compacto y tiene menos poros, lo que hace que las partículas estén más unidas y da como resultado una tasa de absorción más baja. Debido a que aumenta la densidad, disminuye la absorción y aumenta la resistencia a la flexión y a compresión, al agregar un 20 % de escoria de aluminio a la arcilla, mejoran las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos.

Antecedentes América Latina

De Freitas et al. (2018) en su artículo científico publicado en la revista Springer en Brasil: “Steel slag and iron ore tailings to produce solid brick”, planteó como objetivo verificar el potencial de reutilización de escorias de acero y relaves de mineral de hierro como materias primas secundarias para la elaboración de ladrillos. Se realizó un estudio comparativo para verificar el comportamiento mecánico de los bloques de hormigón y ladrillos prensados a partir de la reutilización de estos residuos. Como muestra se emplearon ladrillos elaborados con los siguientes materiales: Residuos de Acero (T365), Mineral de Hierro (IOT) y Cemento(C), en diferentes proporciones de materias primas en la relación T365: IOT:C, las muestras se clasificaron como: T1 (100/0/0), T2 (85/15/0) y T3 (85/10/5); además, para cada tipo se realizaron 10 unidades de ladrillo. Los resultados indican que la totalidad de las composiciones estudiadas cumplieron con la resistencia a compresión mínima de 2,0 MPa para la fabricación de ladrillos según ISO 13006:2012. En ese sentido, el contenido de óxido de hierro (CaO) refuerza las buenas prestaciones mecánicas del ladrillo T1 (100/0/0). Sin embargo, el mayor contenido de CaO en el ladrillo T2 (85/15/0) tuvo un efecto negativo en la resistencia mecánica en comparación con el ladrillo T1. En la adición de cemento en el ladrillo T3 (85/10/5) aumentó su resistencia, en comparación con la muestra T2. Por lo tanto, los ladrillos T1 y T3 se destacan por ser más livianos y tener los mejores resultados de resistencia a la flexión.

Mendes et al. (2019) en su artículo científico publicado en la revista Elsevier en Brasil: “Technical and environmental assessment of the incorporation of iron ore tailings in construction clay bricks”, tuvo como objetivo evaluar la reutilización de relaves de mineral de hierro con alto contenido de silicio, en la fabricación del ladrillo de arcilla. El diseño de la investigación fue de tipo experimental teniendo como muestra de estudio a unidades de ladrillo elaborados con relaves de mineral de hierro y materiales arcillosos, las proporciones de material empleado fueron de 0% a 40% para los relaves de hierro y

de 30% a 70% para las arcillas. Los resultados mostraron que la composición óptima del ladrillo contiene 29.1 % de relaves de hierro y 70.9 % de arcilla. El valor obtenido del ensayo de absorción de agua es del 20.94% y de la resistencia a la compresión igual a 4.27 MPa, demostrando su potencial para ser utilizado en la elaboración de ladrillos.

Bautista (2020) en Colombia, en su investigación: “Fabricación y caracterización de ladrillos Eco-amigables con adición de residuo industrial de hierro”, tuvo como objetivo analizar el resultado de la incorporación de desechos de hierro sobre las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos. La investigación fue de carácter experimental y se aplicó la metodología cuantitativa. Se trabajó con adición del 0%, 5%, 10% y 15 % de desechos de hierro en la elaboración de ladrillos arcilla. Los resultados del ensayo de Porosidad y Absorción indican que a medida que se agrega desechos de hierro a la arcilla, la porosidad aumenta de 20.5% a 27.8% y esta porosidad está relacionada con el agua añadida para la fabricación de ladrillos. De acuerdo al porcentaje la absorción, todos los ladrillos cocidos cumplen con los requisitos indicados en la Norma Técnica Colombiana-NTC 4205, la cual debe ser menor al 15%. Por otro lado, cuando se agrega el 5% del residuo de hierro, los resultados del ensayo de resistencia a la flexión de los ladrillos disminuyen de 10,8 MPa a 7,8 MPa. En tanto, con la adición del 10% de este material, la resistencia a la flexión alcanza a 7.3 MPa. Por otro lado, con la adición del 15% del residuo de hierro, la resistencia a la flexión fue de 6 MPa. De los resultados obtenidos indicaron que la porosidad es el defecto más importante en los materiales cerámicos, porque una mayor porosidad, menor resistencia mecánica. Sin embargo, todos los ladrillos exceden el requisito mínimo de 5 MPa de resistencia a la flexión.

Antecedentes Nacionales

Vargas (2017), en su investigación realizada en Perú titulada: “Evaluar la influencia de los residuos de las cizalladuras de acero estructural en la adición de la fabricación de las unidades de albañilería más vendidas en la ciudad de Cusco, analizadas

en la ladrillera Bellota E.I.R.L., de San Jerónimo - Cusco” tuvo como objetivo determinar en qué medida la incorporación de porcentajes de residuos de cizalladura de acero estructural en el proceso de fabricación, mejora las propiedades físicas y mecánicas de la unidad de albañilería de 18 huecos King Kong. La investigación se realizó experimentalmente, empleando el uso del acero cizallado adicionando porcentajes de 0%, 1%, 3% y 6%. Los ladrillos King Kong de 18 huecos de la fábrica Bellota del barrio San Jerónimo de la Ciudad del Cusco conforman las unidades de albañilería y pilas que componen la muestra de estudio. Los resultados del ensayo de alabeo corresponden para el 0% (Cara sup. 1.95 mm; Cara inf. 3.90 mm), para el 1% (Cara sup. 3.80 mm; Cara inf. 3.25 mm), para el 3% (Cara sup. 3.00 mm; Cara inf. 3.00 mm) y para el 6% (Cara sup. 1.30 mm; Cara inf. 3.80 mm); las muestras fueron clasificadas como tipo 4, puesto que en ningún caso se sobrepasó los 4mm de alabeo. El ensayo de absorción dio como resultados para la adición del 0%, 1%, 3% y 6%, los porcentajes de 13.06%, 13.59%, 13.33% y 13.41%; estos valores obtenidos no sobrepasan el límite de absorción establecido (22%) por la Norma Técnica Peruana E-070 de Albañilería. Asimismo, el ensayo de porcentaje de vacíos para el 0%, 1%, 3% y 6%, son de 23.67%, 23.54%, 23.23% y 26.30%, de acuerdo con los resultados obtenidos clasificaron como unidades de albañilería sólida, puesto que la norma indica que el porcentaje de vacíos debe ser menor o igual al 30%. También, los resultados del ensayo de resistencia a compresión axial para el 0%, 1%, 3% y 6%, alcanzaron la resistencia de 139.85 kg/cm², 180.53 kg/cm², 227.16 kg/cm² y 203.01 kg/cm²; de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería, indica que la resistencia mínima para el tipo de ladrillo Tipo IV es de 130 kg/cm². Por último, los resultados para el ensayo de resistencia a compresión axial en pilas, para el 0%, 1%, 3% y 6%, alcanzaron resistencias de 113.16 kg/cm², 99.52 kg/cm², 117.69 kg/cm² y 94.57 kg/cm²; esto demuestra que las muestras sobrepasan los 65

Kg/cm² (Ladrillo Tipo IV), valor establecido en la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería.

Espinoza & Pejerrey (2018) en su investigación: “Propiedades mecánicas del ladrillo con escoria de acero para viviendas unifamiliares, San Juan de Lurigancho – 2018”, plantearon como objetivo diseñar ladrillos con escoria de acero como agregado fino. El estudio fue de carácter descriptivo – experimental, para lo cual tomaron como muestra 60 unidades de ladrillo, de las cuales se elaboró 20 unidades para cada adición de escoria en los porcentajes 0%, 20% y 30%. El ensayo de resistencia a la compresión del ladrillo con el 30% de escoria alcanzó una resistencia de 138,68 kg/cm², superior a la resistencia mínima de 130 kg/cm² (Ladrillo Tipo IV) indicada en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Así mismo, alcanzó una resistencia de 152,84 kg/cm² en el ensayo de resistencia a compresión de pilas, estando por encima de la resistencia mínima de 65 kg/cm² (Ladrillo Tipo IV) especificada en la norma. Por último, con la adición del 30% de escoria se cumplió con las exigencias establecidas mínimas de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería del Reglamento Nacional de Edificación.

German & Perez (2020) en su investigación: “Influencia de la limadura de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto fabricadas artesanalmente, Trujillo – 2020”, tuvo como objetivo determinar la influencia de las limaduras de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería. La metodología empleada fue de diseño experimental transversal, y la compilación de información se realizó por medio de la técnica de observación con el instrumento guía de observación y la estadística inferencial para el análisis de datos. La muestra fue de 308 unidades de ladrillo y se empleó un incremento de limaduras de hierro en 0%, 2.5%, 5% y 7%; de las cuales se ensayaron 77 unidades para cada porcentaje de hierro. Los resultados demuestran que al incrementar el 5% de limaduras de hierro la

resistencia a compresión axial fue de $f'b = 141,60 \text{ kg/cm}^2$ y en pilas fue de $f'm = 47,37 \text{ kg/cm}^2$.

Reinaga & Rodriguez (2022) en su investigación: “Propuesta de un eco-ladrillo con escoria de acero y material de reciclaje PET para uso de tabiquería, con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por la fabricación de ladrillos de arcilla en Lima”. La investigación fue de nivel explicativo con carácter experimental. Para la fabricación del eco-ladrillo, se elaboró tres mezclas con cantidades variables de escoria de acero y material reciclado de PET. Las cantidades de escoria fueron de 35%, 42% y 50%, y las cantidades de material reciclado PET fueron de 35%, 28% y 20%. El cemento y el agua tuvo una proporción del 30% en las tres mezclas. Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión para la muestra patrón y la adición del 35% 42% y 50% de escoria son a los 7 días fue de 75.9 kg/cm^2 , 20.28 kg/cm^2 , 19.00 kg/cm^2 y 18.10 kg/cm^2 , mientras que a los 14 días fue de 90.4 kg/cm^2 , 32.5 kg/cm^2 , 26.00 kg/cm^2 y 19.9 kg/cm^2 , por último, a los 28 días fue de 105.3 kg/cm^2 , 51.3 kg/cm^2 , 26.00 kg/cm^2 y 24.1 kg/cm^2 .

Antecedentes Regionales

Alvarado & Tafur (2020), en su investigación: “Propiedades físico-mecánicas en morteros con fibra de acero trefilado para muros portantes, Cajamarca”, tuvo como objetivo identificar la resistencia a la compresión de la albañilería ($f'm$) de pilas hechos con porcentajes del 0%, 30%, 65% y 100% de fibras de acero trefilada y la resistencia a compresión de morteros con distintas dosificaciones de fibra de acero trefilada. La metodología aplicada fue experimental y tuvo como muestra de estudio a 84 pilas de albañilería y 70 probetas de morteros en varias dosificaciones. Los resultados del ensayo de resistencia a compresión de los morteros elaborados con cemento: arena (1:2,8) y adición del 0%, 30%, 65% y 100% fue de $322,70 \text{ kg/cm}^2$, $331,34 \text{ kg/cm}^2$, $352,58 \text{ kg/cm}^2$ y $333,09 \text{ kg/cm}^2$. Por otro lado, el ensayo de resistencia a compresión de pilas de albañilería ($f'm$) al 0%, 30%, 65% y 100% de adición de fibras de acero fue de 21.63

kg/cm², 29.15 kg/cm², 28.45 kg/cm² y 20.08 kg/cm². Los resultados mostraron que el uso de fibra de acero trefilado en dosis de 30% y 65% puede aumentar la resistencia a la compresión de la albañilería hasta en un 30% en comparación con las demás muestras.

Meza & Mamani (2020) en su investigación: “Estudio de los relaves mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables”, tuvo como objetivo evaluar el uso de los desechos mineros para fabricar ladrillos ecológicos. Se realizó una investigación de corte transversal utilizando una metodología descriptiva no experimental. La población estuvo conformada por 24 investigaciones, empleando el muestreo no probabilístico, obteniendo como muestra a 10 estudios respecto al uso de relaves mineros empleados para la fabricación de ladrillo y/o materiales de construcción. Los resultados muestran que Fe, As y Pb están presentes en grandes concentraciones, y los diseños sustituyen de 4 a 8% de relaves de mineros por cada ladrillo, con proporciones de 80/20, 60/40 y 70/30; alcanzando un peso de 2,8 kg y una resistencia a la compresión media de 12 MPa. Técnica

Díaz (2021) en su investigación: “Evaluación del ladrillo artesanal elaborado a base de arcilla y sedimentos de relaves mineros, Hualgayoc”, tuvo como objetivo determinar las características físicas, químicas y mecánicas del ladrillo hecho a mano para ver si cumple con los requisitos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos tipo I, hechos de arcilla y sedimentos de relaves mineros. La investigación fue de tipo experimental, la muestra de ladrillos fue elaborada a base de sedimentos de relaves mineros en porcentajes del 0%, 5%, 25%, 50% y 75% respecto al peso de la arcilla. Los resultados mostraron que la muestra con la adición del 5% de sedimentos presentó la mayor resistencia a la compresión de 65,60 kg/cm² y el menor costo por unidad de S/0,981 soles. Adicionalmente, las pilas y muretes también demostraron buena resistencia, con valores de 42.06 y 9.10 kg/cm², demostrando el cumplimiento de la resistencia mínima de 35 kg/cm² en pilas y 5.1 kg/cm² en muretes, de acuerdo a lo indicado en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

Precisiones Conceptuales

Albañilería

Albañilería o mampostería se conoce como al arte de construir espacios residenciales a partir de numerosas unidades que se entrelazan o adhieren entre sí con algún tipo de sustancia, como lodo o mortero de cemento. Estas unidades muchas veces pueden ser naturales (piedra), o artificiales (adobe, ladrillo y bloques). Las unidades de albañilería por lo general se encuentran débilmente unidas, debido a la composición del mortero que se emplea. Estas unidades presentan una alta resistencia a compresión, considerando el tipo de unidad (Cerna, 2018).

Clasificación de la albañilería por su función estructural

Los muros portantes se proyectan y se construyen considerando la continuidad vertical y están diseñados para transmitir cargas verticales y horizontales de un nivel superior a un nivel inferior hasta llegar a la cimentación (E.070-Albañilería, 2006).

Los muros no portantes se construyen y se diseñan para soportar cargas iguales a su propio peso y pesos perpendiculares a su plano (vientos, terremotos y cargas de empuje), como por ejemplo los tabiques, parapetos y cercos (E.070-Albañilería, 2006).

Clasificación de la albañilería por la distribución de refuerzo

Albañilería no reforzada

La albañilería no reforzada o albañilería simple, se considera a los muros que no tienen refuerzo y si lo tienen no cumplen con las especificaciones mínimas que todo muro reforzado debe tener. Según la Norma Técnica Peruana E-070 de albañilería indica que este uso permite construcciones de un solo piso. Por otro lado, dado que no hay refuerzos que limiten la extensión de las grietas, se recomienda que estos proyectos se realicen en suelos de buena calidad porque la albañilería es muy frágil ante asentamientos diferenciales. La aplicación de esta consideración evitará problemas de pandeo en muros

esbeltos, que están sometidos a cargas perpendiculares a su plano o cargas verticales (San Bartolome, 1994).

Albañilería reforzada

En cuanto a la albañilería reforzada se dividen en armada y confinada. La albañilería armada, tendrá que ser fortificada internamente con varillas de acero intercambiadas de forma vertical (en la longitud del muro) y horizontal (a largo de la altura del muro), la cual debe ser integrada mediante concreto líquido. En la construcción de este tipo de muros se emplea unidades de albañilería especiales, con alveolos que permitan suministrar refuerzo vertical, mientras que en el refuerzo horizontal se colocan los conductos de la unidad, siempre y cuando el radio del acero sea mayor a un 1/4"; pero, si el radio del acero es menor o igual a un 1/4" se colocará en la junta horizontal. Es decir, el diámetro del acero del refuerzo horizontal depende de la magnitud de la fuerza cortante que este debe soportar (San Bartolome, 1994).

Entre la albañilería y las columnas de confinamiento, normalmente se usa una conexión con dentada o al ras. Cuando se utiliza una conexión con dentada, la longitud de la unidad saliente no debe exceder los 5 cm y debe limpiarse de partículas sueltas y arena de mortero antes de que se realice el vertido del concreto en la columna. Una conexión al ras, requiere la adición de mecanismos de anclaje mediante varillas de 6 mm de diámetro que se extienden al menos 40 cm hacia el interior de la albañilería y 12,5 cm hacia el interior de la columna más un codo vertical según la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Por último, debido a que las vigas y columnas en este sistema son pequeñas y tienen poco refuerzo, el confinamiento de hormigón armado alrededor del muro cumple el propósito de ductilizar el sistema para darle capacidad de deformación inelástica, aumentando levemente su resistencia. La mampostería está sometida a acciones perpendiculares a su plano, y sirven como elementos de arriostramiento en esas situaciones. (San Bartolome, 1994).

Unidad de albañilería

La unidad de albañilería, se clasifica como ladrillos y bloques, por su composición pueden ser unidades de albañilería de arcilla cocida, concreto, sílice calcárea, adobe, piedra, entre otros. Según el porcentaje de huecos que presenta la unidad puede ser sólida, hueca, alveolar o tubular.

Materia Prima en la elaboración de ladrillos

La materia prima principal en la unidad de albañilería es la arcilla, que contiene un compuesto de alúmina y sílice, así como cantidades variables de óxidos metálicos y otros elementos. Las arcillas se pueden dividir en dos categorías según su composición básica: arcillas calcáreas y arcillas no calcáreas. El primero se distingue por su contenido en carbono cálcico del 15%, lo que confiere a sus unidades un color amarillento. Este último se distingue por su contenido en silicato de alúmina, que oscila entre un 2 y un 10% de óxidos de hierro y feldespato. Dependiendo del contenido de óxido de hierro, el color de la unidad cuando se quema es rojizo o salmón. La arena y el limo están presentes en forma pura de arcillas, que se producen por la descomposición natural de rocas ígneas, feldespatos, depósitos aluviales o depósitos eólicos. Las mejores arcillas para hacer ladrillos son aquellas que tienen un 33% de arena y limo como impurezas; esto reduce la contracción y el agrietamiento durante el secado y la quema de la unidad. Por tanto, es fundamental que las arcillas utilizadas en la fabricación de la unidad tengan una consistencia plástica al combinarse con agua, así como una adherencia suficiente para mantener su forma después del moldeado y la capacidad de unirse durante el proceso de quemado cuando se calientan a altas temperaturas. Finalmente, el producto no debe presentar grietas, salitre y al golpear la unidad debe tener un sonido metálico (Gallegos & Casabonne, 2005).

Agregado natural con partículas de hierro

En la corteza terrestre, el hierro es el cuarto elemento más común después del oxígeno, el silicio y el aluminio. Es un metal gris o plateado, altamente maleable y magnético (Uriarte, 2021). En la naturaleza, este metal no se encuentra en estado puro, sino en aleaciones con otros metales u otros componentes químicos. Sus principales propiedades incluyen:

- a. **Maleabilidad:** Tiene la facilidad de realizar el doblado de este elemento sin romperse y se pueden crear capas delgadas de hierro.
- b. **Dureza:** Es muy difícil ser rayado por otro material.
- c. **Alta densidad:** El hierro es pesado en relación a su pequeño volumen.
- d. **Alta conductividad térmica:** Tiene la capacidad de soportar altas temperaturas.
- e. **Baja conductividad eléctrica:** No es un buen conductor de corriente eléctrica en comparación con otros metales.
- f. **Propiedades magnéticas:** presenta esta propiedad física que hace que ciertos materiales se atraigan o se repelan.

El ladrillo, según el diccionario de la Real Academia Española (RAE, 2021) lo define como una masa de arcilla que tiene la forma de un prisma rectangular y se usa para construir muros después de ser cocida.

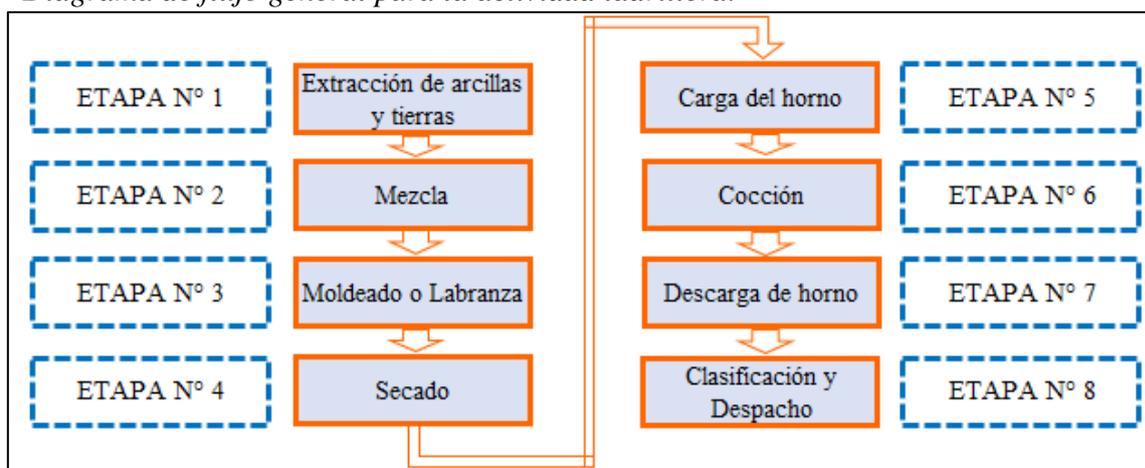
El ladrillo artesanal, es una pieza cerámica, típicamente octaédrica, obtenida por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa, la cual es resistente al calor y humedad. Esta unidad se emplea en albañilería para la construcción de paredes, muros o tabiques (Deleg, 2010).

Proceso de elaboración artesanal de la unidad de albañilería de arcilla

Las etapas del proceso de elaboración del ladrillo artesanal se muestran a detalle en la Figura 1 de la “Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales”, realizada por el Ministerio de la Producción del Perú en el año 2010.

Figura 1

Diagrama de flujo general para la actividad ladrillera.



Nota. Adaptación del diagrama etapas de actividad ladrillera de la “Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales”. Fuente: Ministerio de Producción, 2010

El proceso se establece en 8 etapas:

- a) **Etapa 1: Extracción de arcilla y tierras**, en esta etapa se utilizan principalmente herramientas manuales para excavar y extraer el material de las canteras, en su mayoría estas no se encuentran registradas formalmente, la extracción de tierra arcillosa y arenosa se realiza cerca o lejos del área de producción. La elaboración de ladrillo artesanal se realiza en menor cantidad en comparación a las fábricas de ladrillos de mediana y gran envergadura, su fabricación puede alcanzar las 100,000 mil unidades por mes y todas las etapas de producción están automatizadas (Ministerio de Producción, 2010).

- b) Etapa 2: Mezcla**, en esta etapa se integra la arcilla, la arena y el agua, el método a emplear para obtención de una pasta homogénea es por medio manual, mecánico o de tracción animal. Para realizar la mezcla manualmente, se amasa la arcilla con las manos y los pies hasta obtener una pasta uniforme, luego se elimina los grumos más grandes e impurezas como raíces de plantas, restos de arbustos y piedras. La mezcla mecánica se puede realizar mediante una mezcladora o batidora, las cuales son alimentadas por algún tipo de energía (eléctrica o combustible). En la mezcla mecánica, se vierte la arcilla y la arena en la tolva de la mezcladora y se le agrega agua hasta obtener una masa homogénea moldeable, la mezcla se vuelve a pasar tantas veces como sea necesario. El mezclado empleando tracción animal, se asemeja al proceso de mezclado manual, con la diferencia que en este caso el amasado del material se apisona con los animales (buey, caballo, acémila). La materia prima empleada muy pocas veces se tamiza para separar impurezas existentes, tampoco es sometida a molienda para la obtención de grano más homogéneo. La consistencia de la mezcla final depende de las habilidades del artesano, los requisitos y el acceso a las materias primas (Ministerio de Producción, 2010).
- c) Etapa 3: Moldeo o labranza**, la mezcla homogénea obtenida en la etapa anterior se moldea para darle forma a la unidad requerida: sólidos (king kong) y huecos (pasteleros, para techos, etc.). Se puede usar una extrusora mecánica o un moldeador manual para crear un molde. En el moldeo manual se utiliza moldes de madera o metálicos, estos no tienen tamaños estandarizados, difieren de una región a otra o de un artesano a otro, el proceso es el siguiente: primero se humedece el molde, luego se esparce arena muy fina dentro del molde el cual servirá como material desmoldante, seguido de ello se vierte la mezcla dentro del molde, se enrasa el material, luego se desmolda y se repite

el proceso. El rendimiento de moldeado de ladrillos por semana de un obrero es de 2400-2500 unidades/hombre (Ladrillo King Kong) y 1200-1400 unidades/hombre (Ladrillo Hueco). Las máquinas extrusoras pueden producir entre 120 y 400 ladrillos por hora, y el moldeo mecánico permite aumentar la resistencia y densidad del ladrillo (Ministerio de Producción, 2010).

- d) Etapa 4: Secado**, los ladrillos moldeados son colocados en tendales, las cuales son áreas planas donde se pueden secar los ladrillos en crudo. Los tendales suelen estar situados cerca del área de moldeo. El tiempo de secado depende del clima y puede durar entre cinco y siete días. Después del tercer o cuarto día, se voltean las caras de la unidad para asegurar un secado uniforme, y luego se apilan los ladrillos de canto para terminar de secar, formando torres de ladrillo de entre 1 y 1,20 metros de altura (Ministerio de Producción, 2010).
- e) Etapa 5: Cargar al horno**, en esta etapa se acomoda los ladrillos secos, en el sentido de la ventana de aireación, formando una bóveda sobre el canal de encendido en el horno, luego en la base de esta bóveda se arma una parrilla formada de ladrillos enteros, debajo de esta parrilla se coloca leña para el encendido y por encima de la bóveda se colocan briquetas de carbón en el largo y ancho del horno. Entre ladrillo y ladrillo se deja una separación de tres a cinco milímetros para permitir el flujo de los gases, transmisión de fuego y calor durante la cocción. El carguío y armado del horno se realiza en jornadas de uno a más días, dependiendo el tamaño y capacidad del horno. En promedio, un horno de 10 millares se carga en 10 horas con cinco personas (Ministerio de Producción, 2010).
- f) Etapa 6: Cocción**, se utilizan hornos de ladrillos, este proceso es totalmente manual en la cual el maestro hornero modifica las ventanas de ventilación de los lados mayores del horno y los canales de encendido que cruzan el horno

de lado a lado, de acuerdo con los resultados que obtiene. Los canales de encendido varían según el tamaño del horno y el tipo de combustible a utilizar. Para la cocción se deben completar dos pasos: primero, el encendido; segundo, la quema misma. El proceso de encendido consiste en encender el horno con leña o carbón para que produzcan suficiente calor para encender el carbón dispuesto en capas horizontales; puede tardar entre 8 y 24 horas, en ocasiones incluso hasta 48 horas. La quema implica asegurarse que el fuego suba constantemente a través de las capas horizontales y llegue a la última fila de ladrillos en el techo del horno a una temperatura de 900°C a 1000°C. Dependiendo del tamaño del horno, esta etapa puede durar entre siete y veinte días (Ministerio de Producción, 2010).

- g) Etapa 7: Descarga del horno**, después del proceso de cocción, se abren las ventanas del horno para permitir que el ladrillo se enfríe. Este proceso puede durar de cuatro a seis días, y el ladrillo se enfría de arriba hacia abajo como resultado de las mismas corrientes de aire. El horno debe estar frío para iniciar con el proceso de descarga, siendo el tiempo mucho menor al que se empleó en cargar (un día menos), (Ministerio de Producción, 2010).
- h) Etapa 8: Clasificación y despacho**, los ladrillos se apilan según el resultado de cocción, los bien cocidos presentan las siguientes características: coloración rojiza, sonido metálico a la percusión, grano fino y compacto en su fractura, sus aristas son duras de forma regular; los ladrillos medianamente cocidos o bayo, son de coloración menos rojiza; los ladrillos crudos o no cocidos, se tienen que volver a cocer, en tanto los otros son adquiridos a menor precio en comparación al bien cocido (Ministerio de Producción, 2010).

Clasificación de la unidad de albañilería según su porcentaje de huecos

Primero, la unidad de albañilería sólida su área es menor o igual al 70% del área bruta del mismo plano y se puede utilizar para construir muros confinados. Estas unidades se pueden producir de forma industrial o artesanal dependiendo del material; pueden ser de arcilla, hormigón o sílice-cal (E.070-Albañilería, 2006).

Segundo, el área equivalente de la unidad de albañilería hueca es menor al 70% del área bruta del mismo plano. Cuando se utilizan en muros, se ha demostrado que este tipo de unidades exhiben una carga excepcionalmente frágil y una falla por corte (E.070-Albañilería, 2006).

Tercero, el tipo de unidad de albañilería alveolar, tiene alvéolos o áreas lo suficientemente grandes como para acomodar el refuerzo vertical. La construcción de muros reforzados utiliza estas unidades (E.070-Albañilería, 2006).

Cuarto, la unidad de Albañilería tubular, cuenta con huecos paralelos a la superficie del asiento y deben emplearse exclusivamente en muros no portantes, salvo que la edificación sea hasta 2 pisos y su ubicación se encuentre en la zona sísmica 1

Figura 2

Tipos de Unidades de Albañilería

ARCILLA				
	L. sólido	L. hueco	L. alveolar	L. tubular
CONCRETO				
	L. sólido	L. hueco	L. alveolar	L. tubular

Nota. Elaboración propia.

Clasificación de la unidad de albañilería para fines estructurales

Las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 1 para propósitos de diseño estructural.

Tabla 1

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales

Clase	Variación de la dimensión			Alabeo (máximo en mm)	Resistencia
	(máx. en porcentaje)				característica a la
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más 150 mm		f _b mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
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 I	± 8	± 6	± 4	2	17,6 (180)
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	4	4,9 (50)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	8	2,0 (20)

Nota. Características de las unidades de albañilería Fuente: Norma E.070 de Albañilería.

Tabla 2

Clasificación de ladrillos.

Tipo	Nivel de resistencia y durabilidad	Apto para construcciones de albañilería
I	Muy Baja	En condiciones de servicio mínimas
II	Baja	En condiciones de servicio moderadas
III	Media	Albañilería de uso general
IV	Altas	En condiciones de servicio riguroso
V	Muy altas	En condiciones de servicio particularmente rigurosas

Nota. Clasificación del tipo de ladrillos, nivel de resistencia y tipos de durabilidad, así como las condiciones donde se tiene que emplear. Fuente: Adaptado de NTP-331.017.

Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería

Tabla 3

Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales

Tipo	Zonas sísmicas 2 y 3		Zona sísmica 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal	No	Si, hasta 2 pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Sí
Alveolar	Si	Si	Si
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

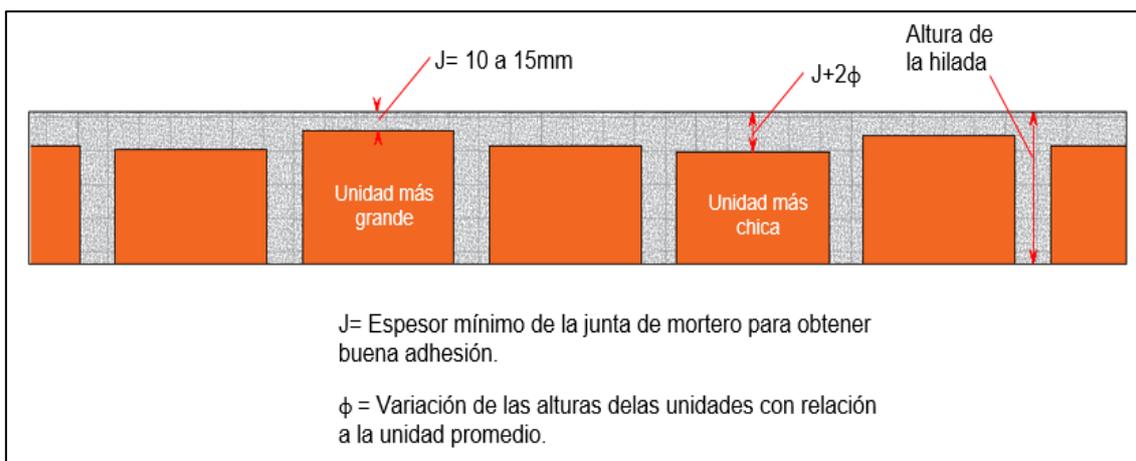
Nota. Representa la Tabla 2 de la Norma E.070 de albañilería, que indica el uso o aplicación de las unidades de albañilería, estará condicionado a lo indicado en la tabla 3, según las zonas sísmicas. Fuente: Norma E.070 de albañilería

Propiedades físicas del ladrillo

- a) **Variación Dimensional:** Se presenta cuando las dimensiones promedio de las caras de los ladrillos varían en lo largo, ancho y alto de la unidad (Espinoza & Pejerrey, 2018). Las variaciones dimensionales se producen debido a los cambios de humedad y/o temperatura, sin embargo, se puede recuperar estas dilataciones al perder humedad, o reducir la temperatura (Ostis, 1999). Cuando la unidad presenta variación en sus dimensiones existe la necesidad de aumentar el espesor de junta de mortero, incrementando el espesor requerido para la adhesión entre unidades, de 10 a 15 mm según la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. El esfuerzo de confinamiento del ladrillo incrementa con la cantidad de mortero que se emplea para confinar, el aumento de espesor de la junta de mortero, reducirá la resistencia a compresión.

Figura 3

Efecto de la Altura en la Hilada debido a la variación dimensional de la Unidad



Nota. Determinación de la altura de hilada. Fuente: Adaptación (Gallegos & Casabonne, 2005).

Tabla 4

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Variación Dimensional.

Clase	Variación de la dimensión máx. en porcentaje)		
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más 150 mm
Ladrillo I	± 8	± 6	± 4
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1
Bloque P (1)	± 4	± 3	± 2
Bloque NP (1)	± 7	± 6	± 4

Nota. Rango de medidas para el ensayo de variación dimensional para cada tipo de ladrillo o bloque. Fuente: Adaptación de la Norma E.070 de albañilería.

- b) Alabeo:** permite determinar si la unidad tiene una curvatura cóncava o convexa en la cara del asiento. Cuando se aplica mortero, se crea un espesor desigual del material adherente, como resultado la resistencia a la compresión y flexión se verá reducida a mayor alabeo de la unidad (Cornejo, 2019).

Tabla 5

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Alabeo.

CLASE	ALABEO (máximo en mm)
Ladrillo I	10.00
Ladrillo II	8.00
Ladrillo III	6.00
Ladrillo IV	4.00
Ladrillo V	2.00
Bloque P (1)	4.00
Bloque NP (1)	8.00

Nota. Rango de medidas para los ensayos de alabeo para cada tipo de ladrillo o bloque.

Fuente: Adaptación de la Norma E.070 de albañilería.

- c) **Absorción:** Se describe como la diferencia de peso, expresada en porcentaje, entre el ladrillo saturado y el ladrillo seco (Soto & Sánchez, 2017). Según la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería indica el máximo porcentaje de absorción para cada tipo de unidad de albañilería:

Tabla 6

Máximo porcentaje de absorción permitido para el tipo de unidad de albañilería

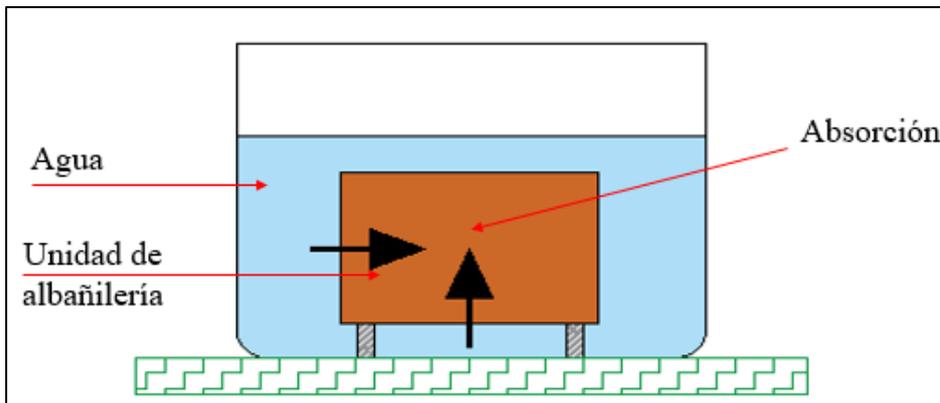
Tipo de unidad de albañilería	Porcentaje de absorción
Ladrillos de Arcilla y Sílico Calcáreas	No deberá ser mayor que el 22 %
Bloque P (1)	No deberá ser mayor que el 12 %
Bloque NP (1)	No deberá ser mayor que el 15 %

Nota. Rango de porcentajes de absorción para los diferentes tipos de unidades de albañilería. Fuente: Adaptación de la Norma E.070 de albañilería.

En la Tabla 6 se puede visualizar dos tipos de bloques para fines estructurales; el primer bloque P (1) corresponde a aquellas unidades que son usados en muros portantes y el segundo bloque NP (1) son aquellas unidades empleadas en muros no Portantes.

Figura 4

Ilustración del ensayo de absorción en la unidad de albañilería



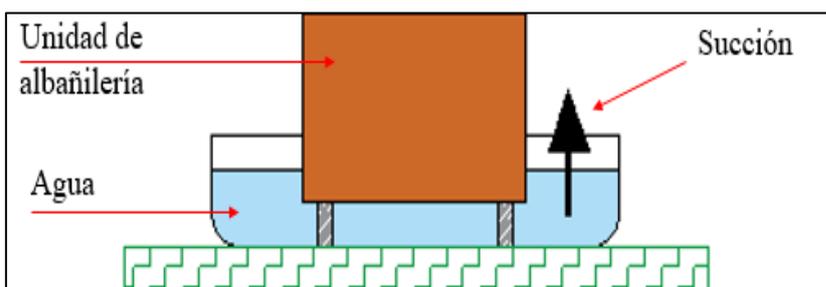
Nota. Ilustración del ensayo de absorción en la unidad de albañilería.

Fuente: Elaboración propia.

- d) Succión:** Es la medida de avidez de agua del ladrillo en la cara del asiento; cuando la succión es demasiado grande, el mortero y el ladrillo no se adhieren adecuadamente (Guevara, 2015). La alta succión de esta unidad hace que el mortero se endurezca cuando se coloca, impidiendo el contacto completo con la siguiente unidad y dejando juntas permeables al agua y de baja resistencia. Se recomienda que la succión de la unidad este comprendida entre 10 y 20 gr/200 cm²-min, según Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería (Gallegos & Casabonne, 2005).

Figura 5

Ilustración del ensayo de succión de la unidad de albañilería



Nota. Elaboración propia.

Propiedades mecánicas del ladrillo

a) Resistencia a compresión de la unidad ($f^{\prime}b$)

Es la propiedad mecánica que determina la capacidad de una unidad para soportar una carga; cuanto mayor sea la resistencia a la compresión, mayor será la calidad (Gamboa, 2017). La siguiente tabla muestra la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería con fines estructurales según lo determinado por la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería.

Tabla 7

Clase de unidad de albañilería para fines estructurales- Resistencia a la Compresión.

Clase	Resistencia característica a la compresión
	$f^{\prime}b$ mínimo en MPa (kg/cm ²) sobre área bruta
Ladrillo I	4,9 (50)
Ladrillo II	6,9 (70)
Ladrillo III	9,3 (95)
Ladrillo IV	12,7 (130)
Ladrillo V	17,6 (180)
Bloque P (1)	4,9 (50)
Bloque NP (1)	2,0 (20)

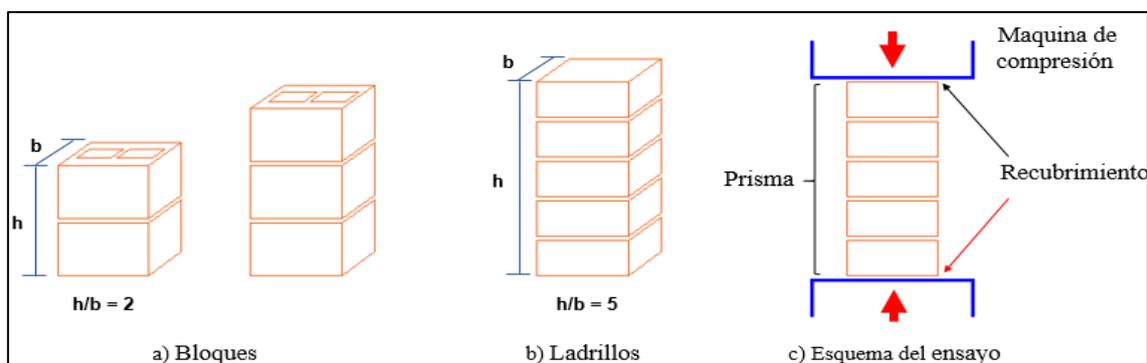
Nota. Clasificación de los tipos de ladrillo Norma E.070 de albañilería.

b) Resistencia a compresión las de pilas ($f^{\prime}m$)

La resistencia a compresión de las pilas de albañilería está conformada por unidades o bloques asentados uno sobre otro mediante mortero, la relación entre su esbeltez y su altura mínima va a depender si la albañilería es de ladrillos o bloques (German & Perez, 2020).

Figura 6

Ilustración de la resistencia a compresión en las pilas de albañilería



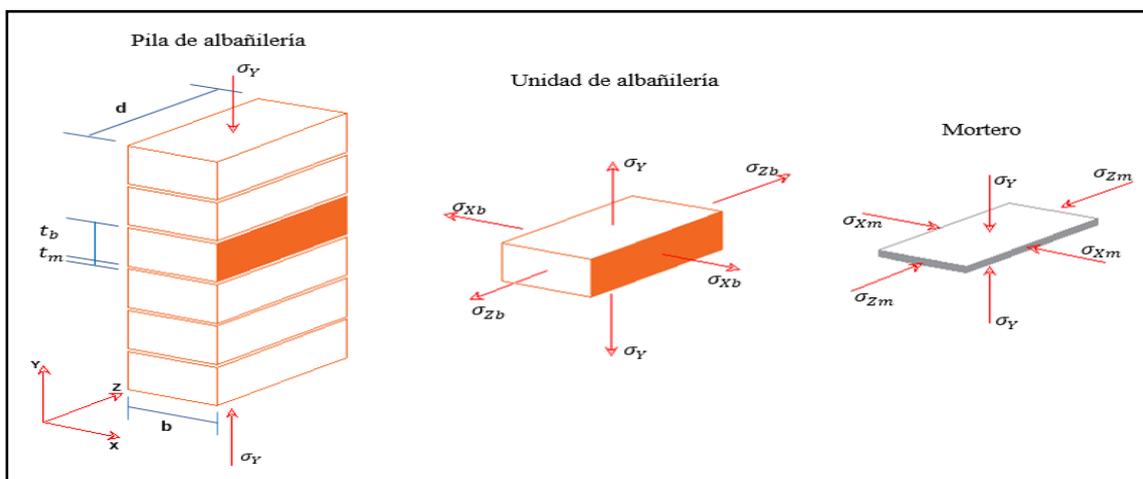
Nota. Ilustración del ensayo a compresión en las pilas de albañilería. Fuente: Adaptación Gallegos & Cassabonne (2005).

La esbeltez y la altura de las pilas de albañilería va a depender si la unidad es ladrillo o bloque. Si las pilas fueran de ladrillo, la relación alto-ancho estaría entre 2 a 5, y la altura no sería inferior a 30 cm. Si los pilas fueran de bloques, la esbeltez estaría entre 1,3 a 5 , y la altura no sería inferior a 30 cm (Gallegos & Casabonne, 2005).

El valor medio de la muestra ensayada, menos la desviación estándar, se utilizará para calcular la resistencia a compresión axial (f_m) en pilas. (E.070-Albañilería, 2006). San Bartolome (1994) afirma que la falla de pilas es causada principalmente por la tracción ortogonal a la compresión aplicada (grieta vertical), la cual ocurre como resultado del intento del mortero de expandirse lateralmente en mayor proporción que la unidad. Dado que ambos elementos deben ser compatibles con las deformaciones, el mortero funcionará como unidad de compresión y tracción lateral, cuando se utilizan materiales de baja resistencia, el aplastamiento de la unidad o del mortero provoca otro tipo de falla en las pilas de albañilería.

Figura 7

Ilustración del esfuerzo en el ladrillo y mortero por efecto de carga unitaria axial



Nota. Ilustración de esfuerzos en el ladrillo y en el mortero por efecto de la carga axial.

Fuente: Adaptación Gallegos & Cassabonne, 2005

En un muro real, las unidades de albañilería no estarán asentadas uno sobre el otro, si no estarán asentadas con algún tipo de amarre, lo que significa que las alturas y la esbeltez son mayores que las pilas. Sin embargo, ocurren fallas por inestabilidad elástica o por excentricidad de la carga, la forma de la falla del muro es semejante al de las pilas, lo que significa que en los muros ocurren agrietamientos de tracción transversal.

Los coeficientes correctores de esbeltez se utilizarán para calcular la resistencia a compresión de pilas de albañilería (f'_m), las cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

Factores de corrección de f'_m por esbeltez

	Factor de corrección					
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor (a)	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Nota. Factores de correlación por esbeltez para las pilas de albañilería. Fuente Norma Técnica Peruana de Albañilería E.070 (2006).

Tabla 9
Coeficiente de incremento por edad para los 14 y 21 días

Incremento de $f'm$ y $V'm$ por edad			
	Edad	14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de Arcilla	1.15	1.05
	Bloques de Concreto	1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de Arcilla	1.10	1.00
	Bloques de Concreto		

Nota. Incremento del coeficiente de edad para las pilas de albañilería. Fuente (NTP-E.070, 2006).

Justificación

La construcción de viviendas en la región Cajamarca que emplean el sistema estructural de albañilería, en su mayoría se realiza con unidades elaboradas de manera artesanal en la misma región. El uso de este elemento es masivo y la información revisada sobre las propiedades físicas y mecánicas de estas unidades, indican que no cumplen con los requerimientos mínimos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. Se tiene una alta incertidumbre en cuanto a las propiedades de las unidades que se elaboran artesanalmente, ya que no se rigen a las normas técnicas para su elaboración, en consecuencia, afectan en el comportamiento de los muros de albañilería, estos deben tener una buena resistencia a la compresión axial y diagonal ante cualquier evento sísmico, ya que la Región de Cajamarca está ubicada entre la zona sísmica 2 y 3.

En la región de Cajamarca se encuentra la localidad Tingo La Palla en el distrito de José Sabogal, provincia de San Marcos, allí se ubica la cantera “Tingo La Palla”, en la cual existe agregado natural que contiene partículas de hierro; se conoce que anteriormente se extraía este material para la elaboración de tejas artesanales, las cuales presentaban una mayor resistencia en comparación a otras tejas elaboradas con otros

materiales. Es por ello, que el estudio buscó mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería, añadiendo agregado natural que contiene partículas de hierro extraída de la cantera “Tingo la Palla”, a la arcilla convencional extraída de “El Cerrillo” en el distrito de Los Baños del Inca, en la provincia de Cajamarca, la cual es empleada en la elaboración de estas unidades. Por lo tanto, el alcance de esta investigación beneficia a los fabricantes de ladrillos artesanales para la obtención de con mejores propiedades físicas y mecánicas. También, permite desarrollar nuevas metodologías sobre el uso del agregado natural que contiene partículas de hierro en la elaboración de nuevos materiales de construcción.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”.
- Determinar las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”.
- Determinar las propiedades físicas del material de la muestra patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

- Elaborar ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).
- Determinar las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).
- Determinar las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).
- Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

1.4. Hipótesis

Las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, mejoran con la adición este material, 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El presente estudio según su propósito es considerada aplicada, con diseño experimental y analizada en un periodo, es decir, transversal; también, tiene un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo. Es de tipo aplicada porque utilizó la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones, para elaborar un ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro y evidenciar las propiedades físicas y mecánicas de este producto.

El diseño experimental se distingue porque sus componentes fueron cambiados y se caracteriza por las acciones deliberadas del investigador hacia el sujeto de estudio. Las variables están estrictamente controladas para reproducir con precisión un fenómeno particular y medir hasta qué punto las variables manipuladas tienen el efecto deseado (Castillero, 2017). En el estudio se manipuló la variable independiente (ladrillos artesanales con adición del 10% ,25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro en la ciudad de Cajamarca, 2022) para describir de qué modo o por qué existe algún cambio en la variable dependiente (propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal).

El estudio es transversal porque compara rasgos o circunstancias específicas en varios sujetos en un momento determinado, los cuales todos comparten la misma temporalidad (Castillero, 2017). A raíz de todo esto, se utiliza un método cuantitativo, que consiste en recopilar y analizar datos utilizando herramientas informáticas, estadísticas y matemáticas para obtener resultados. Al buscar resultados que se puedan proyectar a una población más amplia, se puede cuantificar el problema y comprender su alcance (Neilly & Cortez, 2017).

La investigación descriptiva está enfocada en describir mediante frecuencias, porcentajes, comparaciones, entre otros, a los eventos observados. El investigador

observó la presencia de las variables que desea describir y luego las compara mediante técnicas de estadística descriptiva (Ferreira, 2003). El estudio determinó la relación que existe entre ladrillos artesanales con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural con partículas de hierro (MH), y ladrillos artesanales sin adición de este material (Muestra Patrón).

2.1. Población y Muestra

Población

La población está conformada por 300 ladrillos artesanales: 60 ladrillos elaborados con la Muestra Patrón (MP) y 240 con los diferentes porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

Muestra

La elección de la muestra es de 300 unidades de ladrillo artesanal (asumida a conveniencia del investigador) se realizan mediante el muestreo no probabilístico intencional, cuyas dimensiones de cada unidad están compuestas por 22.00 cm de largo, 13.00 cm de ancho y 8.00 cm de altura.

Tabla 10

Ladrillos artesanales que conforman la muestra de investigación

Ensayo	Muestra Patrón	Muestra Patrón más el 10% MH	Muestra Patrón más el 25% MH	Muestra Patrón más el 50% MH	Muestra Patrón más el 75% MH
Variación Dimensional	10	10	10	10	10
Alabeo	10	10	10	10	10
Absorción	5	5	5	5	5
Succión	5	5	5	5	5
Resistencia a compresión- Unidad	10	10	10	10	10
Resistencia a compresión- Pilas	20	20	20	20	20

Nota. Cantidad de muestra empleada en el estudio. Fuente: Elaboración Propia

Definición y operacionalización de variables

Variable independiente:

Ladrillos artesanales con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), en la ciudad de Cajamarca, 2022.

Variable dependiente:

Las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal.

Tabla 11

Operacionalización de Variables

Variables	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores / Ítem
Variable Independiente	Ladrillos artesanales con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH) en la ciudad de Cajamarca, 2022.	Proceso de producción del ladrillo artesanal	<ul style="list-style-type: none"> • Muestra patrón • Adición del 10% • Adición del 25% • Adición del 50% • Adición del 75%
Variable Dependiente	Propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal.	<p>Propiedades físicas del agregado que contiene partículas de hierro.</p> <p>Propiedades físicas y mecánicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contenido de Humedad (w%) • Análisis Granulométrico (%) • Límites de Plasticidad (%) • Peso específico (g/cm³) • Peso Unitario (kg/m³) • Variación dimensional (%) • Alabeo (mm) • Absorción (%) • Succión (gr/cm²-min) • Resistencia a compresión de la unidad(kg/cm²) • Resistencia a Compresión de pilas (kg/cm²)

Nota. Elaboración Propia

2.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.2.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica utilizada para recopilar datos para este estudio involucró la observación directa de los ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte-Cajamarca mediante el seguimiento de las Normas Técnicas especificadas en la American Society for Testing and Materials de la ASTM (American Society for Testing and Materials) y las Normas Técnicas Peruanas (NTP). Para evidenciar con ello que los datos recolectados de los ensayos realizados en laboratorio son veraces y fidedignos debido a la magnitud de la investigación que se desarrolló; además, los datos recolectados fueron plasmados en los protocolos que se presentaron en la sección de anexos y todos los ensayos fueron supervisados por el personal calificado de laboratorio.

2.2.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se emplearon para la recolección de datos de los ensayos realizados en laboratorio fueron protocolos proporcionados por la Universidad Privada Del Norte. Estos protocolos tuvieron como propósito recolectar datos de los ensayos indicados en la fase 1 y 2 de la investigación. Es así que, en la fase 1 se realizaron los ensayos de mecánica de suelos del material que se utilizó en la elaboración de ladrillos artesanales, que vienen a ser la Muestra Patrón (MP) compuesta por arcilla y arena extraída de “El Cerrillo”, a esta muestra se agregó diferentes porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), extraída de la cantera “Tingo la Palla”. Posteriormente, en la fase 2 se realizaron ensayos para establecer las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales en estudio.

Tabla 12

Protocolos de los ensayos de mecánica de suelos de materiales empleados en el estudio

PROTOCOLOS	NORMAS
Contenido de humedad.	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127
Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado.	ASTM D421.
Límites de plasticidad.	NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318
Peso específico relativo de sólidos.	MTC E113 / ASTM D854 / NTP 339.131
Peso unitario de los agregados.	MTC E 203 / ASTM C29 / NTP 400.017.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13

Protocolos de los ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales

PROTOCOLOS	NORMAS
Variación Dimensional	NTP 399.613 – NTP 339.604
Alabeo	NTP 339.613
Absorción	NTP 399.613 – NTP 339.604
Succión	NTP 331.017 – NTP 399.613
Resistencia a la Compresión de la Unidad (f ^b)	NTP 339.613
Resistencia a la Compresión de las pilas (f ^m)	NTP 399.605 / NTP 399.612

Nota. Elaboración propia.

2.3. Procedimiento de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en dos fases: en la primera fase se realizaron ensayos de mecánica de suelos de los materiales a emplear en el estudio y en la segunda fase se realizó ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales.

Tabla 14

Primera fase, ensayos de mecánica de suelos de materiales empleados en el estudio

Tipo de ensayo	Descripción
Contenido de humedad	Determinar la cantidad de agua presente en un material, expresada en porcentaje (w%).
Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado	Conocer el tamaño de las partículas que compone el suelo (%).
Límites de plasticidad	Conocer la consistencia del suelo (plástica-líquida) en relación al contenido de humedad (%).
Peso específico relativo de sólidos	Determinar otras propiedades del suelo como porosidad y relación de vacíos (g/cm ³).
Peso unitario de los agregados	Determinar la densidad total de un determinado material (kg/m ³).

Nota. Elaboración propia.

Tabla 15

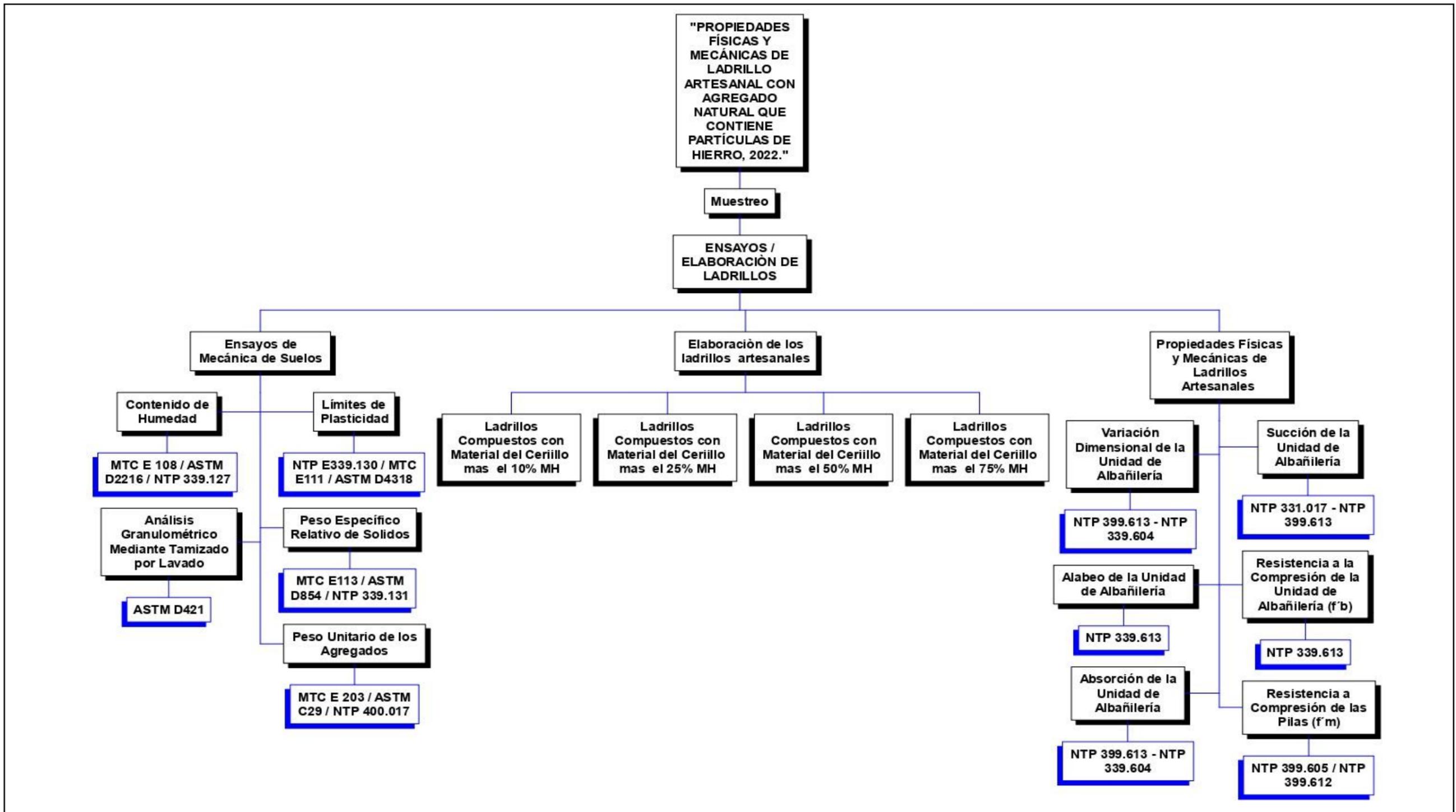
Segunda fase, ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales

Tipo de ensayo	Descripción
Variación Dimensional	Determinar la variación de dimensiones en largo, ancho y altura, para la clasificación de la unidad expresada en porcentaje (%).
Alabeo	Determinar la concavidad y convexidad de los ladrillos en milímetros(mm).
Absorción	Se define como el cociente entre el peso de agua que absorbe y su propio peso cuando está seco, expresada en porcentaje (%).
Succión	Determinar la velocidad con la que el ladrillo absorbe agua por cada cm ² en un minuto (g/cm ² -min).
Resistencia a la Compresión de la Unidad (f [´] b)	Determinar la resistencia máxima admisible de la unidad de albañilería (kg/cm ²).
Resistencia a la Compresión de las Pilas (f [´] m)	Determinar la resistencia máxima admisible de pilas de ladrillo (kg/cm ²).

Nota. Tipos de ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte de las unidades de albañilería. Fuente: Elaboración propia.

Figura 8

Esquema del procedimiento de recolección de datos



Nota. Elaboración Propia.

2.4. Procedimiento de tratamiento y análisis de datos

2.4.1. Técnicas de análisis de datos

En la investigación se utilizó la técnica de la estadística descriptiva para el análisis de los datos. Esta técnica consiste en recopilar y analizar los datos recopilados en el laboratorio mediante tablas de frecuencia, gráficos y medidas estadísticas como porcentajes, promedios, coeficientes de variación y desviación estándar.

2.4.2. Instrumentos de análisis de datos

El instrumento utilizado para el análisis de datos en la estadística descriptiva fue el software Excel 2016. Con este programa se crearon varias hojas de cálculo para cada prueba, cada una especificada por medio de gráficos y tablas comparativas, permitiendo la visualización, análisis e interpretación estadística de todos los resultados de laboratorio.

2.4.3. Recolección del Material

Se recolectaron dos tipos de materiales para el muestreo de los componentes utilizados para elaborar los ladrillos artesanales:

- Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”.
- Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”.

Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”

La MP se extrajo de la misma ladrillera, lugar donde se hicieron los ladrillos artesanales. Esta ladrillera se encuentra ubicada en el centro poblado El Cerrillo Distrito de los Baños del Inca – Provincia de Cajamarca – Departamento de Cajamarca.

Ubicación Geográfica

Tabla 16

Coordenadas UTM de localización de la ladrillera de “El Cerrillo”

PUNTOS	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
P1	777265.00	9211035.00	2698.00
P2	777233.00	9211102.00	2700.00
P3	777182.00	9211095.00	2701.00
P4	777179.00	9211054.00	2700.00
P5	777202.00	9211044.00	2699.00
P6	777201.00	9211022.00	2697.00
P7	777229.00	9211007.00	2697.00

Nota: Elaboración propia.

Figura 9

Ubicación de la ladrillera “El Cerrillo”



Nota. Lugar donde se realizó la extracción de la MP, para la elaboración de las unidades de albañilería. Fuente: Google Earth.

Rutas de Acceso

Tabla 17

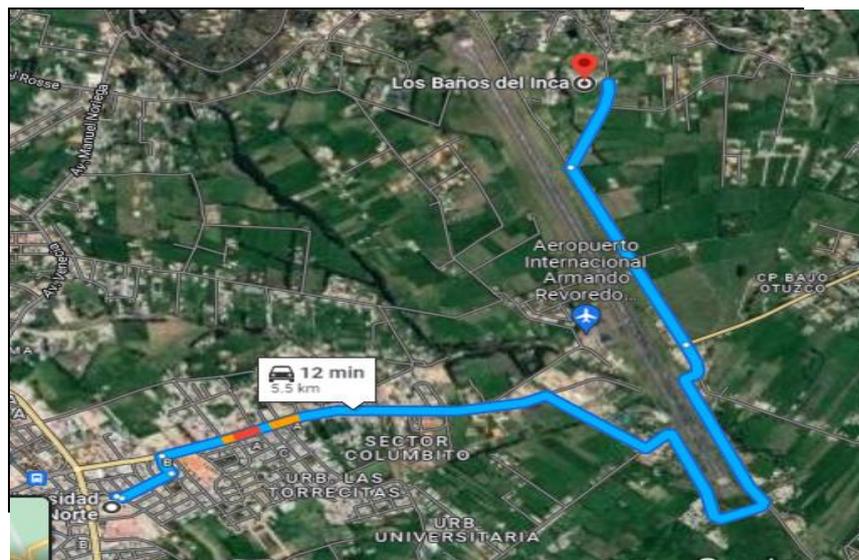
Vías de acceso a la ladrillera “El Cerrillo”

PUNTO DE PARTIDA	PUNTO DE LLEGADA	TIPO DE CARRETERA	DISTANCIA EN (KM)	TIEMPO VEHICULO) min.
Universidad Privada del Norte (UPN)	Ladrillera “El Cerrillo”	Asfaltada - Trocha	5.5	12

Nota. Vías de acceso desde la Universidad Privada del Norte (UPN), hasta la ladrillera “El Cerrillo”. Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Rutas de acceso a la ladrillera “El Cerrillo”



Nota: Ruta de Acceso desde la Universidad Privada del Norte hasta la Ladrillera “El Cerrillo”, lugar donde se extrajo el material para la elaboración de ensayos de mecánica de suelos y se realizó la elaboración de los ladrillos artesanales. Fuente Google Earth.

Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”

La cantera “Tingo la Palla” se encuentra ubicada a orillas del Río Marañón en la Localidad Tingo la Palla – Distrito de José Sabogal – Provincia de San Marcos – Departamento de Cajamarca.

Coordenadas UTM:

Tabla 18

Coordenadas UTM de localización de la cantera “Tingo la Palla”

PUNTOS	ESTE (m)	NORTE (m)	ELEVACIÓN (m.s.n.m)
P1	186665.00	9186650.00	1076.00
P2	186661.00	9186626.00	1072.00
P3	186665.00	9186611.00	1069.00
P4	186658.00	9186595.00	1069.00
P5	186612.00	9186621.00	1093.00
P6	186607.00	9186650.00	1102.00
P7	186636.00	9186654.00	1086.00

Nota. Lugar donde se extrajo el material que contiene partículas de hierro. Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Ubicación de la cantera "Tingo la Palla"



Nota: Ubicación de la cantera Tingo la Palla. Fuente Google Earth

Vías de acceso

Tabla 19

Vías de acceso a la cantera "Tingo la Palla"

PUNTO DE PARTIDA	PUNTO DE LLEGADA	TIPO DE CARRETERA	DISTANCIA EN (KM)	TIEMPO VEHICULO/ CAMINANDO min.
Cajamarca	San Marcos	Asfaltada	68.60	130.00
San Marcos	José Sabogal	Trocha	79.00	185.00
José Sabogal	Matibamba	Trocha	56.40	240.00
Matibamba	Tingo La Palla	Orillas del Rio Crisnejas	9.10	180.00
Tingo La Palla	Cantera	Camino de Herradura	0.44	30.00

Nota. Vías de acceso a la Cantera “Tingo la Palla”. Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Ruta de acceso desde la Ciudad de Cajamarca hasta la Provincia de San Marcos



Nota. Ruta de acceso desde la ciudad de Cajamarca hasta la Provincia de San Marcos, distancia aproximada de 68.60 km.

Fuente Google Earth.

Figura 13

Ruta de acceso desde la Provincia de San Marcos hasta el Distrito de José Sabogal.



Nota. Ruta de acceso desde la Provincia de San Marcos hasta el Distrito de José Sabogal, distancia aproximada de 79.00 km.

Fuente Google Earth

Figura 14

Ruta de acceso desde el Distrito de José Sabogal hasta el Centro Poblado Matibamba.



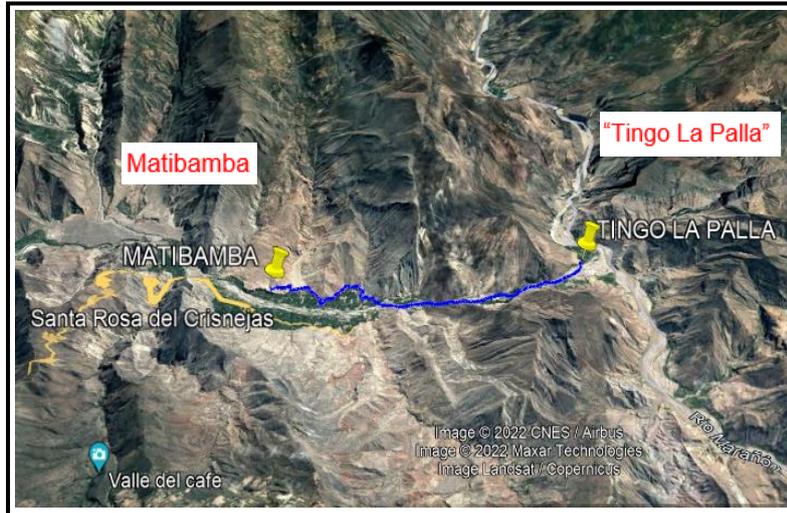
Nota: Ruta de acceso desde el Distrito de José Sabogal hasta el Centro Poblado Matibamba distancia aproximada 56.40km.

Fuente Google Earth.

Figura 15

Ruta desde el Centro Poblado Matibamba hasta la Localidad

Tingo La Palla



Nota: Distancia aproximada 9.10km. Fuente Google Earth

Figura 16

Localidad Tingo la Palla - cantera "Tingo la Palla"



Nota. Ruta de acceso desde la Localidad Tingo la Palla hasta la cantera donde se encuentra el agregado natural que contiene partículas de hierro, distancia aproximada 440.00 m. Fuente Google Earth.

Figura 17

Cantera “Tingo la Palla”



Nota. Vista panorámica de la cantera “Tingo la Palla”.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

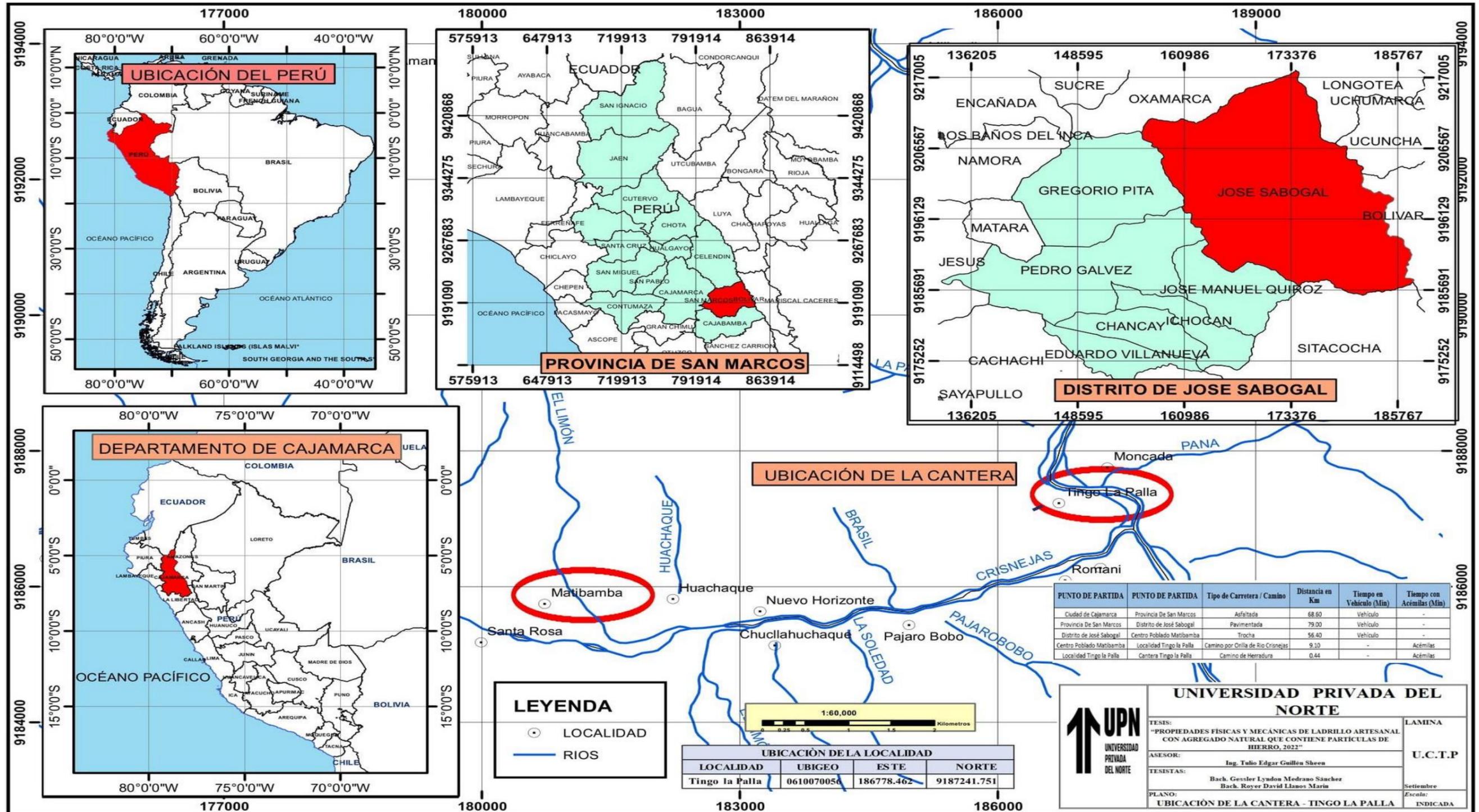
Agregado natural que contiene partículas hierro, atraído magnéticamente por un imán



Nota. Las partículas de hierro atraen por magnetismo al imán”. Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Plano de Ubicación de la cantera "Tingo la Palla"



Nota: Elaboración propia

2.4.4. Ensayos de mecánica de suelos de los materiales empleados en la elaboración de los Ladrillos Artesanales

Ensayos de Contenido de Humedad – MTC E 108 /ASTM D2216 / NTP 339.127.

Se realizó para determinar la cantidad de agua existente en una muestra de suelo.

Materiales

- Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”.
- Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro extraído de la cantera “Tingo la Palla”.

Equipos

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa de secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$.
- Taras.

Procedimiento

- Se efectuó la caracterización de cada una de las taras a utilizar mediante rotulado y colocación de siglas para su identificación, luego se procedió a pesarlas vacías.
- Se colocó una porción del material muestreado en su estado natural (húmedo) en las taras rotuladas y se volvió a pesar.
- Se puso a secar las muestras rotuladas en la estufa de secado a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$ durante un periodo de tiempo de 24 horas.
- Se retiró las muestras de la estufa de secado y se pesó cada una de ellas. Con los datos alcanzados se procedió a determinar inmediatamente el peso del agua y el contenido de humedad.

Ecuación 1. Contenido de humedad

$$w\% = \frac{W_{mh} - W_S}{W_S} * 100$$

Donde:

W_{mh} : Peso de la muestra húmeda más el peso de la tara.

W_s : Peso de la muestra seca.

Figura 20

Contenido de humedad



Nota. Procedimiento realizado del ensayo de contenido de

humedad. Fuente: Elaboración propia.

Análisis Granulométrico Mediante Tamizado por Lavado – ASTM D421.

Se emplea cuando el material es fino (arcilloso-limoso) o cuando un material granular contiene finos. Para realizar este ensayo se lava el material fino que pasa por la malla N° 200.

Materiales

Suelo en estado seco:

- Muestra Patrón (MP).
- Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 10% de Muestra con Hierro (MH).

- Muestra Patrón (MP) más 25% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 50% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 75% de Muestra con Hierro (MH).

Equipos

- Juegos de tamices del N°4, N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100, N°200.
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Estufa de secado a 110 °C ± 5° C.
- Taras.

Procedimiento

- Cada muestra de material tuvo que ser pesada en cantidad de material seco, luego se cubrió el material con agua y se dejó reposar por algunas horas.
- Se tamizó la muestra por la malla N° 200 mediante un chorro de agua, el material retenido se colocó en la estufa de secado a 110 °C ± 5° C por un tiempo de 24 horas.
- Se retiró la muestra de la estufa, se realizó el proceso de tamizaje manual empleando el juego de tamices desde la malla N°4 hasta la N° 200.
- Se determinó los porcentajes de los pesos ponderados en cada tamiz (%RP) y los porcentajes retenidos acumulados, para lo cual se suman en forma progresiva (%RA).

Ecuación 2. Porcentajes retenidos en cada tamiz - análisis granulométrico

$$\%RP = \frac{PRP}{Ws} * 100$$

Donde:

PRP: Peso retenido en el tamiz.

Ws: Sumatoria de los pesos retenidos de cada tamiz.

Ecuación 3. Porcentajes retenidos acumulados en cada tamiz - análisis granulométrico

$$\begin{aligned} \% RA1 &= \% RP1 \\ \% RA2 &= \% RP1 + \% RP2 \\ \% RA3 &= \% RP1 + \% RP2 + \% RP3, \text{ etc} \end{aligned}$$

Donde:

% RA1, % RA2, % RA3: Porcentaje retenido acumulado en cada tamiz.

% RP1, % RP2, % RP3: Porcentajes retenido cada tamiz.

Ecuación 4. Porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz – análisis granulométrico

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% R. A.$$

Donde:

% R.A: Porcentaje retenido acumulado en cada tamiz.

Figura 21

Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Límites de plasticidad – NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318

Esta prueba se realizó para conocer las características de los suelos cohesivos, que pueden soportar deformaciones rápidas sin fluctuaciones volumétricas considerables,

desmoronamientos o agrietamientos; esta característica depende del contenido de humedad del suelo.

Ensayo límite líquido

Contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia semilíquido y plástico de un suelo. El suelo con contenido de humedad menor a su límite líquido se comporta como material plástico.

Materiales

Suelo seco que pasa la malla N° 40:

- Muestra Patrón (MP).
- Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 10% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 25% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 50% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 75% de Muestra con Hierro (MH).

Equipos

- Copa de Casagrande.
- Ranurador o acanalador.
- Balanza con aproximación de 0.01gr.
- Estufa de secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$.
- Espátula.
- Probeta de 100 ml.
- Capsula de porcelana.
- Taras.

Procedimiento

- En la cápsula de porcelana se mezcló el suelo con agua empleando una espátula hasta lograr conseguir una pasta uniforme, luego se situó una porción de esta pasta en la copa Casagrande, nivelando con la espátula hasta lograr un espesor de 1 cm.
- En el centro de la copa Casagrande hizo una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra quede dividida en 2 partes iguales, luego se procedió a elevar y dejar caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades del suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura, y se registró el número de golpes.
- Luego con la espátula se retiró la porción del suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura, se colocó en una tara y se pesó para ser llevado dentro de la estufa de secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$ por un tiempo de 24 horas
- Se retiró el espécimen de la estufa y volvió a pesar y así poder determinar su contenido de humedad.
- La muestra sobrante de la copa de Casagrande se colocó en la capsula de porcelana y se agregó agua siempre y cuando el número de golpes ha sido bajo (El número de golpes correspondientes en este ensayo debe estar comprendido entre 6 y 35).
- Se repitió el ensayo 2 veces más.

Ecuación 5. Contenido de humedad del límite líquido – límites de plasticidad

$$H = \frac{E}{F} * 100$$

Donde:

E: Peso del agua ((Peso de la muestra húmeda - peso de la tara) – (peso de la muestra seca - la tara)).

F: Peso de la muestra seca.

Figura 22

Límite líquido del suelo



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Ensayo límite plástico

Un nivel de humedad del suelo que cae dentro del rango arbitrario de consistencia semilíquida y plástica. Cuando el contenido de humedad del suelo está por debajo de su límite líquido, actúa de manera similar a un material no plástico.

Materiales

Una porción de la mezcla preparada para el límite líquido, de las muestras:

- Muestra Patrón (MP).
- Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 10% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 25% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 50% de Muestra con Hierro (MH).
- Muestra Patrón (MP) más 75% de Muestra con Hierro (MH).

Equipos

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa de secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$.
- Espátula.
- Capsula de Porcelana.
- Placa de vidrio.
- Taras.

Procedimiento

- Se añadió tierra seca a la porción de la mezcla destinada a alcanzar el límite líquido de manera que se redujera el contenido de humedad de la pasta.
- Inmediatamente sobre la placa de vidrio se enrolló la muestra con la mano, hasta conseguir cilindros de 3 mm de diámetro.
- Se colocaron los cilindros dentro de las taras, se tomó el peso y llevaron dentro de la estufa de secado a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{ C}$ por un tiempo de 24 horas.
- Se retiró la muestra de la estufa y se pesó para determinar el contenido de humedad.
- Este ensayo se repitió 2 veces más.

Ecuación 6. Contenido de humedad del límite plástico - límites de plasticidad

$$H = \frac{E}{F} * 100$$

Donde:

E: Peso del agua ((Peso de la muestra húmeda - peso de la tara) – (peso de la muestra seca - la tara)).

F: peso de la muestra seca.

Figura 23

Límite plástico del suelo



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Ensayo del peso específico MTC E 113 / ASTM D854 / NTP 339.131

Es la proporción de partículas minerales en la muestra de suelo medida en peso y volumen. Los ensayos se realizan en función del tipo de material: material fino, arena gruesa y/o grava y grava gruesa o piedra.

Materiales

- Agua.
- Muestra seca que pasa el tamiz N.º 4.
 - Muestra Patrón (MP).
 - Muestra con Hierro (MH).
 - Muestra Patrón (MP) más 10% de Muestra con Hierro (MH).
 - Muestra Patrón (MP) más 25% de Muestra con Hierro (MH).
 - Muestra Patrón (MP) más 50% de Muestra con Hierro (MH).

- Muestra Patrón (MP) más 75% de Muestra con Hierro (MH).

Equipos

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Fiola de 500 ml.
- Tamiz N°4
- Embudo.

Procedimiento

- Se pesó la muestra seca, luego se llenó la fiola de 500 ml con agua y se tomó su peso.
- Posteriormente se vertió una parte del líquido de la fiola y se puso la muestra seca dentro de ésta.
- Se colocó agua hasta la marca de los 500 ml, y se agitó por un tiempo de 15 minutos.
- Luego del tiempo transcurrido se tomó el peso y se repitió el ensayo una vez más para cada muestra.

Ecuación 7. Peso específico relativo de sólidos

$$\gamma_s = \frac{B}{(B + C - E)}$$

Donde:

B: Peso de la muestra seca

C: peso de la fiola más agua.

D: Peso de la fiola + agua + muestra seca.

Figura 24

Peso específico relativos de sólidos



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Peso unitario de los agregados finos MTC E 203 / ASTM C29 /NTP 400.017

Este ensayo se ejecuta para identificar el peso unitario del agregado y calcular los vacíos que existe en los agregados finos o en la combinación de ambos.

Peso unitario del agregado suelto

Materiales

- Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de “El Cerrillo”.
- Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera “Tingo la Palla”.

Equipos

- Balanza con Aproximación a 0.05 kg y con exactitud de 0.1% del peso de la muestra,
- Varillas compactadoras de acero cilíndrica y punta semiesférica
- Moldes de medida, cilíndricos y metálicos,

- pala o cucharón metálico de mano.

Procedimiento

- Se registró el volumen y peso del recipiente vacío.
- Luego se llenó el recipiente con el cucharón de mano de modo que el agregado se descargue de una altura no mayor a 50 mm, por encima del borde hasta colmarlo, el agregado sobrante se elimina con la varilla compactadora de acero.
- Se estableció el peso del recipiente más su contenido.
- Se repitió el ensayo dos veces más.

Ecuación 8. Peso unitario suelto

$$E = \frac{D}{C}$$

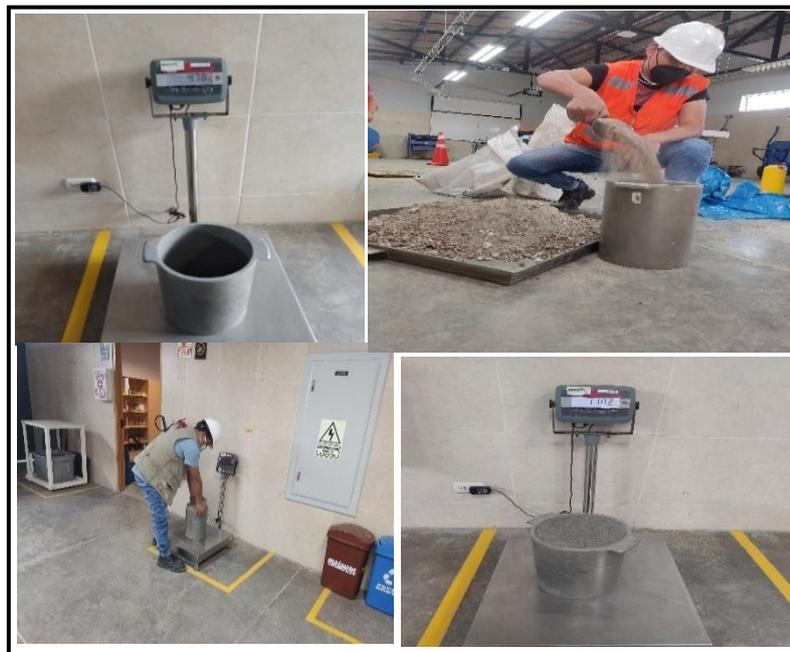
Donde:

C: Volumen del molde.

D: Peso del agregado fino suelto.

Figura 25

Peso unitario de los agregados finos



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5. Elaboración de ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y la adición del 10%, 25%, 50% y 75 de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH)

Materiales

- Agua.
- Agregado:
 - Muestra Patrón (MP).
 - Muestra Patrón (MP) más 10%, 25%, 50%, 75% de Muestra con Hierro (MH).

Equipos

- Picotas.
- Palanas.
- Baldes.
- Balanza romana.
- Carretillas.
- Batidora mecánica
- Gravera de madera.

Procedimiento

- Utilizando picotas y palanas se extrajo el material compuesto de arcilla y arena de “El Cerrillo”, luego se realizó combinaciones de la muestra patrón con desiguales porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro del 10 %, 25%, 50% y 75 %. La dosificación se realizó por pesado, empleando una balanza romanilla.

Figura 26

Combinación del material en diferentes porcentajes



Nota. Procedimiento de combinación de la muestra patrón con diferentes porcentajes del agregado natural con hierro.

Fuente: Elaboración propia.

- Empleando una carretilla se transportó el material combinado hacia la batidora mecánica, luego se realizó el batido del material, con la asistencia de un balde se vertió agua hasta lograr una consistencia requerida (a experiencia del artesano).
- Después se realizó el moldeo de los ladrillos artesanales empleando una mesa y una gravera de madera, se elaboraron un total de 300 unidades empleando material de la muestra patrón y la adición de los porcentajes del 10%, 25%, 50% y 75%.
- Terminado con el moldeo de todas estas unidades requeridos para el estudio, se procedió con la identificación, indicando el porcentaje correspondiente de cada unidad.
- Luego inició el proceso de secado por un tiempo de 20 días calendario, transcurrido este tiempo los ladrillos fueron llevados y colocados dentro del horno y se colocaron dentro del horno.

- A continuación, se empezó a cocer estas unidades al carbón por un periodo de 4 días, el enfriado de los ladrillos en su totalidad tuvo una duración de 6 días.

Figura 27

Batido y moldeado de los ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del batido y moldeado de los ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

Secado y cocción de los ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del secado, quemado y enfriamiento de los ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

- Luego se procedió con la descarga del ladrillo artesanal y se almacenó en un área abierta. Estos ladrillos artesanales fueron llevados a casa de uno de los bachilleres para luego ser transportados hacia la Universidad Privada del Norte, donde se realizaron los ensayos oportunos para estas unidades de albañilería.

Figura 29

Almacenamiento y transporte de los ladrillos artesanales



Nota. Descarga, transporte y almacén de los ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

2.4.6. Ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales

2.4.6.1. Propiedades Físicas de los Ladrillos Artesanales

Ensayo de Variación Dimensional (NTP 399.613 - 399.604)

El ensayo de variación dimensional, se realiza con el objetivo de calcular cada uno de sus dimensiones del ladrillo artesanal, para lo cual se realizaron las mediciones

con una proximidad de mm, tanto para el ancho (A), altura (H) y la longitud (L). Para la obtención de resultados promedio empleó las siguientes fórmulas.

Ecuación 9. Longitud Promedio

$$L_o = \frac{L1 + L2 + \dots + L6}{6} \dots \dots \dots 1$$

Ecuación 10. Ancho Promedio

$$A_o = \frac{A1 + A2 + \dots + A6}{6} \dots \dots \dots 2$$

Ecuación 11. Altura Promedio

$$H_o = \frac{H1 + H2 + \dots + H6}{6} \dots \dots \dots 3$$

Materiales.

- Ladrillos artesanales elaborados con Muestra Patrón (MP) y la adición de Muestra con Hierro (MH).
- Regla graduada de acero en divisiones de 1.00 mm.
- Vernier (Pie de Rey).

Procedimiento

Con la ayuda de una regla graduada de acero y el vernier, se realizó la medición de cada ladrillo, en su ancho (A), longitud (L) y su altura (H), con una precisión de 1mm.

Ecuación 12. Variación dimensional

$$V\% = \frac{L_f - L_o}{L_f} x 100 \dots \dots \dots 4$$

$$V\% = \frac{L_f - A_o}{L_f} x 100 \dots \dots \dots 5$$

$$V\% = \frac{L_f - H_o}{L_f} x 100 \dots \dots \dots 6$$

Donde:

V%: Variación dimensional (%).

L_f: Medida especificada por el fabricante (mm).

Lo: Longitud Promedio (mm).

Ao: Ancho Promedio (mm).

Ho: Altura Promedio (mm).

Figura 30

Variación dimensional de ladrillos artesanales



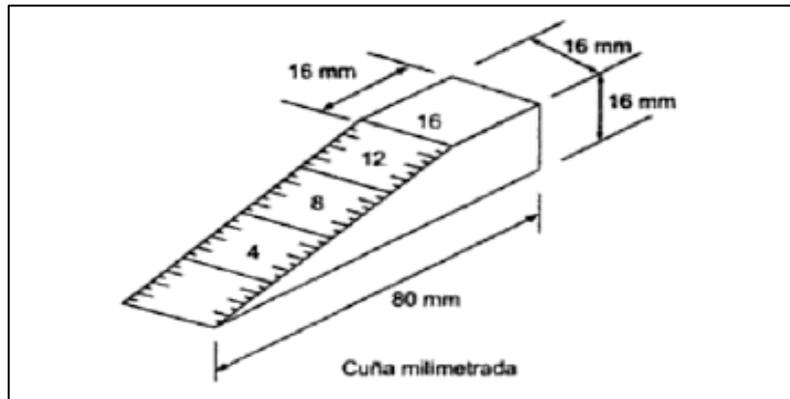
Nota. Procedimiento del ensayo de Variación Dimensional para los diferentes tipos de ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Ensayo de Alabeo (NTP 399.613)

El ensayo de alabeo se realizó con el objetivo de determinar la concavidad o convexidad de la unidad de albañilería, para lo cual se utilizó una regla metálica, cuñas de madera milimetradas y una placa vidrio. Esta regla se estableció en cada una de las caras del ladrillo, de modo que esta vaya de una arista a otra opuesta diagonalmente.

Figura 31

Cuña milimétrica para los ensayos de alabeo



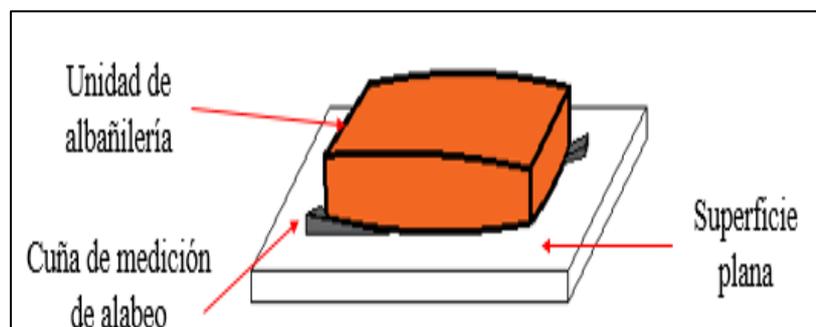
Nota. Se emplea en la medición de los ensayos de alabeo del ladrillo artesanal. Fuente: Gallegos & Casabonne (2005)

Materiales

- Ladrillos artesanales elaborados con Muestra Patrón (MP) y la adición de Muestra con Hierro (MH).
- Regla graduada de acero.
- Cuña de madera milimétrica (60 mm x 16 mm x 16mm)
- Placa de vidrio.

Figura 32

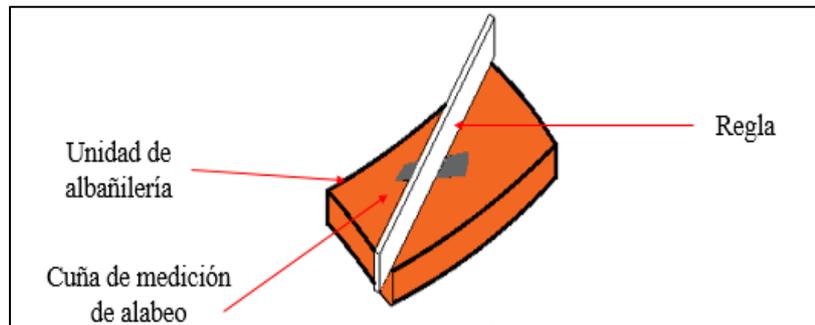
Esquema de alabeo en la unidad de albañilería - Convexo



Nota. Ilustración del ensayo de alabeo. Fuente: Adaptación Gallegos & Casabonne (2005)

Figura 33

Esquema de alabeo en la unidad de albañilería - Cóncavo



Nota. Ilustración del ensayo de alabeo. Fuente: Gallegos & Casabonne (2005).

Procedimiento del ensayo

- Para realizar este ensayo se colocó el ladrillo artesanal sobre la placa de vidrio sobre una superficie plana. Para medir la concavidad se introduce la cuña graduada en la unidad de albañilería donde presenta la mayor flecha. Para medir la convexidad se coloca la regla hasta que las medidas de los extremos sean iguales, introduciendo allí la cuña de madera.

Figura 34

Alabeo de ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración Propio.

Ensayo de Absorción (NTP 399.604 - 399.613)

Este ensayo se realizó con el propósito de determinar la capacidad de absorción de agua en los ladrillos artesanales. Estas unidades se sumergieron en agua por un tiempo de 24 horas a una temperatura ambiente, luego se retiraron del agua, y su peso aumentó debido a que el agua se introdujo en los poros de la unidad.

Materiales

- Ladrillos artesanales elaborados con Muestra Patrón (MP) y la adición de Muestra con Hierro (MH).
- Balanza con una precisión de 0.5 g.
- Recipiente.
- Canastilla.
- Agua.
- Pañuelo.

Procedimiento

- Se tomó el peso de cada ladrillo artesanal, antes de ser sumergido dentro del recipiente con agua.
- Luego se sumergieron los especímenes en agua por un periodo de 24 horas.
- Transcurrido el tiempo de absorción del ladrillo, se procedió a pesar cada una de ellos mientras están suspendidos por una canastilla sumergido totalmente en el agua y registró el peso Sumergido (W_i).
- Luego se retiró el ladrillo del agua y con un pañuelo se limpió la superficie, para así pesar y registrar el peso saturado (W_s).

Ecuación 13. Absorción

$$\text{Absorción} \frac{Kg}{m^3} = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_i} \times 1000 \dots \dots \dots 13.1$$

$$\text{Absorción \%} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \dots \dots \dots 13.2$$

Donde:

Abs: Porcentaje de Absorción (%).

Wd: Peso Seco de la unidad de albañilería (gr).

Ws: Peso Saturado de la unidad de albañilería (gr).

Wi: Peso Sumergido de la Unidad de Albañilería (gr).

Figura 35

Absorción de los ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del ensayo de absorción. Fuente:

Elaboración propia.

Ensayo de Succión (NTP 399.604 - 399.613)

El ensayo de succión se realizó con el propósito de calcular la rapidez del agua que adhiere a la unidad de albañilería en la cara de asiento.

Materiales

- Ladrillos artesanales elaborados con Muestra Patrón (MP) y la adición de Muestra con Hierro (MH).

- Agua.
- Bandeja.
- Regla milimetrada.
- Balanza con una precisión de 0.5 g.
- Cronómetro.
- Pañuelo.

ii) Procedimiento

- Empleando la balanza con una precisión de 0.5 g, se tomó el peso de cada uno de los ladrillos artesanales antes de ser colocados en la bandeja con agua.
- Con el uso de una regla milimetrada se realizó la medición del área (A) de la unidad que estuvo en contacto con el agua, con una precisión de 1mm.
- En una bandeja nivelada se agregó agua hasta cubrir los apoyos de los ladrillos a una altura de 3 mm durante 1 minuto. Luego con la ayuda de un pañuelo se hizo el secado del ladrillo, y se pesó la unidad (Pm) en gramos.

Ecuación 14. Succión

$$S \left(\frac{B}{\text{min}} / 200\text{cm}^2 \right) = \frac{200W}{LA}$$

Donde:

S: Succión.

w: Diferencias de pesos del espécimen (Peso mojado- peso seco) gr.

L: Longitud del ladrillo (cm).

A: Ancho del ladrillo(cm).

Figura 36

Succión de los ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

2.4.6.2. Propiedades mecánicas de los ladrillos artesanales

Ensayo de resistencia a compresión de la unidad de albañilería (f'm) - NTP

399.613 - 339.604

El ensayo de resistencia a compresión de la unidad de albañilería (f'm), se fundamentó principalmente en la aplicación de una carga progresiva de compresión a una unidad de ladrillo.

Materiales y equipos

- Ladrillos artesanales elaborados con Muestra Patrón (MP) y la adición de Muestra con Hierro (MH).
- Máquina de compresión axial.

Procedimiento

- Se agregó una capa de yeso con un espesor de 3 mm en la cara superior e inferior y se dejó secar por un tiempo de 24 horas, esto se realizó con unidades de

albañilería que presentan deformaciones en las caras detectables a la hora de recibir la carga en la máquina de compresión.

- Luego se colocaron cada unidad dentro de la máquina de compresión axial y se aplicó una carga vertical con una velocidad inspeccionada por el técnico de laboratorio, hasta que se registró la carga máxima de compresión de cada ladrillo.

Ecuación 15. Resistencia a compresión axial

$$f'b = \frac{P_{max}}{Ab}$$

Ecuación 16. Área Bruta de la unidad de albañilería

$$Ab = LxA$$

Donde:

$f'b$: Resistencia a compresión axial (kg/cm²).

$P_{máx}$: Carga máxima de compresión (kg).

Ab : Área Bruta (cm²).

L, A : Largo y ancho promedio del ladrillo (cm)

Figura 37

Resistencia a la compresión axial de las muestras de ladrillos artesanales



Nota. Procedimiento del ensayo de resistencia. Fuente:

Elaboración propia.

Ensayo de la resistencia a compresión de las pilas (NTP 399.621 - NTP 399.605)

El ensayo de resistencia a compresión de las pilas (f^b), se sostuvo en la aplicación de una carga progresiva de compresión a la pila de albañilería.

Procedimiento

- Primero los ladrillos fueron regados con agua, con la finalidad de disminuir la elevada succión natural de modo que al momento de asentarlas.
- Luego se realizó el asentado del ladrillo uno sobre otro con mortero 1:4, $e=1.5$ cm.
- Una vez elaboradas los prismas de albañilería se realizó el curado por un tiempo de 21 días.
- Antes de ser ensayadas las pilas se ubicó una capa de yeso en la cara superior e inferior, con un espesor de 3 mm y se dejó secar por un tiempo de 24 horas. Luego se tomó las medidas en su ancho, largo y altura del prisma.
- Finalmente se colocaron cada pila dentro de la máquina de compresión axial y se aplicó una carga vertical con una velocidad controlada por el técnico de laboratorio, hasta que se registró la carga máxima de compresión de cada prisma.

Ecuación 17. Resistencia a compresión axial de pilas

$$f_m = \frac{P_{max}}{A}$$

Donde:

f_m : Resistencia a compresión axial en pilas (kg/cm²).

$P_{máx}$: Carga de compresión máxima (kg).

A: Promedio de las áreas brutas superior e inferior (cm²).

Ecuación 18. Esbeltez

$$\text{Esbeltez} = \frac{H_p}{A_p}$$

Donde:

H_p: Altura promedio de las pilas a ensayar.

A_p: Ancho promedio de las pilas a ensayar.

Tabla 20

Factores de corrección de f'm por esbeltez

	Factor de corrección					
Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor (a)	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Nota. Adaptado de Norma E.070 (2006):

Tabla 21

Incremento de (f'm) por edad para las pilas de albañilería

		Tiempo	
Edad		14 días	21 días
Muretes	Ladrillos de Arcilla	1.15	1.05
	Bloques de Concreto	1.25	1.05
Pilas	Ladrillos de Arcilla	1.10	1.00
	Bloques de Concreto		

Nota. Coeficiente de incremento de (f'm) por edad a los 14 Y 21 días. Fuente

(NTP-E.070, 2006)

$$f'_{mc} = f'_m * a * b$$

Donde:

a: Factor de correlación por esbeltez

b: Factor de correlación por edad

f'm: Resistencia a compresión axial en pilas (kg/cm²).

Ecuación 19. Resistencia a compresión axial de pilas corregido

$$f'm = f'mc - \sigma$$

Donde:

$f'm$: Resistencia característica a compresión axial de las pilas de ladrillo corregido (Kg/cm²)

$f'mc$: Promedio de la resistencia a la compresión de las muestras corregido por esbeltez y por edad (kg/cm²)

σ : Desviación estándar σ

Ecuación 20. Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (fb - \bar{fb})^2}{N \text{ especimen} - 1}}$$

Donde:

fb : Valores de los resultados obtenidos

\bar{fb} : Media aritmética

Figura 38

Resistencia a compresión en pilas de albañilería



Nota. Procedimiento del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

2.5. Aspectos éticos

En cuanto a las consideraciones éticas, se ha respetado los principios éticos de investigación propuestos por la Asociación Británica de Investigación Educativa (BERA (2018), que establecen que en todo estudio se debe cumplir con el criterio de responsabilidad, honradez, autonomía, es decir, se tuvo rigurosidad desde el inicio de la investigación, se aplicó correctamente los procedimientos y se identificó los resultados de los ensayos sin alterar lo evidenciado en el experimento, a través de ello se evitó el conflicto de interés porque se emitieron los permisos necesarios para obtener los recursos.

Además, se trabajó la elaboración de ladrillos siguiendo la guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales, y en ensayos de laboratorio se rigió a la normativa técnica nacional e internacional, permitiendo que contribuya a un logro esperado de carácter único. También, se trabajó rigiéndose en la normatividad internacional APA 7ma edición y de acuerdo con la guía establecida por la Universidad Privada del Norte, logrando con ello que el estudio cumpla el estándar anti plagio, sea auténtico y original.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Determinación de las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP):

Agregado convencional, extraído de "El Cerrillo"

3.1.1. Resultados del Ensayo de Contenido de Humedad

Tabla 22

Contenido de humedad para la MP

Nº de muestra	ID	Porcentaje de humedad
1	MP-1	8.32 %
1	MP-1	8.31 %
3	MP-1	8.32 %
Porcentaje de humedad promedio		8.32 %

Nota. Resultados del contenido de humedad. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22 los resultados indican el contenido de humedad promedio para la MP extraída de "El Cerrillo" es de 8.32 %.

3.1.2. Resultados del Ensayo de Análisis Granulométrico

Tabla 23

Análisis granulométrico para la MP

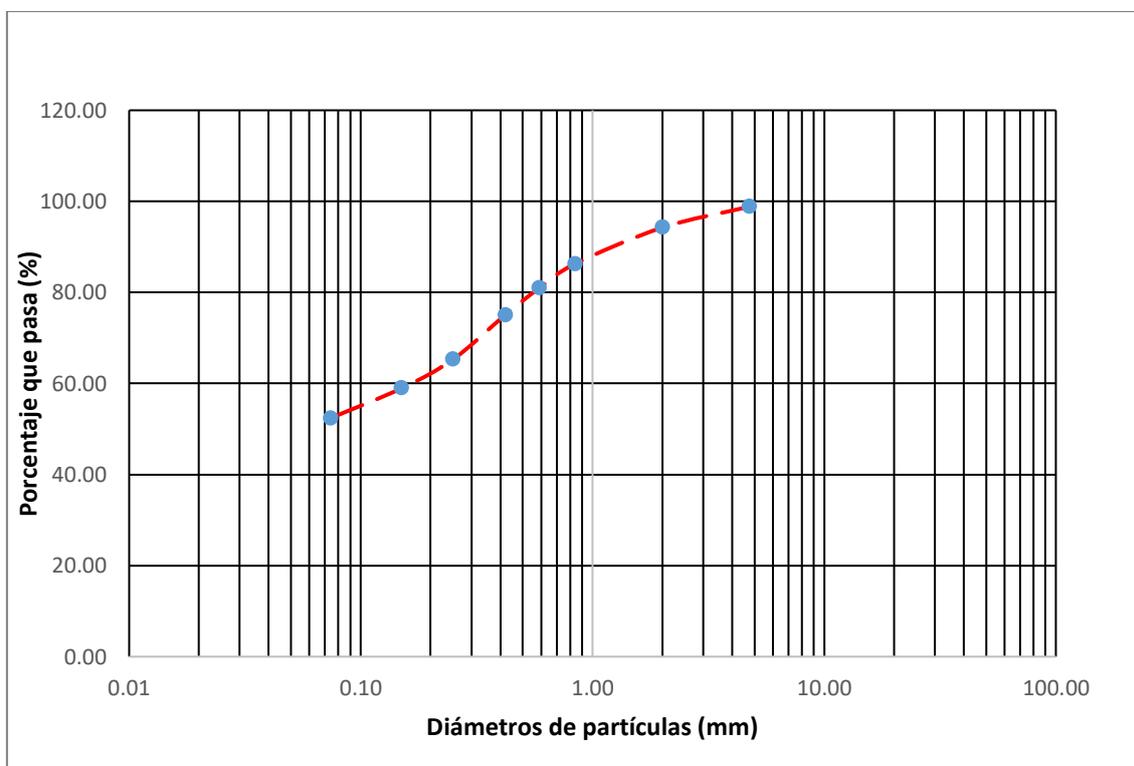
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura(mm)	Gramos (gr)	%	Peso retenido %	% que pasa
Nº 4	4.76	6.05	1.16	1.16	98.84
Nº10	2.00	23.93	4.60	5.77	94.23
Nº20	0.84	41.42	7.97	13.73	86.27
Nº30	0.59	27.48	5.28	19.02	80.98
Nº40	0.42	30.84	5.93	24.95	75.05
Nº60	0.25	50.83	9.78	34.72	65.28
N.º 100	0.15	32.90	6.33	41.05	58.95
N.º 200	0.074	34.13	6.56	47.61	52.39
Perdida Lavado		272.42	52.39	100.00	0.00
Peso total (g)		520.000	100.00		

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 23 muestra que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es 52.39%, siendo superior al 50%, lo cual indica que es un suelo fino compuesto por arcilla y limo. Además, el porcentaje que pasa por la malla N° 4 es 98.84%, lo cual es mayor al 50%, siendo un tipo de suelo arenoso. De acuerdo al análisis granulométrico se puede determinar que este tipo de muestra presenta arcilla, limo y arena.

Figura 39

Curva granulométrica de la MP



Nota. Elaboración propia.

De la Figura 39 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.17$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, puesto a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es 59.32% lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que, la clasificación de este suelo se realizó mediante los límites de consistencia.

3.1.3. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 24

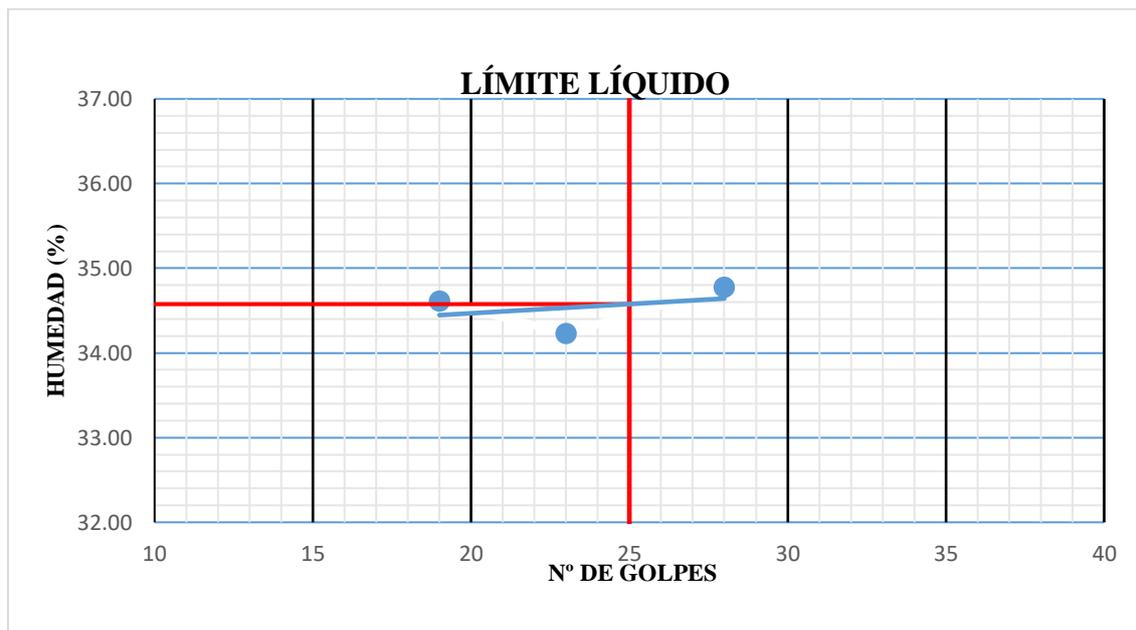
Límite líquido de la MP

ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-MP-1	LL-MP-2	LL-MP-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	45.03	50.59	50.82
C	Suelo seco + de recipiente	gr	40.53	44.61	45.04
D	Peso del recipiente	gr	27.53	27.14	28.42
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.50	5.98	5.78
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	13.00	17.47	16.62
G	Número de golpes	N	19	23	28
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	34.62	34.23	34.78

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Figura 40

Límites de Atterberg para la MP



Nota. Determinación de límite líquido. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40, se ubicó los puntos que muestran el número de golpes logrados en el ensayo de límite líquido detallado en la Tabla 24, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 34.58%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra patrón.

Tabla 25

Límite de plasticidad para la MP

ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LP-MP-1	LP-MP-2	LP-MP-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	25.60	25.25	24.56
C	Suelo seco + de recipiente	gr	23.11	22.92	22.32
D	Peso del recipiente	gr	13.96	14.43	14.12
E	Peso del agua (B-C)	gr	2.49	2.33	2.24
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	9.15	8.49	8.20
G	Contenido de humedad (E/F) *100	%	27.21	27.44	27.32
H	Promedio límite plástico	%		27.32%	

Nota. Elaboración Propia

Según la Tabla 25 se identifica que el promedio límite de plasticidad para la muestra patrón tiene un valor de 27.32%, siendo igual al del límite de plasticidad para la MP-3.

Tabla 26

Índice de plasticidad para la MP

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	34.58%
Límite plástico	LP	27.32%
Índice de plasticidad	IP	7.25%

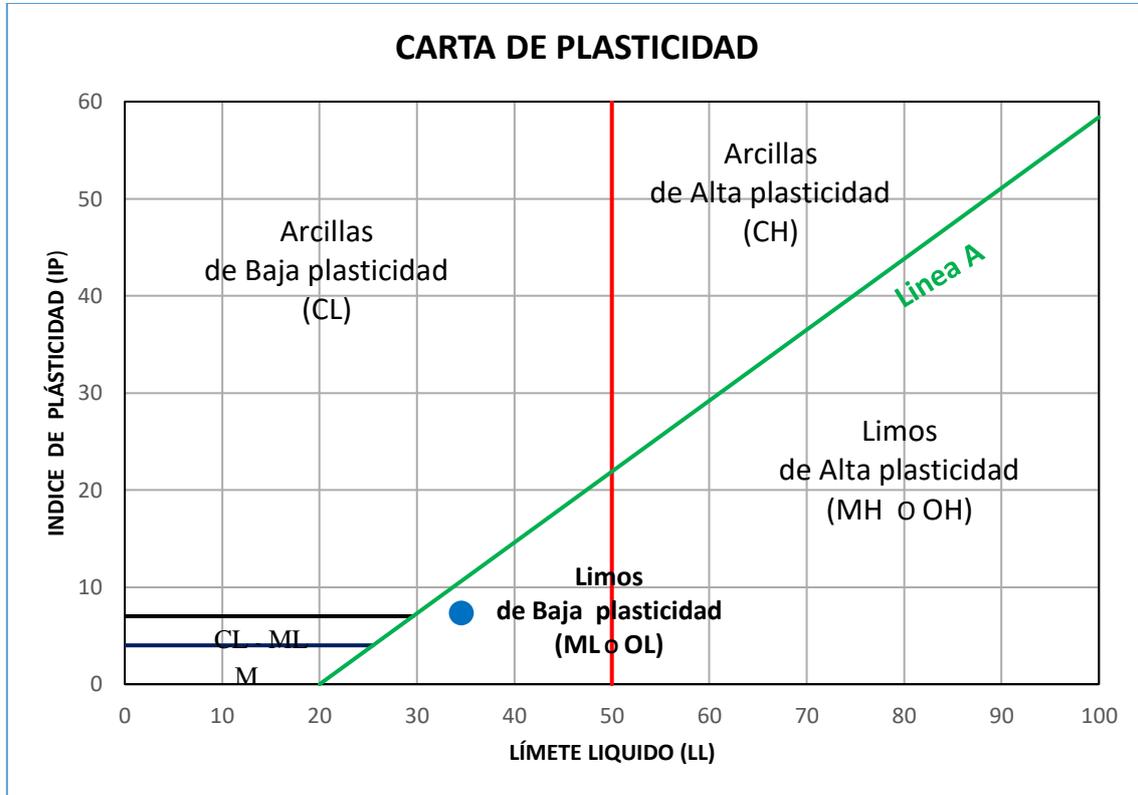
Nota. Elaboración Propia

Los resultados de la Tabla 26 determinan que en el límite líquido existe un mayor porcentaje de humedad (34.58%) y el límite plástico tiene un porcentaje de humedad de 27.32%, por último, el índice de plasticidad tiene un 7.25% de porcentaje de humedad.

3.1.3.1. Clasificación del Suelo

Figura 41

Clasificación unificada de suelos S.U.C.S

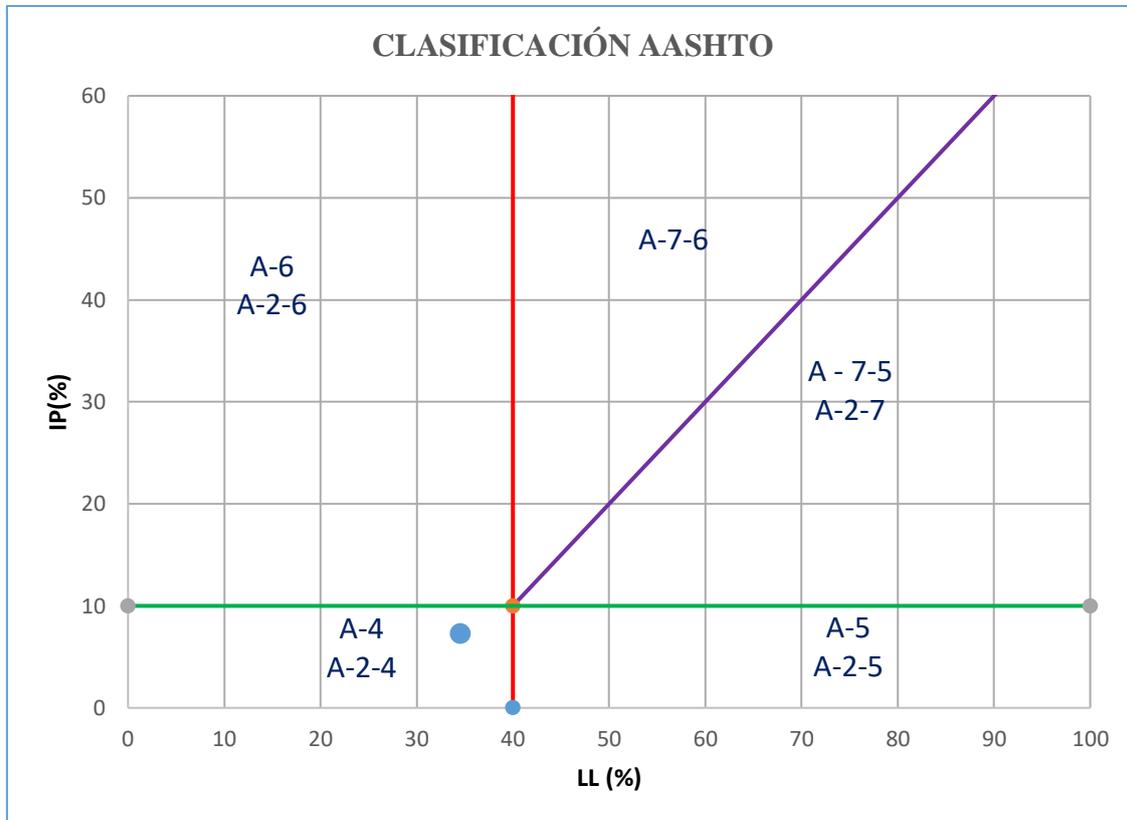


Nota. Determinación y Clasificación del tipo de suelo para la muestra patrón que se aplicó en el estudio. Fuente: adaptación SUCS

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), la muestra estándar exhibe limo de baja plasticidad, como se ve en la Figura 41.

Figura 42

Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón.



Nota. Clasificación del tipo de suelo. Fuente: Adaptación AAHSTO

Se utilizó el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), para clasificar la muestra estándar en la Figura 42; se observa que el índice de plasticidad es de 7,25% cuando está por debajo de la línea A, clasificándolo como suelo A. -2-4, perteneciente al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas que contienen muchos finos.

3.1.4. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 27

Peso específico relativo de sólidos de la MP

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	MP-1	MP-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm3	654.81	660.35
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm3	713.93	719.40
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B)/(B+C-D))$)	gr/cm3	2.45	2.44
G	Promedio del Peso Específico “ γ_S ”	gr/cm3		2.44

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos para la muestra patrón. Fuente:

Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 27, se puede visualizar que la muestra patrón tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.44 gr/cm³, estando dentro del rango 2.44 - 2.55 kg/cm³ (suelo arcilloso).

3.1.5. Resultados del Ensayo de Peso Unitario

Tabla 28

Peso unitario de la MP

Peso unitario suelto - agregado fino					
ITEM	Descripción	UNIDAD	MP-1	MP-2	MP-3
A	Peso de molde +AF Suelto	kg	16.90	16.98	17.00
B	Peso de molde	kg	4.78	4.78	4.78
C	Volumen del Molde	m3	0.01	0.01	0.01
D	Peso de AF Suelto D=A-B	Kg	12.12	12.20	12.22
E	PESO UNITARIO Suelto E=D/C	Kg/m3	2020.00	2033.33	2036.67
	PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO	Kg/m3		2030.00	

Nota. Resultados del peso unitario de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 28, se observa que el peso unitario suelto promedio de la muestra patrón es de 2030.20 kg/m³.

3.2. Determinación de las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH):

Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera

“Tingo la Palla”

3.2.1. Resultados del Ensayo de Contenido de humedad

Tabla 29

Contenido de humedad para el agregado natural que contiene partículas de hierro

Nº de muestra	ID	Porcentaje de humedad
1	MH-1	1.69 %
1	MH-2	1.73 %
3	MH-3	1.79 %
Porcentaje de Humedad Promedio		1.74 %

Nota. Resultados del contenido de humedad. Fuente: Elaboración propia

Según los resultados en la Tabla 29 se indican que el contenido de humedad promedio para la muestra hierro extraída de la cantera “Tingo la Palla” es de 1.74 %.

3.2.2. Resultados del Ensayo de Análisis granulométrico

Tabla 30

Análisis granulométrico de la MH

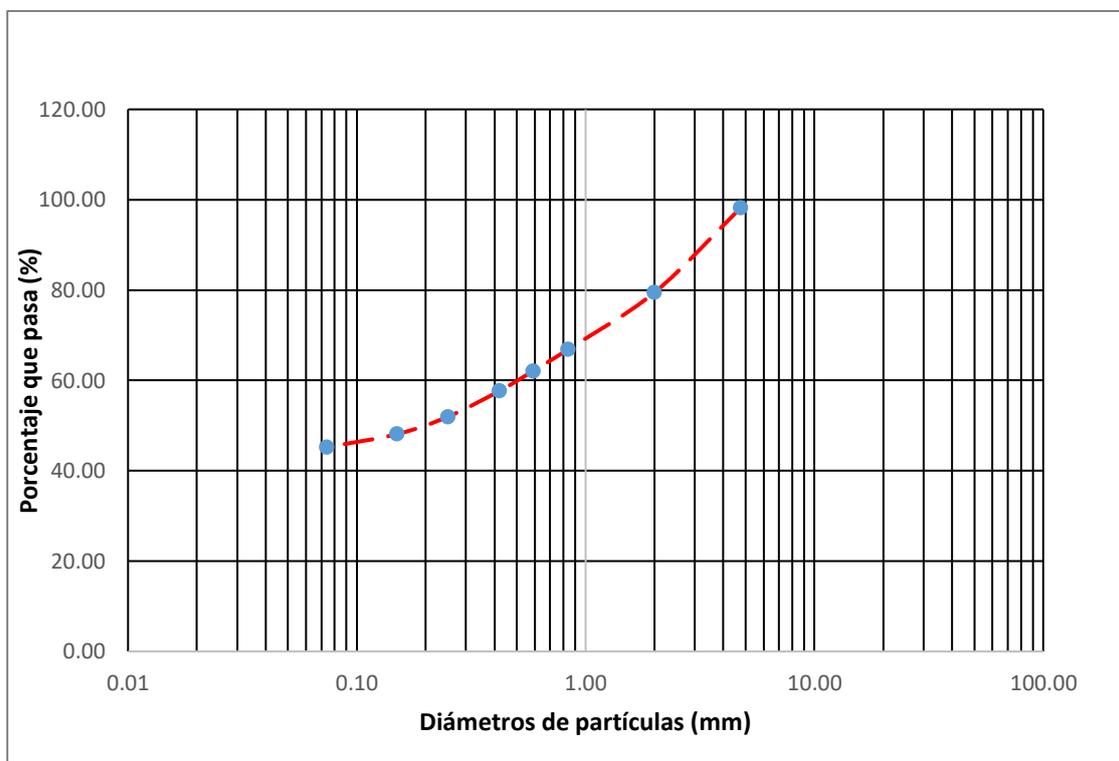
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura(mm)	Gramos (gr)	%	Peso retenido %	% que pasa
Nº 4	4.76	9.35	1.80	1.80	98.20
Nº10	2	97.41	18.73	20.53	79.47
Nº20	0.84	65.34	12.57	33.10	66.90
Nº30	0.59	24.95	4.80	37.89	62.11
Nº40	0.42	23.04	4.43	42.33	57.68
Nº60	0.25	29.71	5.71	48.04	51.96
Nº 100	0.15	19.97	3.84	51.88	48.12
Nº 200	0.074	15.07	2.90	54.78	45.22
Perdida	Lavado	235.16	45.22	100.00	0.00
Peso Total (g)			520.00	100.00	

Nota. Resultados del ensayo de análisis granulométrico para el agregado natural que contiene partículas de hierro. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 30 revela que el 45,22% de la muestra pasa por la malla N°. 200, que es menos del 50% e indica que la muestra es un suelo grueso con granulometría gruesa. Adicionalmente, debido a que la malla N°. 4 está hecha de un tipo de suelo arenoso, el 98.20% del material pasa a través de ella, superando el 50%. Los resultados del estudio granulométrico muestran que este tipo de muestra contiene arena.

Figura 43

Curva granulométrica de la MH



Nota. Curva de Distribución Granulométrica para el Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro. Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 43 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.51$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, debido a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es de 45.22%, lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que, la clasificación de este suelo se realizó mediante los límites de consistencia.

3.2.3. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 31

Límite líquido del agregado natural que contiene partículas de hierro

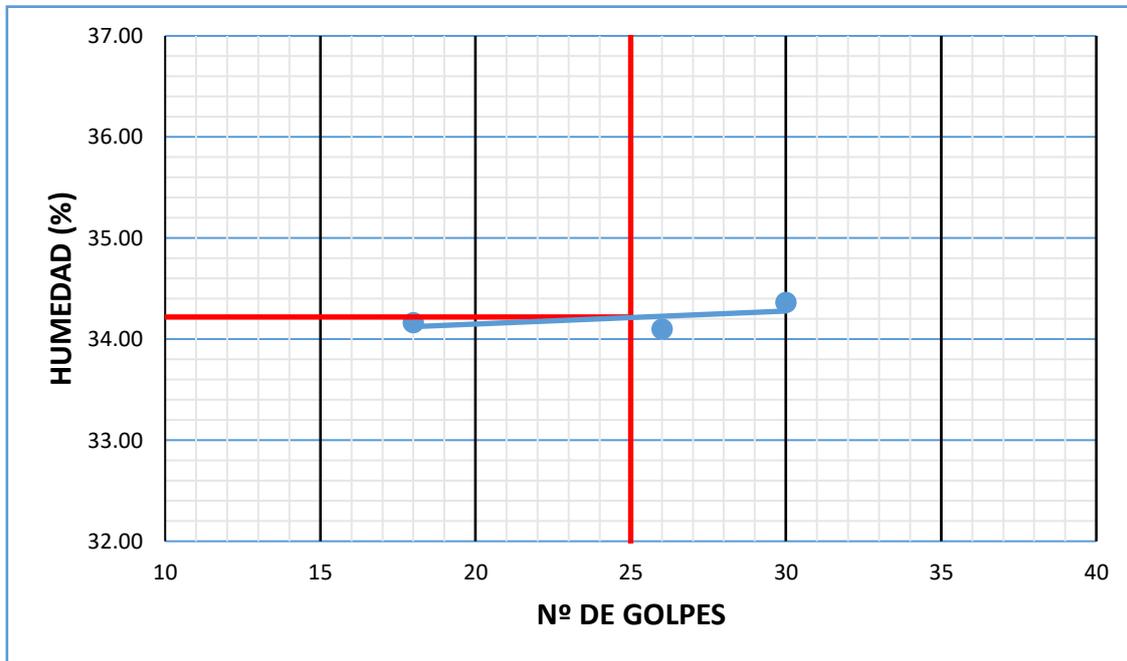
Determinación del Límite Líquido (LL)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-MH-1	LL-MH-2	LL-MH-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	53.28	50.05	56.13
C	Suelo seco + de recipiente	gr	46.71	44.41	48.78
D	Peso del recipiente	gr	27.48	27.87	27.39
E	Peso del agua (B-C)	gr	6.57	5.64	7.35
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	19.23	16.54	21.39
G	Número de golpes	N	18	26	30
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	34.17	34.10	34.36

Nota. Resultados del ensayo del límite líquido del agregado natural que contiene partículas de hierro. Fuente: Elaboración Propia.

Según la Tabla 31 se identifica que para el número de golpe 18 se tiene un contenido de humedad de 34.17%, mientras que para el golpe número 26 el contenido de humedad es de 34.10%, por último, para el golpe 30 el contenido de humedad es de 34.36%.

Figura 44

Límites de Atterberg para el agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Límite líquido para el agregado natural que contiene partículas de hierro. Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 44, se ubicó los puntos que muestran el N° de golpes obtenidos en el ensayo de límite líquido, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 32.22%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra con partículas de hierro.

Tabla 32

Límite de plasticidad para el agregado natural que contiene partículas de hierro

ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	N°	LP-MH-1	LP-MH-2	LP-MH-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	40.66	40.69	40.23
C	Suelo seco + de recipiente	gr	38.23	38.21	37.96
D	Peso del recipiente	gr	27.29	27.24	27.71
E	Peso del agua (B-C)	gr	2.43	2.48	2.27
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	10.94	10.97	10.25
G	Contenido de humedad (E/F) *100	%	22.21	22.61	22.15
H	Promedio límite plástico	%		22.32%	

Nota. Determinación del Límite Plástico. Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 32 se identifica que el límite de plasticidad promedio para el agregado natural que contiene partículas de hierro es de 22.32%

Tabla 33

Índice de plasticidad para el agregado natural que contiene partículas de hierro

Tipo de ensayo	id	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	34.22%
Límite plástico	LP	22.32%
Índice de plasticidad	IP	11.90%

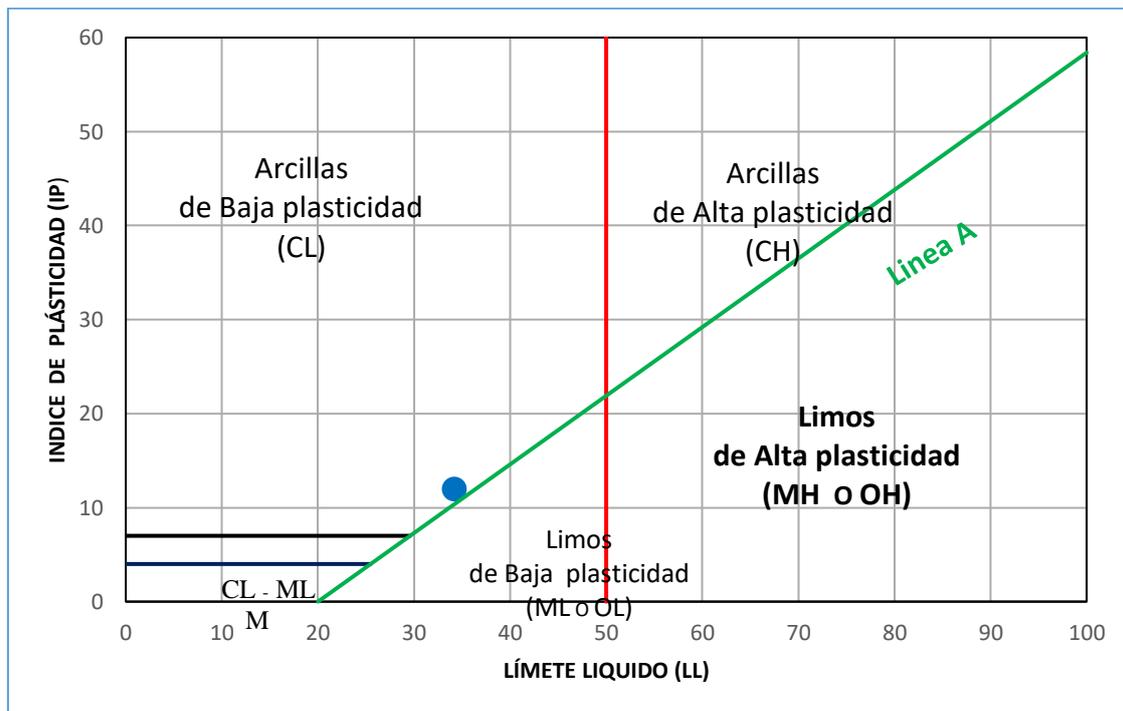
Nota. Determinación del Índice de plasticidad. Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de la Tabla 33 determinan que en el límite líquido existe un mayor porcentaje de humedad (34.22%) y el límite plástico tiene un porcentaje de humedad de 22.32%, por último, el índice de plasticidad tiene un 11.90% de porcentaje de humedad.

3.2.3.1. Clasificación del Suelo

Figura 45

Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Clasificación del tipo de suelo en la carta de plasticidad. Fuente: adaptación SUCS

De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), la Figura 45 evidencia que la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro exhibe arcillas de baja plasticidad (LC).

Figura 46

Clasificación según AASHTO de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro.



Nota. Clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación AAHSTO

En la Figura 46, se realizó clasificación de la muestra de agregado natural que contienen partículas de hierro por el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), observando que el índice de plasticidad es 11.90% estando está por encima de la línea A, clasificando como un suelo A -2-6, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos, es decir, arenas y gravas con un contenido de arcilla.

3.2.4. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 34

Peso específico relativo de sólidos de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	MH-1	MH-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm3	714.57	656.74
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm3	778.06	720.49
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B/(B+C-D)))$)	gr/cm3	2.74	2.76
G	Promedio del Peso Específico “ γ_S ”	gr/cm3		2.75

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 34, se puede visualizar que la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.73 gr/cm³, estando dentro del rango 2.75 – 3.00 kg/cm³ (suelo con hierro).

3.2.5. Resultados del Ensayo de Peso Unitario

Tabla 35

Peso unitario de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso unitario suelto - agregado fino					
ITEM	Descripción	UND	MH-1	MH-2	MH-3
A	Peso de molde + AF Suelto	kg	17.18	17.08	17.02
B	Peso de molde	kg	4.78	4.78	4.78
C	Volumen del molde	m3	0.01	0.01	0.01
D	Peso de AF suelto D=A-B	Kg	12.40	12.30	12.24
E	Peso unitario suelto E=D/C	Kg/m3	2066.67	2050.00	2040.00
Peso unitario suelto promedio		Kg/m3		2052.22	

Nota. Resultados del peso unitario la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la Tabla 35, el peso unitario suelto promedio de la muestra de agregado natural que contiene partículas de hierro es de 2052.22 kg/m³.

3.3. Determinación de las propiedades físicas del material de la muestra patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH)

3.3.1. MP + Adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.3.1.1. Resultados del Ensayo de Análisis granulométrico

Tabla 36

Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

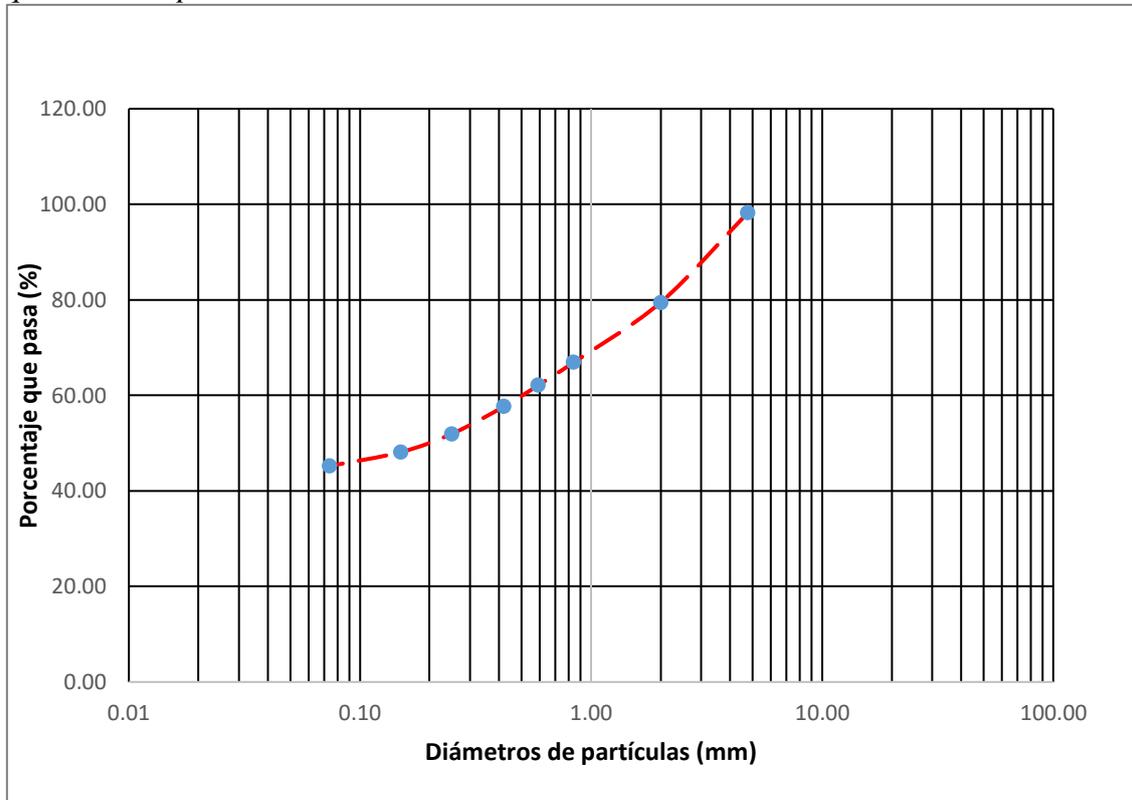
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura(mm)	Gramos (gr)	%	Peso retenido %	% Que pasa
Nº 4	4.76	4.69	0.85	0.85	99.15
Nº10	2	23.74	4.32	5.17	94.83
Nº20	0.84	48.79	8.87	14.04	85.96
Nº30	0.59	33.86	6.16	20.20	79.80
Nº40	0.42	39.09	7.11	27.30	72.70
Nº60	0.25	55.59	10.11	37.41	62.59
Nº 100	0.15	48.93	8.90	46.31	53.69
Nº 200	0.074	43.67	7.94	54.25	45.75
Pérdida Lavado		251.64	45.75	100.00	0.00
Peso Total (g)			550.00	100.00	

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 36 muestra que el porcentaje que pasa por la malla Nº 200 es 45.75%, siendo inferior al 50%, lo cual indica que es un suelo grueso de granulometría gruesa. Asimismo, el porcentaje que pasa por la malla Nº 4 es 99.15%, lo cual es mayor al 50%, siendo un tipo de suelo arenoso. De acuerdo al análisis granulométrico se puede determinar que este tipo de muestra presenta arena, con un módulo de finura 2.06%.

Figura 47

Curva granulométrica de muestra patrón más adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Elaboración propia

De la Figura 47 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.22$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, debido a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es de 45.75%, lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que la clasificación de este suelo se realizó mediante los límites de consistencia.

3.3.1.2. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 37

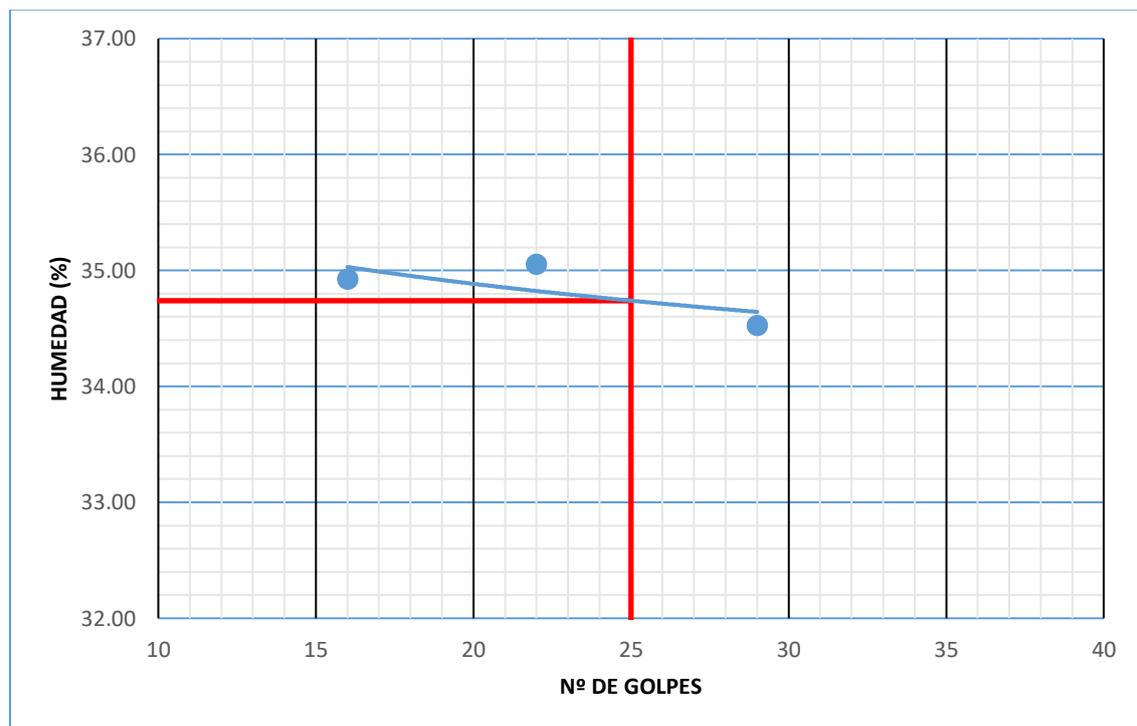
Límite líquido de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Determinación del límite líquido (II)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-10 % -1	LL-10 % -2	LL-10 % -3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	53.72	53.93	52.18
C	Suelo seco + de recipiente	gr	46.92	47.26	45.79
D	Peso del recipiente	gr	27.45	28.23	27.28
E	Peso del agua (B-C)	gr	6.80	6.67	6.39
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	19.47	19.03	18.51
G	Número de golpes	N	16	22	29
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	34.93	35.05	34.52

Nota. Resultados del Ensayo del Límite líquido. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 48

Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 48, se ubicó los puntos que muestran el N° de golpes obtenidos en el ensayo de límite líquido, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 34.74%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra con partículas de hierro (Ver Tabla 37).

Tabla 38

Límite plástico de la muestra patrón más el 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Determinación del límite plástico (LP)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	N°	LP-10%-1	LP-10%-2	LP-10%-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	48.35	47.54	49.46
C	Suelo seco + de recipiente	gr	44.18	43.46	45.19
D	Peso del recipiente	gr	27.78	27.76	28.53
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.17	4.08	4.27
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	16.40	15.70	16.66
G	Número de golpes	%	25.43	25.99	25.63
H	Promedio límite plástico	%		25.68%	

Nota. Determinación del límite plástico de la muestra. Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 38 se identifica que el límite plástico promedio para el ensayo de MP más el 10% de agregado natural tiene un valor de 25.68%.

Tabla 39

Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	34.74%
Límite plástico	LP	25.68%
Índice de plasticidad	IP	9.06%

Nota. Determinación del índice de plasticidad de la muestra. Fuente: Elaboración

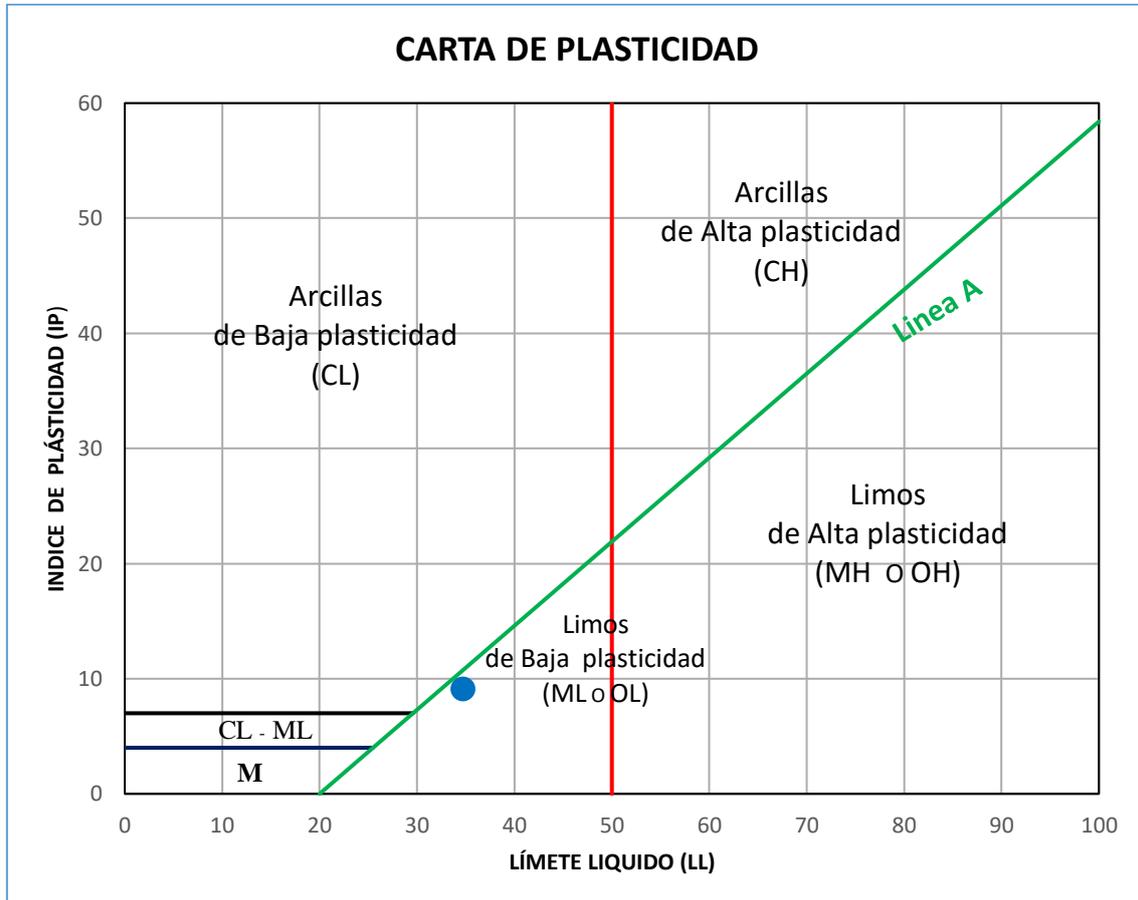
Propia.

De acuerdo con la Tabla 39 se identifica que al índice plasticidad según la MP y adición del 10% de agregado natural es del 9.06%.

3.3.1.2.1 Clasificación del Suelo

Figura 49

Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Clasificación del tipo de suelo de la muestra según carta de plasticidad. Fuente: Adaptación SUCS.

Se observa según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C. S) según la figura 49 se observa, la muestra patrón más el 10% de Agregado Natural que contiene Partículas de hierro, presenta limos de baja plasticidad (ML o OL).

Figura 50

Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación AAHSTO

En la Figura 50, se realizó clasificación de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro por el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), observando que el índice de plasticidad es 9.06% estando está por debajo de la línea A, clasificando como un suelo A-2-4, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas y gravas con un alto contenido de finos.

3.3.1.3. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 40

Peso específico relativo de sólidos de la muestra patrón más 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	M-1	M-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm ³	654.36	657.20
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm ³	714.65	717.32
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B/(B+C-D)))$)	gr/cm ³	2.52	2.51
G	Promedio del Peso Específico " γ_S "	gr/cm ³		2.51

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos para la muestra. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 40, la muestra patrón más 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.51 gr/cm³, estando dentro del rango 2.44 - 2.55 kg/cm³ (suelo arcilloso).

3.3.2. MP + adición al 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.3.2.1. Resultados del Ensayo de Análisis granulométrico

Tabla 41

Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

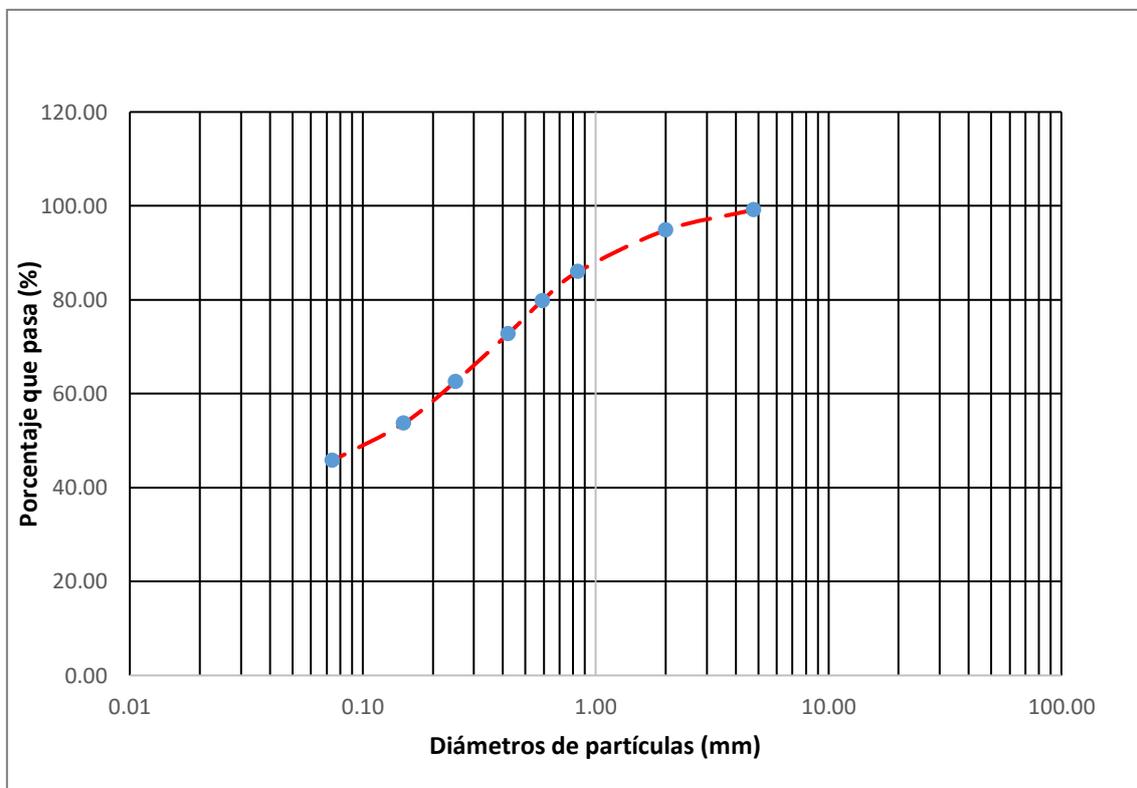
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura(mm)	Gramos (gr)	%	Peso Retenido %	% Que Pasa
N° 4	4.76	8.55	1.37	1.37	98.63
N°10	2	56.20	8.99	10.36	89.64
N°20	0.84	64.07	10.25	20.61	79.39
N°30	0.59	36.76	5.88	26.49	73.51
N°40	0.42	39.78	6.36	32.86	67.14
N°60	0.25	58.99	9.44	42.30	57.70
N° 100	0.15	46.43	7.43	49.72	50.28
N° 200	0.074	42.04	6.73	56.45	43.55
Perdida	Lavado	272.18	43.55	100.00	0.00
Peso Total (g)			625.00	100.00	

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 41 muestra que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es 43.55%, siendo inferior al 50%, indicando que es un suelo grueso de granulometría gruesa. Además, el porcentaje que pasa por la malla N° 4 es 98.63%, lo cual es mayor al 50%, siendo un tipo de suelo arenoso. De acuerdo al análisis granulométrico se puede determinar que este tipo de muestra presenta arena, con un módulo de finura 2.40%.

Figura 51

Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Elaboración propia

De la Figura 51 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.29$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, debido a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es de 43.55%, lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que la clasificación de este suelo se realizará mediante los límites de consistencia.

3.3.2.2. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 42

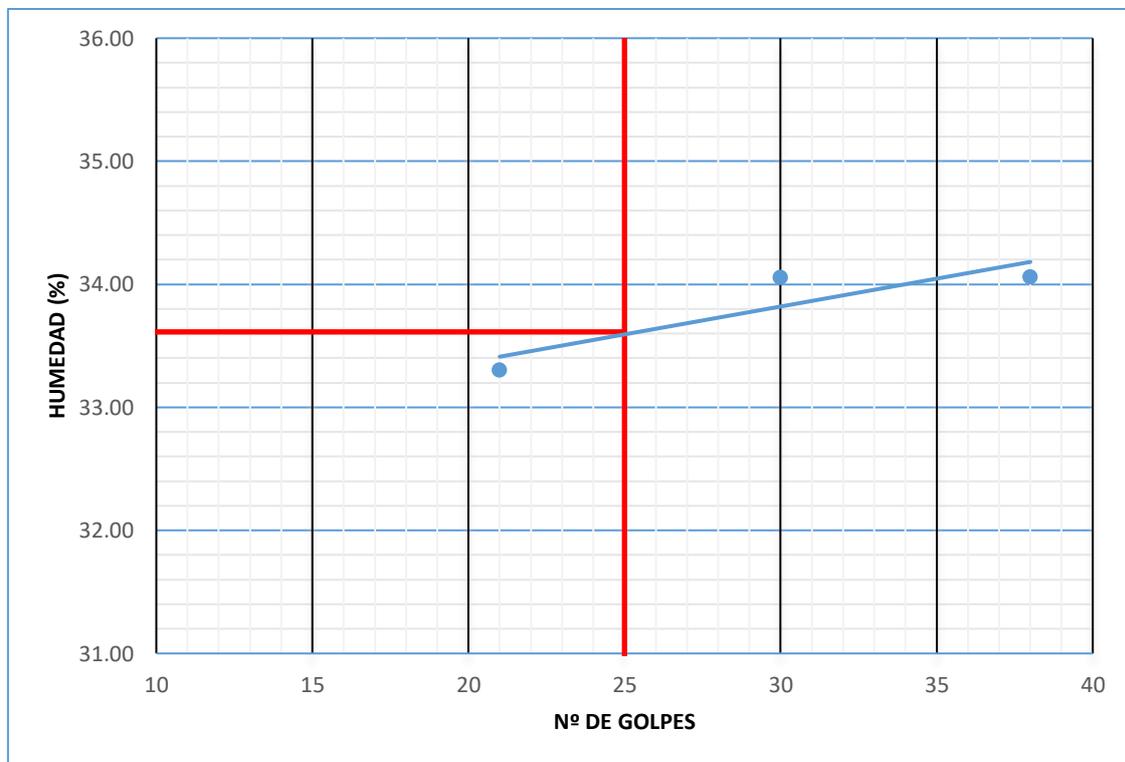
Límite líquido de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Determinación del límite líquido (LL)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-25 % -1	LL-25 % -2	LL-25 % -3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	55.87	52.94	52.88
C	Suelo seco + de recipiente	gr	48.87	46.32	46.30
D	Peso del recipiente	gr	27.85	26.88	26.98
E	Peso del agua (B-C)	gr	7.00	6.62	6.58
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	21.02	19.44	19.32
G	Número de golpes	N	21	30	38
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	33.30	34.05	34.06

Nota. Resultados del ensayo del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración propia

Figura 52

Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52, se ubicó los puntos que muestran el número de golpes obtenidos en el ensayo de límite líquido, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 33.61%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra con partículas de hierro (ver Tabla 42).

Tabla 43

Límite plástico de la muestra patrón más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Determinación del límite plástico (LP)					
I D	Descripción	UN D	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LP-25%-1	LP-25%- 2	LP-25%-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	48.03	47.52	49.30
C	Suelo seco + de recipiente	gr	43.82	43.17	45.01
D	Peso del recipiente	gr	27.67	26.37	27.75
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.21	4.35	4.29
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	16.15	16.80	17.26
G	Número de golpes	%	26.07	25.89	24.86
H	Promedio límite plástico	%	25.61%		

Nota. Determinación del límite plástico de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 43 se evidencia que el promedio del límite plástico de la MP más el 25% de agregado natural tiene un valor de 25.61%.

Tabla 44

Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	33.61%
Límite plástico	LP	25.61%
Índice de plasticidad	IP	8.01%

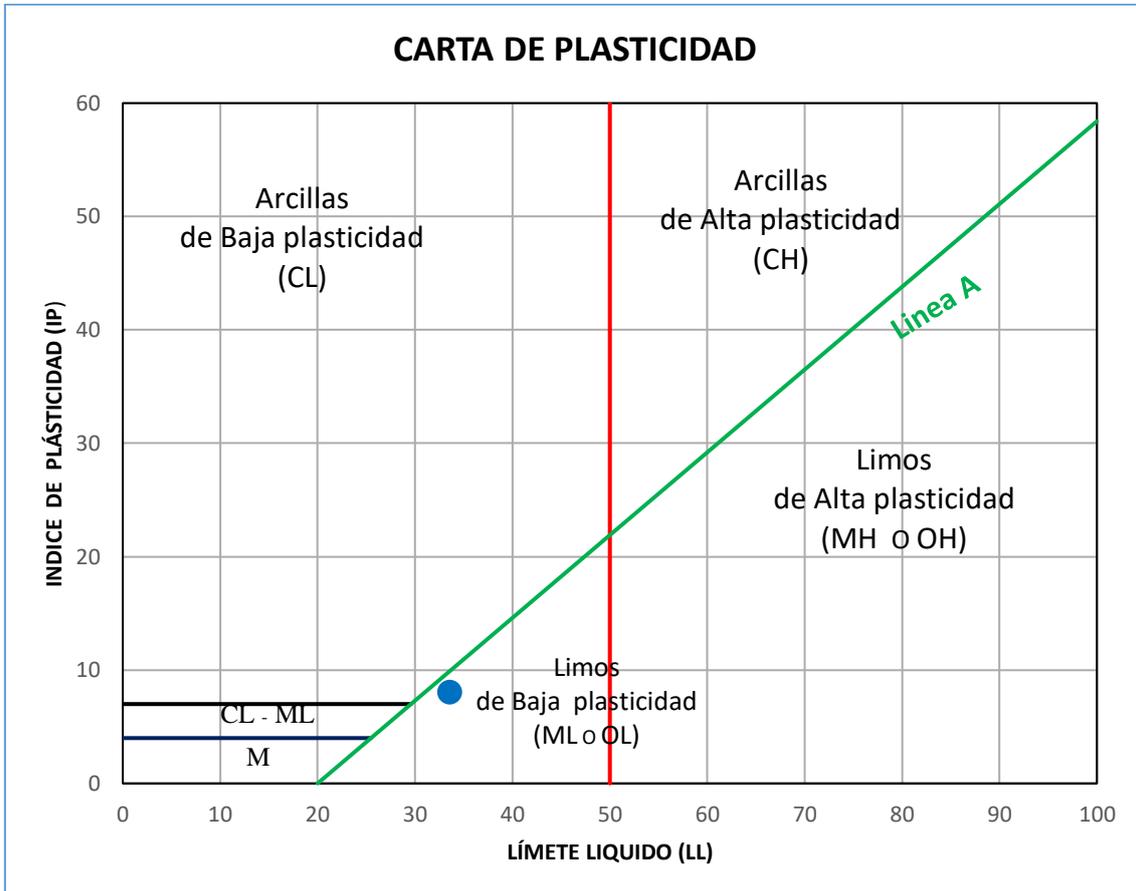
Nota. Determinación del índice de plasticidad de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 44 se demuestra que el índice de plasticidad para la MP más adición del 25% tiene un valor de 8.01%.

3.3.2.2.1 Clasificación del suelo

Figura 53

Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación SUCS.

Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C. S) en la figura 53 se observa, la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta limos de baja plasticidad (ML o OL).

Figura 54

Clasificación del material según AASHTO la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación AAHSTO

En la Figura 54, se realizó clasificación de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro por el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), observando que el índice de plasticidad es 8.01% estando está por debajo de la línea A, clasificando como un suelo A-2-4, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas y gravas con un alto contenido de finos.

3.3.2.3. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 45

Peso específico relativo de sólidos de la muestra patrón más 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	M-1	M-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm3	654.48	657.68
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm3	714.94	717.82
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B/(B+C-D)))$)	gr/cm3	2.53	2.51
G	Promedio del Peso Específico “ γ_S ”	gr/cm3		2.52

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos para la muestra. Fuente:

Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 45, la muestra patrón más 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.52 gr/cm3, estando dentro del rango 2.44 - 2.55 kg/cm3 (suelo arcilloso).

3.3.3. MP + adición al 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.3.3.1. Resultados del Ensayo de Análisis granulométrico

Tabla 46

Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

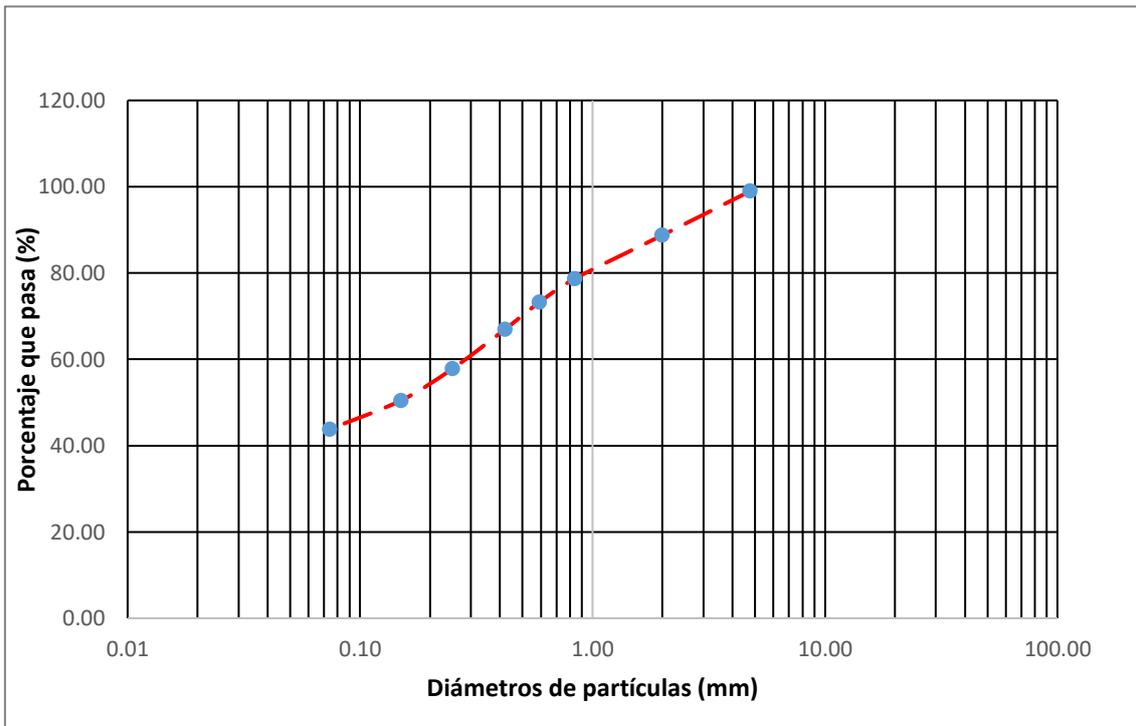
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura(mm)	Gramos (gr)	%	Peso Retenido %	% Que Pasa
Nº 4	4.76	7.80	1.04	1.04	98.96
Nº10	2	76.36	10.18	11.22	88.78
Nº20	0.84	75.56	10.07	21.30	78.70
Nº30	0.59	41.35	5.51	26.81	73.19
Nº40	0.42	46.79	6.24	33.05	66.95
Nº60	0.25	68.35	9.11	42.16	57.84
Nº 100	0.15	55.28	7.37	49.53	50.47
Nº 200	0.074	49.96	6.66	56.19	43.81
Perdida	Lavado	328.55	43.81	100.00	0.00
Peso Total (g)			750.00	100.00	

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 46 muestra que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es 43.81%, siendo inferior al 50%, lo cual indica que es un suelo grueso de granulometría gruesa. Además, el porcentaje que pasa por la malla N° 4 es 98.96%, lo cual es mayor al 50%, siendo un tipo de suelo arenoso. De acuerdo al análisis granulométrico se puede determinar que este tipo de muestra presenta arena, con un módulo de finura 2.41%.

Figura 55

Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Elaboración propia

De la Figura 55 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.29$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, debido a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es de 43.81%, lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que la clasificación de este suelo se realizará mediante los límites de consistencia.

3.3.3.2. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 47

Límite líquido de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

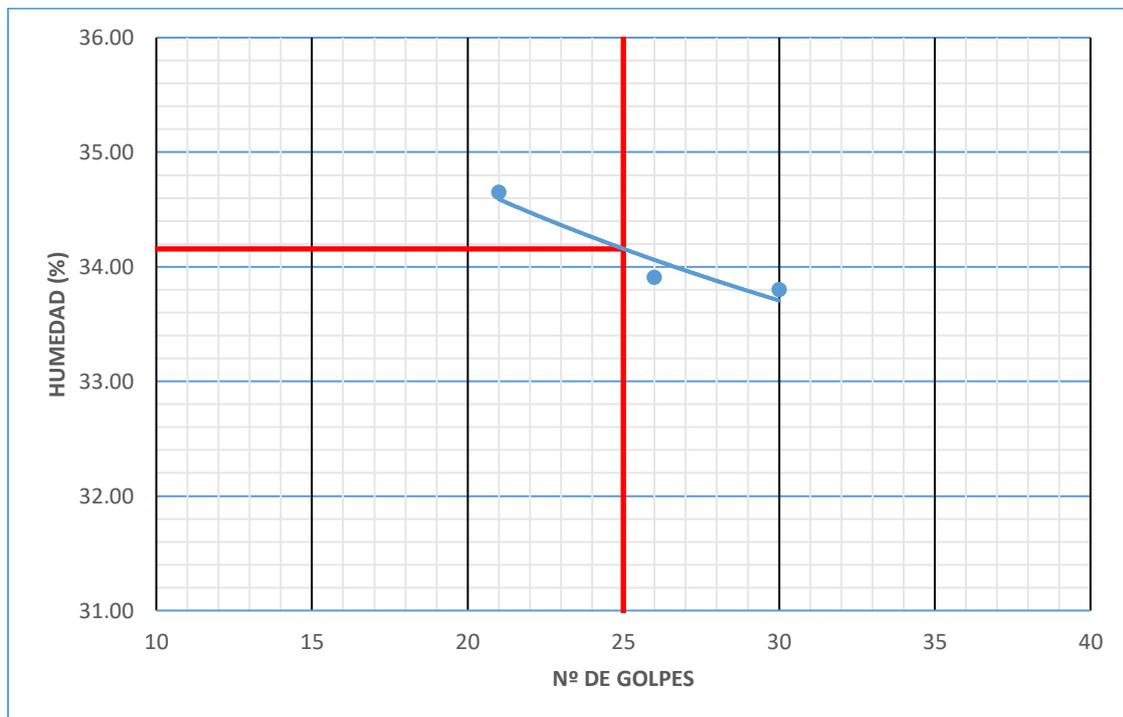
Determinación del límite líquido (LL)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-50 % -1	LL-50 % -2	LL-50 % -3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	54.19	55.49	51.61
C	Suelo seco + de recipiente	gr	47.18	48.37	45.56
D	Peso del recipiente	gr	26.95	27.37	27.66
E	Peso del agua (B-C)	gr	7.01	7.12	6.05
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	20.23	21.00	17.90
G	Número de golpes	N	21	26	30
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	34.65	33.90	33.80

Nota. Resultados del ensayo del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración

propia.

Figura 56

Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.



Nota. Determinación del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 56, se ubicó los puntos que muestran el número de golpes obtenidos en el ensayo de límite líquido, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 34.16%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra con partículas de hierro (ver Tabla 47).

Tabla 48

Límite plástico de la muestra patrón más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Determinación del límite plástico (LP)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	N.º	LP-50%-1	LP-50%-2	LP-50%-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	48.62	48.86	49.07
C	Suelo seco + de recipiente	gr	44.23	44.20	44.35
D	Peso del recipiente	gr	27.64	26.78	26.61
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.39	4.66	4.72
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	16.59	17.42	17.74
G	Número de golpes	%	26.46	26.75	26.61
H	Promedio límite plástico	%		26.61%	

Nota. Determinación del límite plástico de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49

Índice de plasticidad para la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro

TIPO DE ENSAYO	ID	PORCENTAJE DE HUMEDAD
Límite líquido	LL	34.16%
Límite plástico	LP	26.61%
Índice de plasticidad	IP	7.55%

Nota. Determinación del índice de plasticidad de la muestra. Fuente: Elaboración

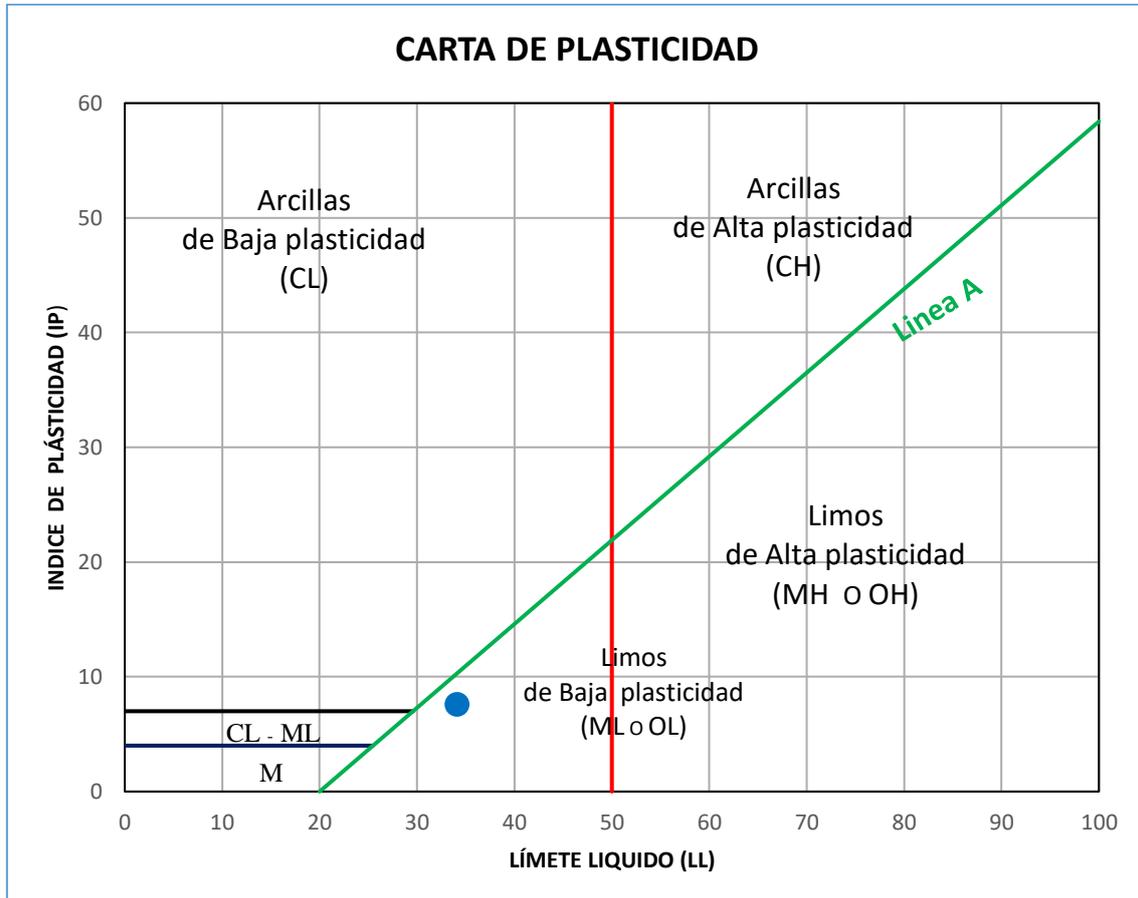
propia.

Según la Tabla 48 se evidencia que el límite plástico promedio para la MP más el 50% de agregado natural tiene un valor de 26.61%. También, respecto a la Tabla 49 se tiene que el índice de plasticidad es de 7.55%.

3.3.3.2.1 Clasificación del Suelo

Figura 57

Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: adaptación SUCS

En la Figura 57 se observa que según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta limos de baja plasticidad (ML o OL).

Figura 58

Clasificación del Material según AASHTO de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra Fuente: Adaptación AAHSTO

En la Figura 58, se realizó clasificación de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro por el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), observando que el índice de plasticidad es 7.55% estando está por debajo de la línea A, clasificando como un suelo A-2-4, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas y gravas con un alto contenido de finos.

3.3.3.3. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 50

Peso específico relativo de sólidos para la muestra patrón más 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	M-1	M-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm ³	654.39	657.38
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm ³	715.11	717.97
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B/(B+C-D)))$)	gr/cm ³	2.55	2.54
G	Promedio del Peso Específico "γS"	gr/cm ³		2.54

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 50, la muestra patrón más 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.54 gr/cm³, estando dentro del rango 2.44 - 2.55 kg/cm³ (suelo arcilloso).

3.3.4. MP + adición al 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.3.4.1. Resultados del Ensayo de Análisis granulométrico

Tabla 51

Análisis granulométrico de la muestra patrón más adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

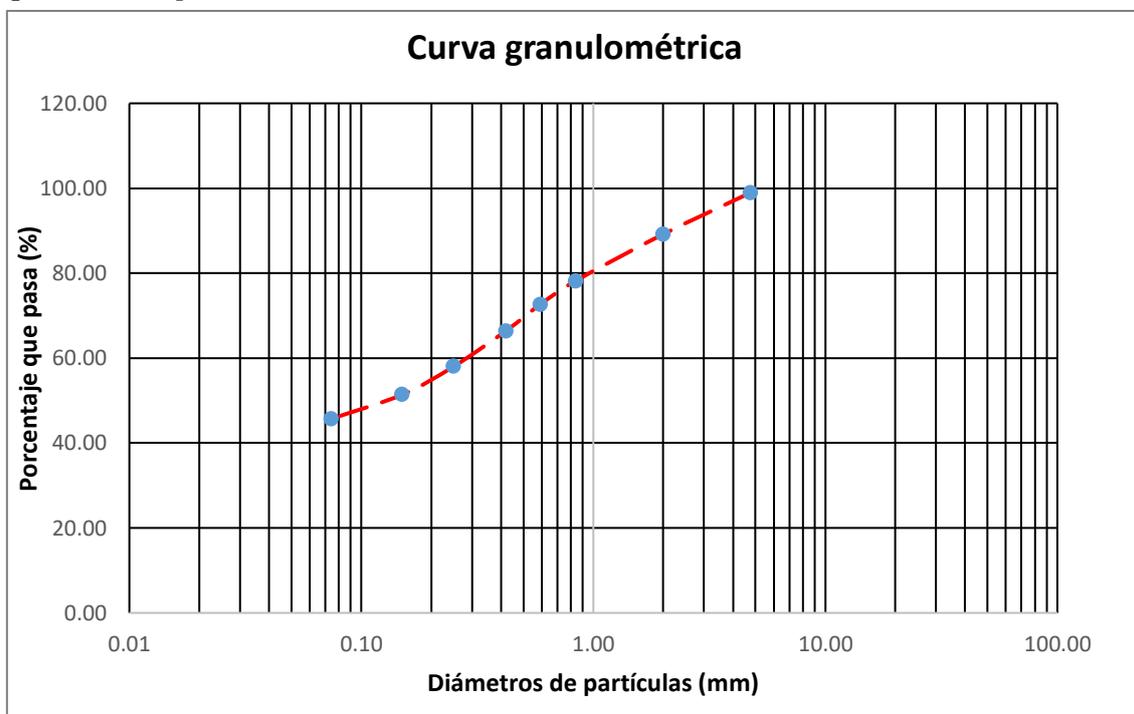
Tamiz ASTM		Peso retenido		% Acumulado	
Malla	Abertura (mm)	Gramos (gr)	%	Peso retenido %	% que pasa
N° 4	4.76	9.17	1.05	1.05	98.95
N°10	2	85.58	9.78	10.83	89.17
N°20	0.84	95.95	10.97	21.79	78.21
N°30	0.59	48.82	5.58	27.37	72.63
N°40	0.42	54.34	6.21	33.58	66.42
N°60	0.25	73.35	8.38	41.97	58.03
N° 100	0.15	58.08	6.64	48.60	51.40
N° 200	0.074	50.05	5.72	54.32	45.68
Perdida	Lavado	399.66	45.68	100.00	0.00
Peso Total (g)			875.00	100.00	

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 51 muestra que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es 45.68%, siendo menor al 50%, lo cual indica que es un suelo grueso de granulometría gruesa. Además, el porcentaje que pasa por la malla N° 4 es 98.95%, lo cual es mayor al 50%, siendo un tipo de suelo arenoso. De acuerdo al análisis granulométrico se puede determinar que este tipo de muestra presenta arena, con un módulo de finura 2.40%.

Figura 59

Curva granulométrica de la muestra patrón más adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Elaboración propia

De la Figura 59 se observa que: $D_{10}=0$; $D_{30}=0$ y $D_{60}=0.29$, los valores D_{10} y D_{30} son cero, debido a que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es de 45.68%, lo cual no permite determinar los valores del coeficiente de uniformidad (C_u), ni el coeficiente de curvatura (C_c), por lo que la clasificación de este suelo se realizará mediante los límites de consistencia.

3.3.4.2. Resultados del Ensayo de Límites de Consistencia

Tabla 52

Límite líquido de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

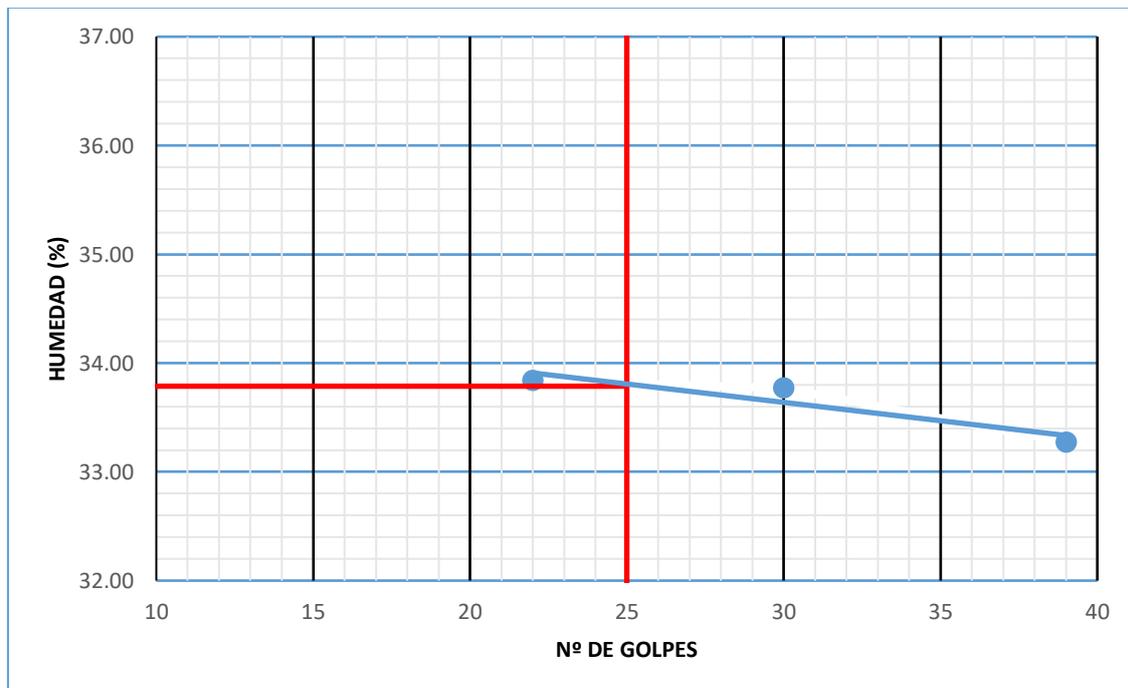
Determinación del límite líquido (LL)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	Nº	LL-75 % -1	LL-75 % -2	LL-75 % -3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	57.46	54.68	56.82
C	Suelo seco + de recipiente	gr	49.87	48.00	49.60
D	Peso del recipiente	gr	27.44	28.22	27.90
E	Peso del agua (B-C)	gr	7.59	6.68	7.22
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	22.43	19.78	21.70
G	Número de golpes	N	22	30	39
H	Contenido de humedad (E/F) *100	%	33.84	33.77	33.27

Nota. Resultados del ensayo del límite líquido de la muestra. Fuente: Elaboración

propia.

Figura 60

Límites de Atterberg de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.



Nota. Determinación del límite líquido de la muestra. Fuente: propia.

En la Figura 60, se ubicó los puntos que muestran el número de golpes obtenidos en el ensayo de límite líquido, posteriormente se trazó la línea tendencia y ubicando una línea de intersección en el golpe número de 25, arrojó un contenido de humedad de 33.79%, siendo este mismo valor el límite líquido de la muestra con partículas de hierro (ver Tabla 52).

Tabla 53

Límite plástico de la muestra patrón más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro.

Determinación del límite plástico (LP)					
ID	Descripción	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente	N.º	LP-75%-1	LP-75%-2	LP-75%-3
B	Suelo húmedo + de recipiente	gr	49.42	50.15	50.96
C	Suelo seco + de recipiente	gr	44.94	45.67	46.26
D	Peso del recipiente	gr	26.91	27.85	27.57
E	Peso del agua (B-C)	gr	4.48	4.48	4.70
F	Peso del suelo seco (C-D)	gr	18.03	17.82	18.69
G	Número de golpes	%	24.85	25.14	25.15
H	Promedio límite plástico	%		25.04%	

Nota. Determinación del límite plástico de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 53 se evidencia que el promedio del límite plástico de la MP más el 75% de agregado natural tiene un valor de 25.04%.

Tabla 54

Índice de Plasticidad Para la Muestra Patrón más el 75 % de Agregado Natural que Contiene Partículas de Hierro.

TIPO DE ENSAYO	ID	PORCENTAJE DE HUMEDAD
Límite líquido	LL	33.79%
Límite plástico	LP	25.04%
Índice de plasticidad	IP	8.74%

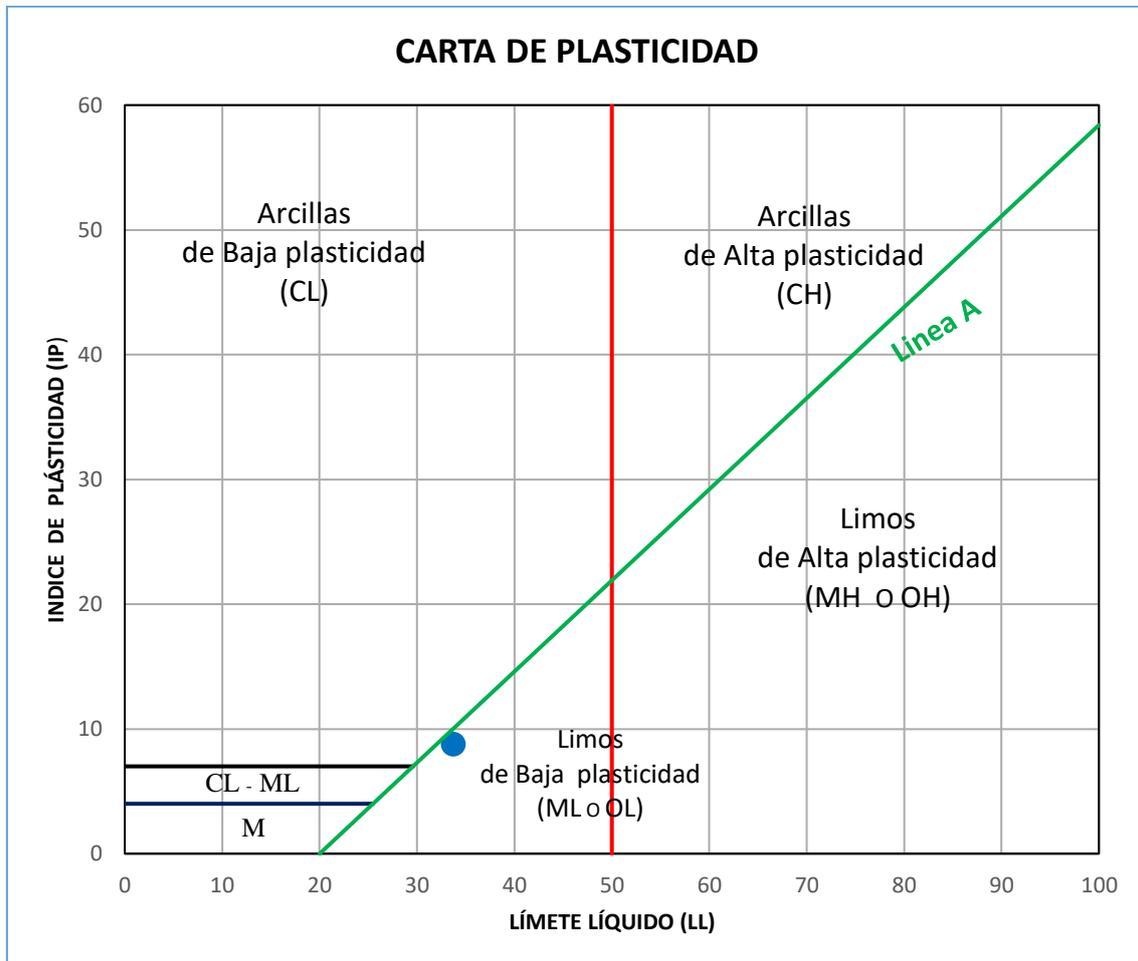
Nota. Determinación del índice de plasticidad de la muestra. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 54 se demuestra que el índice de plasticidad para la MP más adición del 75% tiene un valor de 8.74%.

3.3.4.2.1 Clasificación del suelo

Figura 61

Clasificación Unificada de Suelos S.U.C.S de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación SUCS

En la Figura 61 se observa que según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C. S), la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta limos de baja plasticidad (ML o OL).

Figura 62

Clasificación del material según AASHTO de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro



Nota. Determinación y clasificación del tipo de suelo de la muestra. Fuente: Adaptación AAHSTO

En la Figura 62, se realizó clasificación de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro por el método American Association of State Highway and Transportation Officials (AAHSTO), observando que el índice de plasticidad es 8.74% estando está por debajo de la línea A, clasificando como un suelo A-2-4, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o barrosos. Arenas y gravas con un alto contenido de finos.

3.3.4.3. Resultados del Ensayo de Peso específico

Tabla 55

Peso específico relativo de sólidos para la muestra patrón más 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Peso específico de arena gruesa y grava				
ID	Descripción	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra	-	M-1	M-2
B	Peso de la Muestra Seca	gr	100.00	100.00
C	Peso de la Fiola + Agua (500 mm)	cm3	654.45	656.82
D	Peso de la Fiola + Agua + Muestra Seca	cm3	715.65	719.13
F	Peso Específico ($\gamma_S = ((B/(B+C-D)))$)	gr/cm3	2.65	2.65
G	Promedio del Peso Específico " γ_S "	gr/cm3	2.65	

Nota. Resultados del peso específico relativo de sólidos de la muestra. Fuente:

Elaboración propia.

De acuerdo a la Tabla 55, la muestra patrón más 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro tiene un peso específico relativo de sólido promedio de 2.65 gr/cm³, aproximándose al rango 2.75 – 3.00 kg/cm³ (suelo con hierro).

3.4. Elaboración de ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

Se ha elaborado el ladrillo artesanal empleando adiciones de acuerdo al procesamiento planteado y ello se detalla en las propiedades físicas y mecánicas encontradas. Se evidencia a mediante la Figura 64.

Figura 63

Elaboración de ladrillos artesanales



Nota. Proceso de elaboración de ladrillos con MP y adición al 10%, 25%, 50% y 75%.
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Determinación de las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH)

3.5.1. Muestra patrón

3.5.1.1. Resultados del Ensayo de Variación dimensional

Tabla 56
Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP - Largo (mm).

Muestra	Largo(mm)					Resultados por cada unidad		
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
MP-1	216.00	212.00	218.00	217.00	215.75	2.63	1.22	1.22%
MP-2	216.80	217.30	215.40	216.00	216.38	0.84	0.39	0.39%
MP-3	215.00	212.90	215.50	214.00	214.35	1.15	0.54	0.54%
MP-4	215.30	215.40	214.60	215.90	215.30	0.54	0.25	0.25%
MP-5	212.40	211.40	212.40	215.00	212.80	1.54	0.72	0.72%
MP-6	215.80	215.70	215.40	215.30	215.55	0.24	0.11	0.11%
MP-7	214.50	214.00	215.00	215.50	214.75	0.65	0.30	0.30%
MP-8	211.50	213.00	217.80	218.00	215.08	3.32	1.54	1.54%
MP-9	213.30	215.30	218.10	216.00	215.68	1.98	0.92	0.92%
MP-10	214.30	214.00	216.20	215.80	215.08	1.09	0.51	0.51%
	Promedio =				215.07			
	δ =				0.98			
	Coef. Var.=				0.45			
	Lfábrica=				220.00			
	V (%) =				2.24			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la Tabla 56 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP presenta un largo promedio de 215.07 mm, una desviación estándar de 0.98, un coeficiente de variación del 0.45 y una variación dimensional del 2.24 %.

Tabla 57

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP - Ancho (mm).

Muestra	Ancho(mm)					Resultados por cada unidad		
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
MP-1	125.40	126.00	127.30	128.30	126.75	1.30	1.03	1.03%
MP-2	128.60	128.50	129.50	130.00	129.15	0.72	0.56	0.56%
MP-3	124.40	124.30	126.70	126.70	125.53	1.36	1.08	1.08%
MP-4	127.80	128.50	125.40	126.40	127.03	1.39	1.10	1.10%
MP-5	121.50	121.50	121.80	121.90	121.68	0.21	0.17	0.17%
MP-6	127.90	129.40	128.90	129.20	128.85	0.67	0.52	0.52%
MP-7	125.00	125.30	127.10	127.30	126.18	1.19	0.95	0.95%
MP-8	124.80	125.20	128.80	128.70	126.88	2.17	1.71	1.71%
MP-9	125.00	124.70	127.60	127.60	126.23	1.59	1.26	1.26%
MP-10	128.30	128.60	128.40	128.50	128.45	0.13	0.10	0.10%
	Promedio =				126.67			
	δ =				2.13			
	Coef.				1.68			
	Var=							
	Lfábrica=				130.00			
	V (%) =				2.56			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 57 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP presentan un ancho promedio de 126.67 mm, una desviación estándar de 2.13, un coeficiente de variación del 1.68 y una variación dimensional del 2.56 %.

Tabla 58
Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP – Altura (mm).

Muestra	Altura (mm)				Resultados por cada unidad			
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
MP-1	76.80	76.00	78.50	77.40	77.18	1.05	1.62	1.36%
MP-2	78.30	79.40	77.90	78.70	78.58	0.64	0.96	0.81%
MP-3	78.30	76.20	74.50	77.30	76.58	1.63	1.84	2.13%
MP-4	80.80	76.40	74.50	76.90	77.15	2.64	1.64	3.43%
MP-5	77.80	76.30	79.00	76.30	77.35	1.31	2.02	1.69%
MP-6	77.30	77.90	77.70	77.00	77.48	0.40	0.61	0.52%
MP-7	78.10	78.20	77.00	74.50	76.95	1.72	2.45	2.24%
MP-8	74.80	76.00	77.10	76.00	75.98	0.94	0.84	1.24%
MP-9	75.20	78.00	76.80	76.50	76.63	1.15	1.04	1.50%
MP-10	76.00	76.00	77.50	77.60	76.78	0.90	1.17	1.17%
Promedio =					77.06			
δ =					0.69			
Coef. Var=					0.89			
Lfábrica=					80.00			
V (%) =					3.67			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 58, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP presentan una Altura promedio de 77.06 mm, una desviación estándar de 0.69, un coeficiente de variación del 0.89 y una variación dimensional del 3.67 %.

3.5.1.2. Resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 59
Alabeo de los ladrillos artesanales de la MP

MUESTRA MP	CARA A		CARA B		ALABEO	
	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M-1	1.25	2.25	0.00	5.38	0.63	3.82
M-2	0.00	2.80	0.00	0.00	0.00	1.40
M-3	0.00	2.50	0.00	2.63	0.00	2.57
M-4	0.00	1.67	0.00	1.50	0.00	1.59
M-5	0.00	1.17	1.50	1.88	0.75	1.53
M-6	0.00	1.50	1.00	2.25	0.50	1.88
M-7	0.00	2.17	2.50	1.75	1.25	1.96
M-8	2.50	3.00	0.00	3.63	1.25	3.32
M-9	1.50	3.50	1.50	3.75	1.50	3.63
M-10	0.00	1.25	2.00	2.25	1.00	1.75
				Promedio	0.69	2.34

Nota. Resultados del ensayo de alabeo. Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la Tabla 59, del ensayo de Alabeo de los ladrillos artesanales elaborados con la muestra patrón, presentan una concavidad de 0.69 mm y una convexidad de 2.34 mm.

3.5.1.3. Resultados del Ensayo de Absorción

Tabla 60
Absorción de los ladrillos artesanales de la MP

Muestra MP	Peso Sumergido (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción %
M-1	1.830	3.564	3.255	178.20	9.49
M-2	1.686	3.563	3.038	279.70	17.28
M-3	1.697	3.541	3.035	274.40	16.67
M-4	1.666	3.523	2.998	282.71	17.51
M-5	1.385	3.079	2.495	344.75	23.41
			Promedio =	271.95	16.87

Nota. Resultados del ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 60 del ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la muestra patrón, se determinó que la muestra presenta una absorción de 271.95 kg/m³, equivalente al 16.87 %.

3.5.1.4. Resultados del Ensayo de Succión

Tabla 61

Succión de los ladrillos artesanales de la MP

Muestra MP	Peso Seco (g)	Peso Mojado (g)	Pm-Ps (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Succión (g/200cm ² /min)
M-1	3251.80	3324.00	72.20	12.57	21.40	269.00	53.68
M-2	3031.10	3141.00	109.90	12.86	21.71	279.02	78.78
M-3	3029.70	3079.40	49.70	12.44	21.40	266.05	37.36
M-4	2995.20	3088.40	93.20	12.82	21.54	275.97	67.54
M-5	2487.00	2594.50	107.50	12.15	21.19	257.46	83.51
Promedio =							64.17

Nota. Resultados del ensayo de succión de los ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 61 del ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón, se determinó que la muestra presenta una succión de 64.17 g/200cm²/min.

3.5.2. MP + 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.5.2.1. Resultados del Ensayo de Variación Dimensional

Tabla 62

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo (mm).

MUESTRA	LARGO(MM)					RESULTADOS POR CADA UNIDAD		
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	213.20	213.00	213.70	213.70	213.40	0.36	0.17	0.17%
M-2	212.00	212.20	212.40	214.20	212.70	1.01	0.48	0.48%
M-3	213.00	214.40	212.60	214.10	213.53	0.86	0.40	0.40%
M-4	213.50	212.50	213.00	212.00	212.75	0.65	0.30	0.30%
M-5	212.50	213.00	213.00	213.00	212.88	0.25	0.12	0.12%
M-6	213.10	214.30	218.60	213.30	214.83	2.57	1.20	1.20%
M-7	213.70	214.60	217.70	218.10	216.03	2.20	1.02	1.02%
M-8	213.20	214.40	215.30	214.70	214.40	0.88	0.41	0.41%
M-9	213.30	213.80	216.30	216.70	215.03	1.72	0.80	0.80%
M-10	214.30	213.30	214.90	215.30	214.45	0.87	0.41	0.41%
	Promedio =				214.00			
	δ =				1.12			
	Coef.				0.52			
	Var=							
	Lfábrica=				220.00			
	V (%) =				2.73			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados en la Tabla 62 se muestra, el ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un largo promedio de 214 mm, una desviación estándar de 1.12, un coeficiente de variación del 0.52 y una variación dimensional del 2.73 %.

Tabla 63

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Ancho (mm).

MUESTRA	ANCHO (MM)					RESULTADOS POR CADA UNIDAD		
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	127.00	126.50	125.60	126.60	126.43	0.59	0.47	0.47%
M-2	127.00	126.00	125.30	125.80	126.03	0.71	0.57	0.57%
M-3	126.50	127.40	127.30	126.30	126.88	0.56	0.44	0.44%
M-4	127.60	128.20	124.50	125.30	126.40	1.78	1.41	1.41%
M-5	128.00	127.40	125.40	124.60	126.35	1.61	1.28	1.28%
M-6	127.50	127.50	125.40	125.70	126.53	1.13	0.90	0.90%
M-7	128.80	128.70	125.30	125.50	127.08	1.94	1.52	1.52%
M-8	126.50	125.20	127.50	128.40	126.90	1.37	1.08	1.08%
M-9	127.00	127.30	125.00	126.00	126.33	1.04	0.83	0.83%
M-10	128.40	127.10	125.00	125.30	126.45	1.60	1.26	1.26%
	Promedio =				126.54			
	δ =				0.32			
	Coef.				0.25			
	Var=							
	Lfábrica=				130.00			
	V (%) =				2.67			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 63, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro teniendo un ancho promedio de 126.54 mm, una desviación estándar de 0.32, un coeficiente de variación del 0.25 y una variación dimensional del 2.67 %.

Tabla 64

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 10 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Altura (mm).

MUESTRA	ALTURA (MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	Coef. Var.	V(%)
M-1	77.30	76.00	76.00	75.50	76.20	0.77	1.01	1.01%
M-2	77.00	77.70	76.80	77.20	77.18	0.39	0.50	0.50%
M-3	78.60	77.40	77.50	75.60	77.28	1.24	1.61	1.61%
M-4	75.60	75.80	76.60	75.00	75.75	0.66	0.87	0.87%
M-5	74.60	75.00	75.20	75.20	75.00	0.28	0.38	0.38%
M-6	77.00	75.80	75.40	75.50	75.93	0.74	0.97	0.97%
M-7	76.50	74.50	76.80	77.90	76.43	1.42	1.85	1.85%
M-8	77.50	76.50	75.20	77.50	76.68	1.09	1.42	1.42%
M-9	77.50	77.30	77.20	76.30	77.08	0.53	0.69	0.69%
M-10	77.00	76.40	76.00	77.00	76.60	0.49	0.64	0.64%
Promedio =					76.41			
δ =					0.71			
Coef. Var.=					0.93			
Lfábrica=					80.00			
V (%) =					4.49			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 64, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan una altura promedio de 76.41 mm, una desviación estándar de 0.71, un coeficiente de variación del 0.93 y una variación dimensional del 4.49 %.

3.5.2.2. Resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 65

Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

MUESTRA MP+10%MH	CARA A		CARA B		ALABEO		
	ID	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M-1		0.00	2.50	0.00	3.00	0.00	2.75
M-2		0.00	1.50	0.00	5.50	0.00	3.50
M-3		0.00	2.50	1.50	3.00	0.75	2.75
M-4		0.00	3.50	0.00	3.50	0.00	3.50
M-5		0.00	4.00	0.00	3.00	0.00	3.50
M-6		0.00	4.75	2.50	0.00	1.25	2.38
M-7		0.00	2.50	0.00	3.38	0.00	2.94
M-8		0.00	2.83	2.25	1.50	1.13	2.17
M-9		0.00	1.25	0.00	1.33	0.00	1.29
M-10		0.00	3.50	1.50	2.50	0.75	3.00
					Promedio	0.39	2.78

Nota. Resultados del ensayo de alabeo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la tabla N°65, del ensayo de alabeo del ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presentan una concavidad de 0.40mm y una convexidad de 2.78mm.

3.5.2.3. Resultados del Ensayo de Absorción

Tabla 66

Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+10%MH	Peso Sumergido (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (Kg/m3)	Absorción %
M-1	1.874	3.750	3.283	248.93	14.22
M-2	1.907	3.809	3.355	238.70	13.53

M-3	1.892	3.802	3.331	246.60	14.14
M-4	1.874	3.731	3.279	243.40	13.78
M-5	1.863	3.743	3.275	248.94	14.29
Promedio =				245.31	13.99

Nota. Resultados del ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla N°66 del ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, se determinó que la muestra presenta una absorción de 245.31 kg/m³, equivalente al 13.99%.

3.5.2.4. Resultados del Ensayo de Succión

Tabla 67

Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra	Peso Seco (g)	Peso Mojado (g)	Pm-Ps (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm ²)	Succión (g/200/min)
M-1	3279.40	3323.70	44.30	12.68	21.31	270.10	32.80
M-2	3350.70	3388.20	37.50	12.65	21.21	268.31	27.95
M-3	3331.20	3370.80	39.60	12.70	21.37	271.29	29.19
M-4	3276.10	3317.30	41.20	12.79	21.30	272.43	30.25
M-5	3272.40	3322.00	49.60	12.77	21.28	271.68	36.51
Promedio =							31.34

Nota. Resultados del ensayo de succión. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 67 del ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro se determinó que la muestra presenta una succión de 31.34 g/200cm²/min.

3.5.3. MP + 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.5.3.1. Resultados del Ensayo de Variación dimensional

Tabla 68

Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm)

MUESTRA	LARGO(MM)					RESULTADOS POR CADA UNIDAD		
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	217.40	216.90	217.00	219.00	217.58	0.97	0.45	0.45%
M-2	214.00	216.00	214.50	215.50	215.00	0.91	0.42	0.42%
M-3	215.20	215.30	218.70	218.90	217.03	2.05	0.95	0.95%
M-4	216.50	215.30	217.80	215.20	216.20	1.22	0.56	0.56%
M-5	214.40	213.20	215.70	216.60	214.98	1.49	0.69	0.69%
M-6	214.70	216.30	216.50	215.50	215.75	0.82	0.38	0.38%
M-7	214.30	214.00	216.70	217.50	215.63	1.74	0.81	0.81%
M-8	217.00	217.80	217.10	217.90	217.45	0.47	0.21	0.21%
M-9	214.60	213.50	215.80	214.80	214.68	0.94	0.44	0.44%
M-10	215.70	216.90	214.50	214.30	215.35	1.20	0.56	0.56%
	Promedio =				215.96			
	δ =				1.06			
	Coef. Var.=				0.49			
	Lfábrica=				220.00			
	V (%) =				1.84			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 68, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un largo promedio de 215.96 mm, una desviación estándar de 1.06, un coeficiente de variación del 0.49 y una variación dimensional del 1.84 %.

Tabla 69

Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado

natural que contiene partículas de hierro - Ancho(mm)

MUESTRA	ANCHO(MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	130.20	129.20	126.20	126.80	128.10	1.91	1.49	1.49%
M-2	129.70	128.20	125.20	125.50	127.15	2.17	1.71	1.71%
M-3	129.70	129.60	125.30	126.60	127.80	2.20	1.72	1.72%
M-4	128.20	128.70	126.40	125.50	127.20	1.50	1.18	1.18%
M-5	127.60	128.00	126.00	127.00	127.15	0.87	0.68	0.68%
M-6	130.50	128.60	127.30	128.40	128.70	1.33	1.03	1.03%
M-7	129.70	130.00	130.00	130.20	129.98	0.21	0.16	0.16%
M-8	130.00	130.30	130.20	130.00	130.13	0.15	0.12	0.12%
M-9	134.60	138.20	124.40	126.00	130.80	6.66	5.09	5.09%
M-10	127.00	127.00	127.30	127.70	127.25	0.33	0.26	0.26%
	Promedio =				128.43			
	δ =				1.40			
	Coef. Var=				1.09			
	Lfabrica=				130.00			
	V (%) =				1.21			

Nota: Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 69, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un ancho promedio de 128.43 mm, una desviación estándar de 1.40, un coeficiente de variación del 1.09 y una variación dimensional del 1.21%.

Tabla 70

Variación dimensional del ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado

natural que contiene partículas de hierro - Altura(mm).

Muestra	Altura (mm)				H Prom	Resultados por cada unidad		
	A1	A2	A3	A4		δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	76.00	74.00	76.90	78.00	76.23	1.69	2.22	2.22%
M-2	75.30	74.60	77.00	76.20	75.78	1.05	1.38	1.38%
M-3	75.00	74.60	76.70	74.40	75.18	1.05	1.39	1.39%
M-4	76.50	75.70	76.50	74.20	75.73	1.08	1.43	1.43%
M-5	75.50	75.30	76.60	78.00	76.35	1.24	1.62	1.62%
M-6	75.00	72.70	74.50	77.40	74.90	1.94	2.59	2.59%
M-7	75.00	76.10	75.80	74.82	75.43	0.62	0.82	0.82%
M-8	74.90	77.00	73.90	73.30	74.78	1.62	2.17	2.17%
M-9	75.00	74.70	75.60	76.30	75.40	0.71	0.94	0.94%
M-10	73.60	75.30	76.50	74.80	75.05	1.20	1.60	1.60%
			Prom. =			75.48		
			δ =			0.54		
			Coef. Var=			0.71		
			Lfábrica=			80.00		
			V (%) =			5.65		

Nota: Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 70, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan una altura promedio de 75.48 mm, una desviación estándar de 0.54, un coeficiente de variación del 0.71 y una variación dimensional del 5.65%.

3.5.3.2. Resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 71

Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

MUESTRA MP+25%MH	CARA A		CARA B		ALABEO		
	ID	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M-1		0.00	2.50	2.00	1.13	1.00	1.82
M-2		0.00	3.25	2.00	2.00	1.00	2.63
M-3		1.50	1.50	0.00	2.13	0.75	1.82
M-4		0.00	2.88	3.00	2.25	1.50	2.57
M-5		0.00	1.50	0.00	1.63	0.00	1.57
M-6		2.50	2.00	1.50	1.50	2.00	1.75
M-7		1.50	2.13	1.00	1.88	1.25	2.01
M-8		0.00	2.88	2.50	1.67	1.25	2.28
M-9		2.67	2.13	1.00	0.00	1.84	1.07
M-10		1.25	2.13	0.00	1.83	0.63	1.98
					Promedio	1.12	1.95

Nota. Resultados del ensayo de alabeo. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 71 se observan los resultados, del ensayo de alabeo del ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presentan una concavidad de 1.12 mm y una convexidad de 1.92mm.

3.5.3.3. Resultados del Ensayo de Absorción

Tabla 72

Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+25%MH	Peso Sumergido (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (Kg/m3)	Absorción %
M-1	1.886	3.821	3.334	251.68	14.61
M-2	1.854	3.756	3.256	262.88	15.36

M-3	1.831	3.713	3.228	257.70	15.02
M-4	1.831	3.706	3.234	251.73	14.59
M-5	1.854	3.778	3.283	257.28	15.08
Promedio =				256.26	14.93

Nota. Resultados del ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 72 del ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro, se determinó que la muestra presenta una absorción de 256.26 kg/m³, equivalente al 14.93%.

3.5.3.4. Resultados del Ensayo de Succión

Tabla 73

Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+25%MH	Peso Seco (g)	Peso Mojado (g)	Pm-Ps (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm²)	Succión (g/200/min)
M-1	3330.50	3376.10	45.60	12.97	21.72	281.64	32.38
M-2	3252.40	3316.00	63.60	12.90	21.50	277.24	45.88
M-3	3224.70	3303.90	79.20	12.97	21.53	279.07	56.76
M-4	3230.30	3281.60	51.30	12.85	21.59	277.32	37.00
M-5	3281.10	3336.40	55.30	12.78	21.38	273.24	40.48
Promedio =							42.50

Nota. Resultados del ensayo de succión. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 73 del ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro se determinó que la muestra presenta una succión de 42.50 g/200cm²/min.

3.5.4. MP + 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.5.4.1. Resultados del Ensayo de Variación dimensional

Tabla 74

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm).

MUESTR A	LARGO(MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	219.30	218.00	219.10	220.80	219.30	1.15	0.53	0.53%
M-2	216.50	217.00	219.30	219.80	218.15	1.64	0.75	0.75%
M-3	217.50	217.80	219.90	219.20	218.60	1.14	0.52	0.52%
M-4	219.70	218.50	220.00	218.70	219.23	0.74	0.34	0.34%
M-5	219.70	221.40	217.50	216.50	218.78	2.20	1.01	1.01%
M-6	217.00	218.50	212.00	221.00	217.13	3.79	1.75	1.75%
M-7	217.30	216.80	219.00	219.00	218.03	1.14	0.52	0.52%
M-8	217.40	218.50	220.40	220.60	219.23	1.54	0.70	0.70%
M-9	217.60	216.50	222.60	222.00	219.68	3.07	1.40	1.40%
M-10	215.70	216.60	219.70	219.00	217.75	1.91	0.87	0.87%
	Promedio =				218.59			
	δ =				0.81			
	Coef. Var=				0.37			
	Lfábrica=				220.00			
	V (%) =				0.64			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 74, del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un largo promedio de 218.59 mm, una desviación estándar de 0.81, un coeficiente de variación del 0.37 y una variación dimensional del 0.64%.

Tabla 75

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Ancho (mm).

MUESTRA	ANCHO(MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	130.50	130.80	130.70	127.20	129.80	1.74	1.34	1.34%
M-2	129.50	129.50	128.00	127.70	128.68	0.96	0.75	0.75%
M-3	130.40	131.00	126.90	127.40	128.93	2.07	1.61	1.61%
M-4	131.60	129.30	128.00	127.80	129.18	1.75	1.35	1.35%
M-5	133.50	128.80	131.90	126.80	130.25	3.02	2.32	2.32%
M-6	128.00	128.20	131.80	130.60	129.65	1.86	1.43	1.43%
M-7	130.60	130.00	128.70	128.80	129.53	0.93	0.72	0.72%
M-8	130.00	129.70	128.90	130.00	129.65	0.52	0.40	0.40%
M-9	132.60	130.00	126.80	126.30	128.93	2.95	2.29	2.29%
M-10	130.30	129.70	127.00	126.80	128.45	1.81	1.41	1.41%
	Promedio =				129.30			
	δ =				0.56			
	Coef. Var.=				0.44			
	Lfábrica=				130.00			
	V (%) =				0.54			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 75 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un ancho promedio de 129.30mm, una desviación estándar de 0.56, un coeficiente de variación del 0.44 y una variación dimensional del 0.54%.

Tabla 76

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Altura (mm).

Muestra	Altura (mm)					Resultados por cada unidad		
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	76.00	76.60	75.40	76.00	76.00	0.49	0.64	0.64%
M-2	76.70	76.20	77.00	76.40	76.58	0.35	0.46	0.46%
M-3	75.80	76.70	76.00	74.30	75.70	1.01	1.33	1.33%
M-4	75.70	75.30	75.90	73.70	75.15	1.00	1.33	1.33%
M-5	77.00	75.70	73.70	76.00	75.60	1.38	1.83	1.83%
M-6	75.30	76.80	75.40	74.70	75.55	0.89	1.18	1.18%
M-7	76.40	75.40	77.50	77.50	76.70	1.01	1.32	1.32%
M-8	76.00	76.30	75.50	76.40	76.05	0.40	0.53	0.53%
M-9	76.70	77.80	76.80	76.80	77.03	0.52	0.67	0.67%
M-10	75.30	76.00	76.20	75.30	75.70	0.47	0.62	0.62%
			Promedio			76.01		
			=					
			δ =			0.59		
			Coef.			0.78		
			Var=					
			Lfábrica=			80.00		
			V (%) =			4.99		

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 76 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan una altura promedio de 76.01mm, una desviación estándar de 0.59, un coeficiente de variación del 0.78 y una variación dimensional del 4.99 %.

3.5.4.2. Resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 77

Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

MUESTRA MP+50%MH	CARA A		CARA B		ALABEO		
	ID	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M-1		1.75	2.25	1.50	1.25	1.63	1.75
M-2		1.00	1.75	0.00	1.50	0.50	1.63
M-3		1.50	2.50	2.25	2.25	1.88	2.38
M-4		0.00	2.50	0.00	1.38	0.00	1.94
M-5		2.50	2.50	2.00	1.63	2.25	2.07
M-6		2.25	2.25	1.50	2.25	1.88	2.25
M-7		2.25	2.50	1.50	1.25	1.88	1.88
M-8		2.00	1.67	0.00	1.75	1.00	1.71
M-9		1.50	1.38	1.50	2.33	1.50	1.86
M-10		2.00	1.25	0.00	1.13	1.00	1.19
					Promedio	1.35	1.86

Nota. Resultados del ensayo de alabeo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 77 del ensayo de alabeo del ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro, presentan una concavidad de 1.35 mm y una convexidad de 1.86mm.

3.5.4.3. Resultados del Ensayo de Absorción

Tabla 78

Absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+50%MH	Peso Sumergido (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción %
M-1	1.875	3.830	3.293	274.68	16.31
M-2	1.920	3.932	3.388	270.38	16.06
M-3	1.947	3.922	3.327	301.27	17.88
M-4	1.936	3.914	3.383	268.45	15.70
M-5	1.895	3.821	3.354	242.47	13.92
			Promedio =	271.45	15.97

Nota. Resultados del ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 78 del ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro, se determinó que la muestra presenta una absorción de 271.45 kg/m³, equivalente al 15.97%.

3.5.4.4. Resultados del Ensayo de Succión

Tabla 79

Ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+50%MH	Peso Seco (g)	Peso Mojado (g)	Pm-Ps (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm²)	Succión (g/200/min)
M-1	3295.70	3357.60	61.90	13.07	21.87	285.67	43.34
M-2	3386.10	3432.00	45.90	12.95	21.68	280.69	32.70
M-3	3321.50	3396.10	74.60	13.07	21.77	284.47	52.45
M-4	3331.10	3394.30	63.20	13.05	21.91	285.82	44.22
M-5	3351.90	3410.00	58.10	13.12	22.06	289.25	40.17
Promedio =							42.58

Nota. Resultados del ensayo de succión de los ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 79 del ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro se determinó que la muestra presenta una succión de 42.58 g/200cm²/min.

3.5.5. MP + 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.5.5.1. Resultados del Ensayo de Variación dimensional

Tabla 80

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro - Largo(mm).

MUESTRA	LARGO(MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	L1	L2	L3	L4	L Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	217.80	217.70	220.20	219.30	218.75	1.21	0.55	0.55%
M-2	222.00	220.00	220.00	223.30	221.33	1.62	0.73	0.73%
M-3	224.00	225.00	225.50	225.50	225.00	0.71	0.31	0.31%
M-4	217.40	217.50	220.50	220.60	219.00	1.79	0.82	0.82%
M-5	215.00	219.00	221.80	223.00	219.70	3.55	1.62	1.62%
M-6	219.20	218.70	222.00	222.40	220.58	1.89	0.86	0.86%
M-7	219.50	218.50	227.00	222.50	221.88	3.82	1.72	1.72%
M-8	219.00	217.70	212.30	222.00	217.75	4.06	1.86	1.86%
M-9	221.90	219.70	221.10	221.70	221.10	0.99	0.45	0.45%
M-10	218.50	218.20	221.70	222.70	220.28	2.26	1.03	1.03%
			Promedio =		220.54			
			δ =		2.02			
			Coef. Var=		0.92			
			Lfábrica=		220.00			
			V (%) =		-0.24			

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 80 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un largo promedio de 220.54 mm, una desviación estándar de 2.02, un coeficiente de variación del 0.92 y una variación dimensional del -0.24 %.

Tabla 81

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Ancho (mm).

MUESTRA	ANCHO(MM)				RESULTADOS POR CADA UNIDAD			
	A1	A2	A3	A4	A Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	132.00	133.00	129.00	129.00	130.75	2.06	1.58	1.58%
M-2	132.00	132.80	129.80	130.00	131.15	1.48	1.13	1.13%
M-3	131.40	132.40	128.30	127.80	129.98	2.27	1.75	1.75%
M-4	130.50	131.20	130.00	129.00	130.18	0.93	0.71	0.71%
M-5	130.00	128.90	133.00	133.00	131.23	2.10	1.60	1.60%
M-6	128.30	126.80	131.20	132.00	129.58	2.44	1.88	1.88%
M-7	128.00	128.00	132.60	131.40	130.00	2.36	1.82	1.82%
M-8	127.60	129.80	130.70	131.50	129.90	1.68	1.30	1.30%
M-9	128.40	130.70	130.30	132.00	130.35	1.49	1.14	1.14%
M-10	128.70	129.90	131.80	131.30	130.43	1.40	1.08	1.08%
	Promedio =				130.35			
	δ =				0.54			
	Coef. Var.=				0.42			
	Lfábrica=				130.00			
	V (%) =				-0.27			

Nota: Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 81 del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un ancho promedio de 130.35 mm, una desviación estándar de 0.54, un coeficiente de variación del 0.42 y una variación dimensional del -0.27 %.

Tabla 82

Variación dimensional de ladrillo artesanal de la MP con adición del 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro – Altura (mm).

Muestra	Altura (mm)				Resultados por cada unidad			
	A1	A2	A3	A4	H Prom	δ	Coef. Var.	V (%)
M-1	75.50	76.80	76.90	76.60	76.45	0.65	0.84	0.84%
M-2	73.00	73.00	76.90	77.30	75.05	2.37	3.16	3.16%
M-3	78.00	76.00	76.00	77.30	76.83	0.99	1.29	1.29%
M-4	76.00	75.00	75.00	76.60	75.65	0.79	1.04	1.04%
M-5	78.40	77.50	75.30	76.90	77.03	1.30	1.69	1.69%
M-6	78.50	79.50	77.00	77.00	78.00	1.22	1.57	1.57%
M-7	76.00	75.60	75.60	77.00	76.05	0.66	0.87	0.87%
M-8	74.20	74.30	76.00	75.00	74.88	0.83	1.11	1.11%
M-9	77.90	76.60	76.30	79.00	77.45	1.24	1.61	1.61%
M-10	75.40	75.80	72.40	74.70	74.58	1.52	2.04	2.04%
Promedio								
=						76.20		
δ =						1.15		
Coef. Var =						1.51		
Lfábrica =						80.00		
V (%) =						4.76		

Nota: Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 82 según los resultados del ensayo de variación dimensional para el ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan una altura promedio de 1.15, un coeficiente de variación del 1.51 y una variación dimensional del 4.76 %.

3.5.5.2. Resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 83

Alabeo de ladrillo artesanal de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

MUESTRA MP+75%MH	CARA A		CARA B		ALABEO		
	ID	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)	Cóncavo (mm)	Convexo (mm)
M-1		0.00	1.50	0.00	3.33	0.00	2.42
M-2		1.50	1.88	0.00	1.38	0.75	1.63
M-3		2.50	1.17	0.00	1.88	1.25	1.53
M-4		2.25	1.75	0.00	1.50	1.13	1.63
M-5		3.25	1.75	0.00	2.00	1.63	1.88
M-6		3.00	1.63	1.00	2.50	2.00	2.07
M-7		2.33	1.63	0.00	1.75	1.17	1.69
M-8		2.50	1.88	0.00	3.20	1.25	2.54
M-9		1.67	2.13	0.00	1.63	0.84	1.88
M-10		1.75	2.50	0.00	2.88	0.88	2.69
					Promedio	1.09	1.99

Nota. Resultados del ensayo de alabeo. Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos en la Tabla 83 del ensayo de alabeo del ladrillo artesanal elaborado con la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro, presentan una concavidad de 1.09 mm y una convexidad de 1.99mm.

3.5.5.3. Absorción

Tabla 84

Ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+75%MH	Peso Sumergido (Kg)	Peso Saturado (Kg)	Peso Seco (Kg)	Absorción (Kg/m ³)	Absorción %
M-1	1.951	3.943	3.414	265.56	15.50
M-2	1.931	3.960	3.407	272.55	16.23
M-3	1.925	3.934	3.362	284.72	17.01
M-4	1.938	3.905	3.428	242.50	13.91
M-5	1.935	3.953	3.401	273.54	16.23
			Promedio =	267.77	15.78

Nota. Resultados del ensayo de Absorción. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 84 del ensayo de absorción de los ladrillos artesanales de la MP más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, se determinó que la muestra presenta una absorción de 267.77 kg/m³, equivalente al 15.78%.

3.5.5.4. Succión

Tabla 85

Succión de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+75%MH	Peso Seco (g)	Peso Mojado (g)	Pm-Ps (g)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Área (cm²)	Succión (g/200/min)
M-1	3410.60	3454.40	43.80	13.25	21.78	288.52	30.36
M-2	3402.50	3459.90	57.40	13.24	22.10	292.60	39.23
M-3	3358.50	3428.20	69.70	13.19	22.45	296.12	47.08
M-4	3379.70	3425.40	45.70	13.09	21.75	284.53	32.12
M-5	3398.70	3459.20	60.50	12.95	21.70	280.91	43.07
Promedio =							38.37

Nota. Resultados del ensayo de succión. Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 85 del ensayo de succión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro se determinó que la muestra presenta una succión de 38.37 g/200cm²/min.

3.6. Determinación de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH)

3.6.1. Muestra patrón

3.6.1.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de la unidad

Tabla 86

Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP

Muestra MP	Dimensiones			Área (cm ²)	Carga (TN)	fb (kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
M-1	214.00	126.00	87.00	269.64	13.99	51.87
M-2	214.00	126.50	87.50	270.71	11.20	41.35
M-3	214.00	125.30	88.80	268.14	20.38	76.00
M-4	216.00	125.50	87.00	271.08	24.51	90.41
M-5	213.00	128.30	90.00	273.28	31.63	115.74
M-6	215.50	128.00	90.00	275.84	23.43	84.94
M-7	213.00	127.00	89.00	270.51	11.09	41.00
M-8	217.80	128.50	85.30	279.87	19.20	68.61
M-9	214.50	127.00	86.50	272.42	32.07	117.72
M-10	215.50	128.00	89.50	275.84	22.90	83.00
					fb prom.	71.24
					=	
					δ =	26.04
					Coef.	36.56
					Var=	
					Promedio-	45.20
					δ =	

Nota. Resultados del ensayo de Resistencia a compresión de los ladrillos. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en la Tabla 86, del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón, presenta una resistencia a compresión promedio de 71.24 kg/cm², una desviación estándar de 26.04, un coeficiente de variación de 36.56, alcanzando una resistencia a compresión de 45.20kg/cm².

3.6.1.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de las pilas

Tabla 87
Resistencia a compresión ($f'm$) de pilas de albañilería - MP

Muestra MP	Dimensiones			Área (cm ²)	Relación H/A	Carga (Kg)	F. Corrección por esbeltez	F. Corrección por edad	fm (kg/cm ²)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
M-1	21.45	12.65	36.47	271.34	2.88	7297.00	0.88	1.00	23.78
M-2	21.70	12.78	36.80	277.33	2.88	8847.00	0.88	1.00	28.18
M-3	21.50	12.60	37.13	270.90	2.95	13295.00	0.90	1.00	44.09
M-4	21.18	12.60	37.18	266.87	2.95	9398.00	0.90	1.00	31.67
M-5	21.58	12.55	37.60	270.83	3.00	8868.00	0.91	1.00	29.77
Prom. =									31.50
δ =									7.62
Coef. Var=									24.18
f'm									23.88
(kg/cm²) =									

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 87 muestra como resultados, del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería ($f'm$), la Muestra patrón obtuvo una resistencia promedio de 31.50 kg/cm², una desviación estándar de 7.62 y un coeficiente de variación de 24.18, y alcanza una resistencia a compresión ($f'm$) de 23.88 kg/cm².

3.6.2. MP + 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.6.2.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de la unidad

Tabla 88

Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+10%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Carga (TN)	fb (kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
M-1	213.50	123.50	89.80	263.67	19.18	72.75
M-2	212.50	126.50	87.50	262.44	19.81	75.47
M-3	213.00	127.00	88.00	269.45	22.33	82.87
M-4	214.50	125.00	89.00	272.42	18.96	69.61
M-5	212.30	127.80	82.30	265.38	21.70	81.76
M-6	214.00	127.50	87.50	273.49	22.17	81.07
M-7	215.50	127.00	87.50	274.76	20.38	74.18
M-8	214.80	125.80	87.80	272.80	17.12	62.75
M-9	216.00	127.30	87.50	271.73	21.99	80.91
M-10	213.00	126.00	88.00	271.15	21.22	78.24
					fb prom. =	75.06
					δ =	6.86
					Coef. Var=	9.14
					Promedio- δ =	68.20

Nota. Resultados del ensayo. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 88 muestra como resultados, del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta una resistencia a compresión promedio de 75.06 kg/cm², una desviación estándar de 6.86, un coeficiente de variación de 9.14 y consigue una resistencia a compresión de 68.20kg/cm².

3.6.2.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de las pilas

Tabla 89

Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería de la MP más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+10%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Relación H/A	Carga (Kg)	F. Corrección por esbeltez	F. Corrección por edad	f'm (kg/cm ²)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
M-1	21.75	12.65	36.85	275.14	2.91	12964.00	0.89	1.00	41.98
M-2	21.35	12.78	36.75	272.85	2.88	14143.00	0.88	1.00	45.75
M-3	21.35	12.75	36.65	272.21	2.87	13155.00	0.88	1.00	42.64
M-4	21.80	12.85	36.80	280.13	2.86	10671.00	0.88	1.00	33.52
M-5	21.40	12.75	36.75	272.85	2.88	12998.00	0.88	1.00	42.12
Promedio =									41.20
δ =									4.56
Coef.									11.07
Var=									
f'm									
(kg/cm²) =									36.64

Nota. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión(f'm) en Pilas de albañilería.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 89 se lograron resultados, del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería (f'm), la muestra patrón más el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, alcanzó una resistencia promedio de 41.20 kg/cm², una desviación estándar de 4.56 y un coeficiente de variación de 11.07, y obteniendo una resistencia a compresión (f'm) de 36.64 kg/cm².

3.6.3. MP + 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.6.3.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de la unidad

Tabla 90

Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra	Dimensiones			Área (cm ²)	Carga (TN)	fb (kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
M-1	214.80	128.00	88.00	274.94	14.55	52.93
M-2	216.50	126.50	88.00	273.87	17.27	63.05
M-3	214.50	123.50	89.00	264.91	18.24	68.84
M-4	214.00	128.50	90.50	274.99	20.25	73.62
M-5	217.30	130.80	86.50	284.23	20.38	71.71
M-6	215.50	127.50	86.50	274.76	19.35	70.42
M-7	216.30	128.80	87.80	278.59	19.29	69.25
M-8	217.80	128.50	87.50	279.87	19.46	69.54
M-9	217.50	128.00	84.50	278.40	29.96	107.61
M-10	215.50	127.50	89.00	274.76	20.05	72.98
					fb prom. =	67.42
					δ =	6.60
					Coef. Var=	9.79
					Promedio-δ =	60.82

Nota. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 90, del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta una resistencia a compresión promedio de 67.42 kg/cm², una desviación estándar de 6.60, un coeficiente de variación de 9.79 y obteniendo una resistencia a compresión de 60.82kg/cm².

3.6.3.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de las pilas

Tabla 91

Resistencia a Compresión ($f'm$) de pilas de albañilería de la MP más el 25 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+25%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Relación H/A	Carga (Kg)	F. Corrección por esbeltez	F. Corrección por edad	fm (kg/cm ²)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
M-1	21.60	12.90	36.50	278.64	2.83	12074.00	0.87	1.00	37.81
M-2	21.75	12.80	36.20	278.40	2.83	11056.00	0.87	1.00	34.64
M-3	21.70	12.90	36.65	279.93	2.84	9846.00	0.88	1.00	30.78
M-4	21.65	12.95	36.55	280.37	2.82	10011.00	0.87	1.00	31.10
M-5	21.80	12.85	36.40	280.13	2.83	11312.00	0.87	1.00	35.26
Promedio									33.92
=									
δ =									2.97
Coef. Var=									8.75
$f'm$									
(kg/cm ²) =									30.95

Nota. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión($f'm$) en Pilas de albañilería.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 91, del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería ($f'm$), la muestra patrón más el 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro, obtuvo una resistencia promedio de 33.92 kg/cm², una desviación estándar de 2.97 y un coeficiente de variación de 8.75, y alcanza una resistencia a compresión ($f'm$) de 30.95kg/cm².

3.6.4. MP + 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.6.4.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de la unidad

Tabla 92

Resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra	Dimensiones			Área (cm ²)	Carga (TN)	fb (kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
M-1	217.50	132.50	86.50	288.19	19.71	68.38
M-2	219.00	130.50	90.00	285.80	16.52	57.80
M-3	218.50	130.50	90.00	285.14	17.52	61.45
M-4	219.50	130.00	89.80	285.35	17.34	60.78
M-5	223.50	132.00	86.80	295.02	20.71	70.21
M-6	221.00	130.00	87.50	287.30	13.67	47.56
M-7	221.50	130.30	88.50	288.61	19.96	69.17
M-8	221.50	132.00	88.00	292.38	12.80	43.78
M-9	221.30	132.30	87.30	292.78	19.52	66.68
M-10	219.00	129.50	76.80	283.61	13.21	46.58
fb prom. =						59.89
δ =						9.88
Coef. Var=						16.50
Promedio-						50.01
δ =						

Nota. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales.

Fuente: Elaboración propia.

En Tabla 92 los resultados obtenidos, del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta una resistencia a compresión promedio de 59.89kg/cm², una desviación estándar de 9.88, un coeficiente de variación de 16.50 y alcanza una resistencia a compresión de 50.01 kg/cm².

3.6.4.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a compresión de las pilas

Tabla 93

Resistencia a Compresión (f'm) de pilas de albañilería de la MP más el 50 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+50%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Relación H/A	Carga (Kg)	F. Corrección por esbeltez	F. Corrección por edad	f'm (kg/cm ²)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
M-1	22.00	13.20	36.65	290.40	2.78	9907.00	0.86	1.00	29.37
M-2	21.85	12.90	36.45	281.87	2.83	9645.00	0.87	1.00	29.83
M-3	22.20	13.07	36.10	290.15	2.76	9629.00	0.86	1.00	28.46
M-4	22.35	12.90	36.50	288.32	2.83	10392.00	0.87	1.00	31.45
M-5	21.95	13.18	36.40	289.30	2.76	9442.00	0.86	1.00	27.99
								Prom. =	29.42
								δ =	1.35
								Coef.	4.57
								Var=	
								f'm	28.07
								(kg/cm²) =	

Nota. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión(f'm) en Pilas de albañilería.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, según los resultados obtenidos en la Tabla 93, del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería (f'm), la muestra patrón más el 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro, obtuvo una resistencia promedio de 29.42 kg/cm², una desviación estándar de 1.35, un coeficiente de variación de 4.57, y obtenga una resistencia a compresión (f'm) de 28.07 kg/cm².

3.6.5. MP + 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro

3.6.5.1. Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de la unidad

Tabla 94

Resultado de la resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+75%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Carga (TN)	fb (kg/cm ²)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
M-1	219.30	129.80	85.30	284.65	16.17	56.79
M-2	218.50	131.30	87.50	286.89	13.08	45.57
M-3	221.30	130.00	87.50	287.69	11.86	41.24
M-4	220.80	131.30	84.80	289.91	16.53	57.02
M-5	213.70	131.80	90.30	281.66	14.27	50.67
M-6	216.50	130.00	89.50	281.45	14.80	52.57
M-7	213.50	129.00	88.50	275.42	18.73	68.01
M-8	218.00	129.00	88.50	281.22	13.44	47.79
M-9	214.50	126.50	87.50	271.34	21.79	80.29
M-10	215.50	131.00	87.00	282.31	19.66	69.63
					fb prom. =	52.46
					δ =	8.28
					Coef. Var=	15.78
					Promedio-δ	44.18
					=	

Nota. Resultados del ensayo de resistencia a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 94, del ensayo de resistencia a compresión de los ladrillos artesanales de la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta una resistencia a compresión promedio de 52.46 kg/cm², una desviación estándar de 8.28, un coeficiente de variación de 15.78 y alcanza una resistencia a compresión de 44.18kg/cm².

3.6.5.2. Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de las pilas

Tabla 95

Resistencia a Compresión ($f'm$) de pilas de albañilería MP más el 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro

Muestra MP+75%MH	Dimensiones			Área (cm ²)	Relación H/A	Carga (Kg)	F. Corrección por esbeltez	F. Corrección por edad	$f'm$ (kg/cm ²)
	L (cm)	A (cm)	H (cm)						
M-1	22.00	13.00	36.80	286.00	2.83	10078.00	0.87	1.00	30.75
M-2	22.32	13.10	36.95	292.39	2.82	8073.00	0.87	1.00	24.04
M-3	22.35	13.25	36.80	296.14	2.78	9770.00	0.86	1.00	28.41
M-4	22.00	12.96	37.55	285.12	2.90	9065.00	0.89	1.00	28.21
M-5	22.20	13.13	36.55	291.49	2.78	9371.00	0.86	1.00	27.73
Promedio =									27.83
δ =									2.42
Coef. Var =									8.70
$f'm$									25.41
(kg/cm²) =									

Nota. Resultados del ensayo de Resistencia a Compresión($f'm$) en pilas de albañilería.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados obtenidos en la Tabla 95, del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería ($f'm$), la muestra patrón más el 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, obtuvo una resistencia promedio de 27.83 kg/cm², una desviación estándar de 2.42, un coeficiente de variación de 8.70, y alcanza una resistencia a compresión ($f'm$) de 25.41 kg/cm².

3.7. Comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

3.7.1. Comparación de resultados del Ensayo de Variación Dimensional

Tabla 96

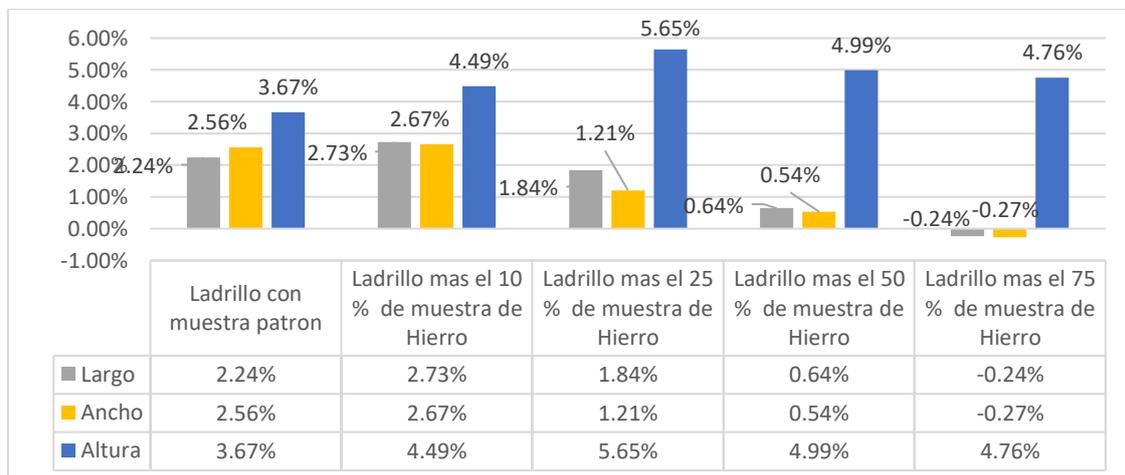
Tabla comparativa de los resultados del ensayo de Variación Dimensional

Tipo de ladrillo Artesanal	L(mm)	A(mm)	H(mm)
Ladrillo con muestra patrón	2.24%	2.56%	3.67%
Ladrillo más el 10 % de muestra de Hierro	2.73%	2.67%	4.49%
Ladrillo más el 25 % de muestra de Hierro	1.84%	1.21%	5.65%
Ladrillo más el 50 % de muestra de Hierro	0.64%	0.54%	4.99%
Ladrillo más el 75 % de muestra de Hierro	-0.24%	-0.27%	4.76%

Nota. Variación dimensional de los diferentes tipos de ladrillos artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Figura 64

Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de variación dimensional



Nota. Variación dimensional de los diferentes tipos de ladrillos Artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 64 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de variación dimensional, se puede observar que el menor porcentaje de variación dimensional presenta el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 75% de

agregado natural que contiene partículas de hierro, siendo -0.24% en largo y -0.27% en ancho. Sin embargo, en la altura presenta una variación dimensional de 4.76%, siendo este valor mayor que el de la muestra patrón 3.67% en altura, existiendo una diferencia de 1.09% (ver Tabla 96).

3.7.2. Comparación de resultados del Ensayo de Alabeo

Tabla 97

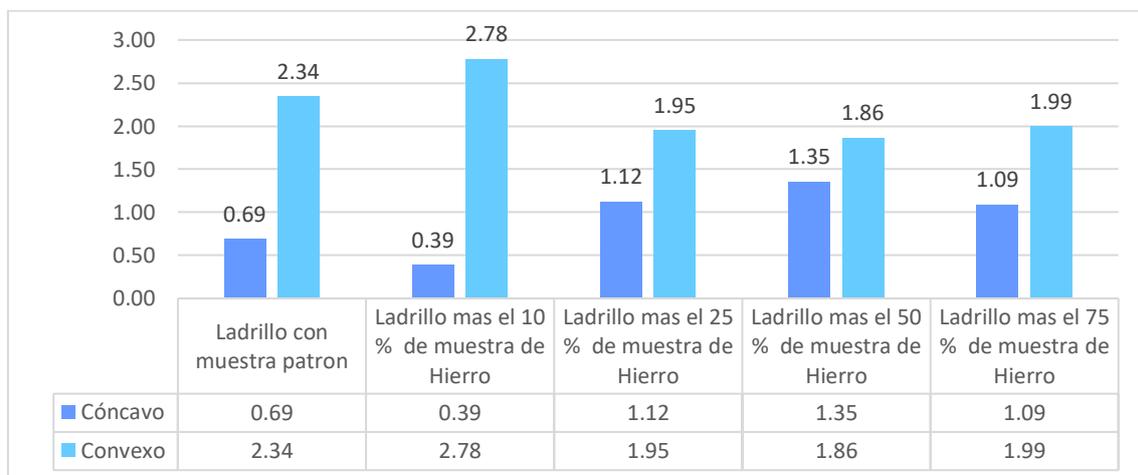
Tabla comparativa de los resultados del ensayo de alabeo

Tipo de ladrillo Artesanal	Cóncavo	Convexo
Ladrillo con muestra patrón	0.69	2.34
Ladrillo más el 10 % de muestra de Hierro	0.39	2.78
Ladrillo más el 25 % de muestra de Hierro	1.12	1.92
Ladrillo más el 50 % de muestra de Hierro	1.35	1.86
Ladrillo más el 75 % de muestra de Hierro	1.09	1.99

Nota. Ensayo de Alabeo para los diferentes tipos de ladrillos Artesanales. Fuente: Elaboración propia.

Figura 65

Gráfico de comparativo de resultados del ensayo de alabeo para los diferentes tipos de ladrillos artesanales



Nota. Ensayo de alabeo para los diferentes tipos de ladrillos artesanales. Fuente:

Elaboración propia.

Según la Figura 65 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de alabeo, se puede observar que la menor concavidad es de 0.39 mm en relación al ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro. Por otro lado, la menor convexidad es de 1.92mm, la cual presenta el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 25% de agregado natural que contiene partículas de hierro (ver Tabla 97).

3.7.3. Comparación de resultados del Ensayo de Absorción

Tabla 98

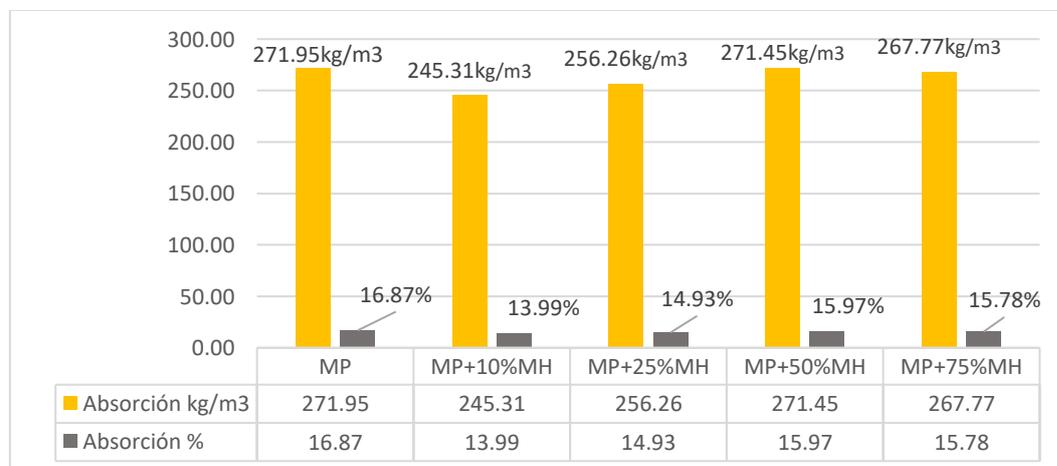
Tabla comparativa de los resultados del ensayo de absorción

MUESTRA	ABSORCIÓN (KG/M3)	ABSORCIÓN %
MP	271.95	16.87
MP+10%MH	245.31	13.99
MP+25%MH	256.26	14.93
MP+50%MH	271.45	15.97
MP+75%MH	267.77	15.78

Nota. Ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia

Figura 66

Gráfico de comparativo de resultados del ensayo de absorción de los diferentes tipos de ladrillos artesanales



Nota. Ensayo de absorción. Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 66 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de absorción, se puede observar que el menor porcentaje de absorción es de 13.99% en relación con el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro. Por otro lado, el mayor porcentaje de absorción es de 16.87% para el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón (ver Tabla 98).

3.7.4. Comparación de resultados del Ensayo de Succión

Tabla 99

Tabla comparativa de los resultados del ensayo de succión

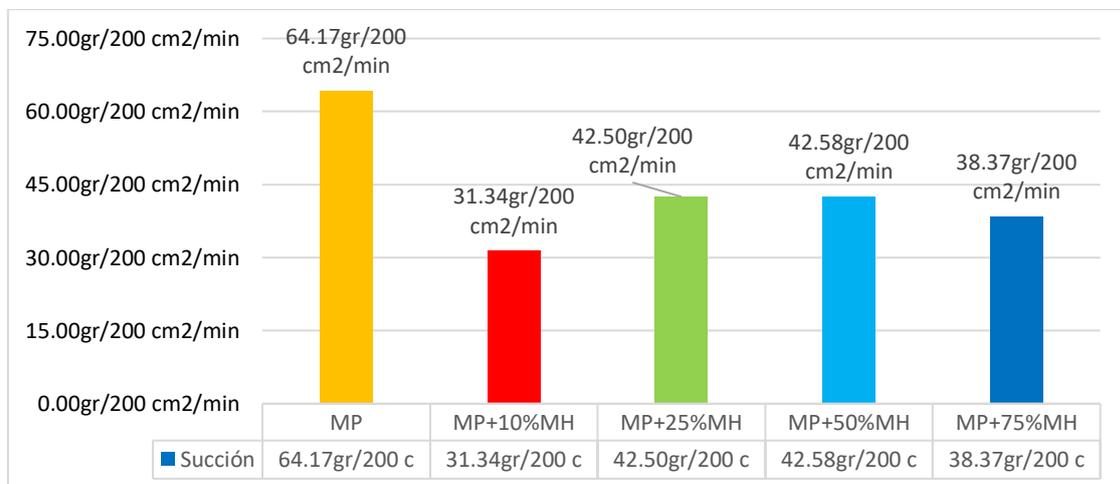
Muestra	Succión (gr/200cm ² /min)
MP	64.17gr/200 cm ² /min
MP+10%MH	31.34gr/200 cm ² /min
MP+25%MH	42.50gr/200 cm ² /min
MP+50%MH	42.58gr/200 cm ² /min
MP+75%MH	38.37gr/200 cm ² /min

Nota. Ensayo de Absorción de los diferentes tipos de ladrillos Artesanales. Fuente:

Elaboración propia

Figura 67

Gráfico comparativo de los resultados del ensayo de succión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales



Nota. Resultados del ensayo de succión. Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 67 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de succión, se puede observar que el menor valor de succión es de 31.4 gr/200 cm²/min, en relación al ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro. Por otro lado, el mayor valor de succión es de 67.17 gr/200cm²/min, en relación al ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón (ver Tabla 99).

3.7.5. Comparación de resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de la Unidad

Tabla 100

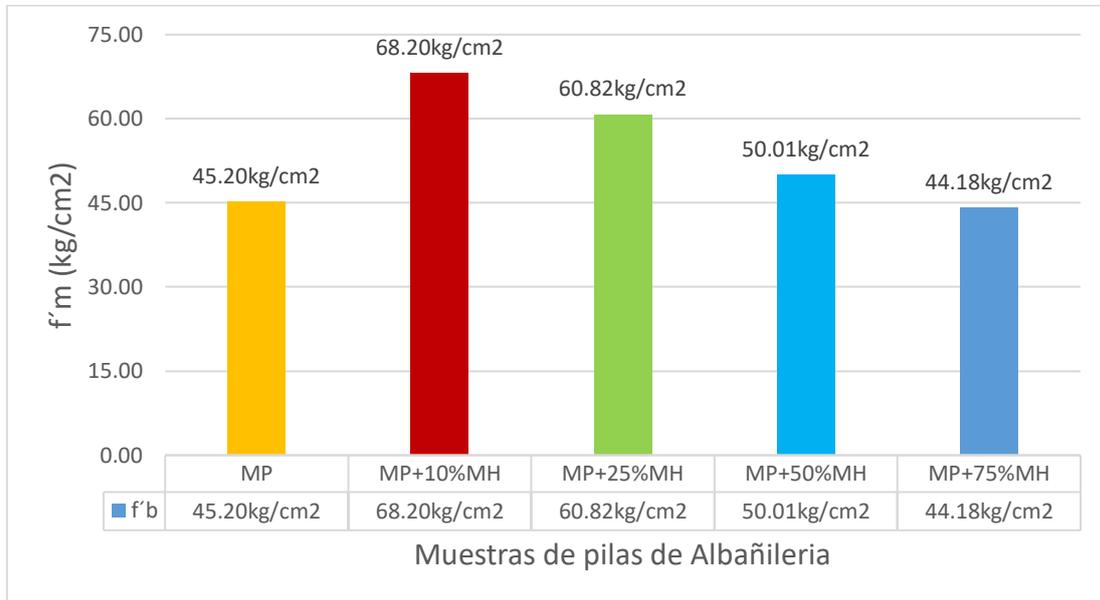
Tabla comparativa del ensayo de resistencia a compresión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales

Tipo de ladrillo Artesanal	Resistencia a compresión
	Kg/cm ²
MP	45.20
MP+10%MH	68.20
MP+25%MH	60.82
MP+50%MH	50.01
MP+75%MH	44.18

Nota. Resumen de resultados comparativos de la resistencia a compresión. fuente: elaboración propia.

Figura 68

Gráfico comparativo de los resultados de la resistencia a compresión de los diferentes tipos de ladrillos artesanales



Nota. Resultados del ensayo de la resistencia a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 68 del gráfico comparativo de resultados del ensayo de resistencia a compresión, se puede observar que el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro presenta una resistencia a compresión de 68.20 kg/cm², siendo esta superior a la resistencia en comparación con las demás. Así mismo el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presenta una resistencia a compresión de 44.18 kg/cm², siendo ésta la menor de todas las muestras de ensayo (ver Tabla 100).

3.7.6. Comparación de resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de las Pilas

Tabla 101

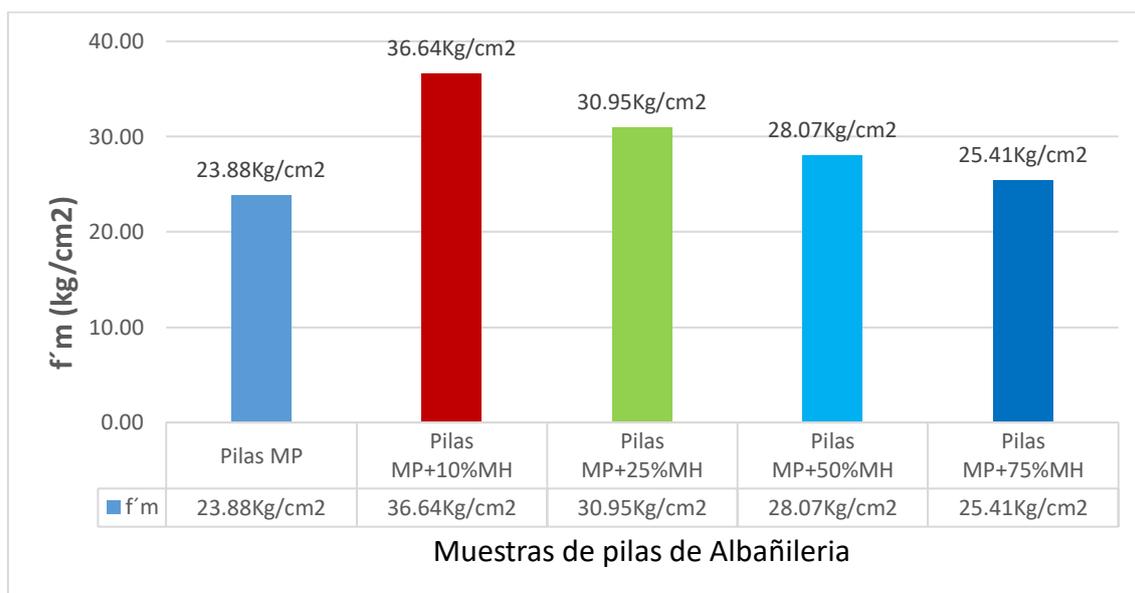
Tabla comparativa de resultados del ensayo de resistencia a compresión($f'm$) de pilas de albañilería

Tipo de muestra	Resistencia a compresión en pilas de albañilería (kg/cm ²)
MP	23.88
MP+10%MH	36.64
MP+25%MH	30.95
MP+50%MH	28.07
MP+75%MH	25.41

Nota. Resumen de resultados comparativos de la resistencia a compresión ($f'm$). Fuente: Elaboración propia.

Figura 69

Gráfico comparativo de resultados de la resistencia a compresión($f'm$) de los diferentes tipos de pilas de albañilería



Nota. Resultados comparativos del ensayo de la resistencia a Compresión($f'm$). Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 69 el gráfico comparativo de resultados del ensayo de resistencia a compresión en pilas de albañilería ($f'm$), se puede observar que el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón más la adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro presenta una resistencia a compresión ($f'm$) de 36.64 kg/cm², siendo ésta la mayor resistencia en comparación con las demás. Así mismo el ladrillo artesanal elaborado con la muestra patrón presenta una resistencia a compresión ($f'm$) de 23.88 kg/cm², siendo ésta la menor de todas las muestras ensayadas (ver Tabla 101).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Limitaciones

En el desarrollo de la investigación se han presentado limitaciones para la elección del tamaño de la población y muestra, puesto que inicialmente se tenía planteado realizar adiciones de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH) en porcentajes del 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. Debido a la disponibilidad de la MH se obvió trabajar con la adición del último porcentaje, ya que se hubiera incrementado significativamente la cantidad de este material, considerando que la cantera "Tingo La Palla" está a 213.54 km de distancia de la ciudad de Cajamarca, lo cual dificultó la obtención del material empleado en la investigación y tuvo afectación en tiempo y costo.

Debido al tiempo y distancia en el traslado del agregado natural que contiene partículas de hierro se presentó una limitación con respecto al ensayo de mecánica de suelos. Al someter la muestra al ensayo de contenido de humedad, su estructura del agregado no era la misma de cuando se realizó el muestreo en la cantera, afectando así al resultado obtenido.

Otro factor limitante fue el tiempo de espera en el quemado de ladrillos, puesto que la muestra considerada en la investigación fue de 300 unidades y la cantidad mínima para que se realice la quema de ladrillos es de 5000 unidades, por esta razón se tuvo que esperar a que la empresa ladrillera complete el lote requerido, lo cual amplió el tiempo del desarrollo de la investigación.

Otra limitación se presentó en la revisión de investigaciones anteriores en el tema. Si bien es cierto, se han realizado diversas investigaciones de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales elaborados en diferentes partes del país, sin embargo, es escasa la información referente a investigaciones en las que haya empleado hierro o metales en ladrillos artesanales en la ciudad de Cajamarca, dificultando realizar

la comparación de los resultados obtenidos en nuestra investigación con otros autores de esta ciudad.

Finalmente, la disponibilidad de laboratorio de mecánica de suelos y de concreto fue una limitación para realizar los ensayos, esto se presentó debido a la alta demanda de estudiantes y tesis que hacían uso de los laboratorios y no se podía exceder el aforo permitido. Así mismo la investigación se limitó a realizar todos los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería, debido a que, en el laboratorio de concreto en la Universidad Privada del Norte, no cuenta con el equipo necesario para realizar el ensayo de compresión diagonal de muretes de albañilería.

Interpretación comparativa

Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro, 2022.

Después del desarrollo en el objetivo general se encontró que, sobre las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal, la variación dimensional es menor cuando se adiciona 75% de agregado natural con partículas de hierro y se obtiene un ladrillo con variación dimensional de -0.24% de largo, -0.27% de ancho, a excepción de la altura. A su vez, en el alabeo la concavidad incrementa cuando aumentan las adiciones de MH en porcentajes del 10%, 25% y 50% de MH; por lo contrario, la convexidad disminuye conforme aumentan las adiciones de MH en porcentajes del 10%, 25% y 50% de MH. Sobre la absorción se encontró que las muestras presentan un porcentaje entre 13.99% y 16.87%, siendo la muestra con adición del 10% de MH quien presenta el menor porcentaje de absorción. La succión que realiza el ladrillo tiene valores comprendidos entre 31.34 a 64.17 gr/200cm²/min, la muestra con adición del 10% de MH presenta el menor valor de succión, aun así, no cumple con la succión de la unidad recomendada, que

debe estar comprendida entre 10 y 20 gr/200 cm²-min, según la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería. En cuanto a la resistencia a compresión de las unidades, se encontró que todas las adiciones tienen resistencia superior a la muestra patrón, excepto de la muestra de ladrillos elaborada con adición del 75% de MH, así mismo, la muestra que alcanzó la mayor resistencia a compresión fue la con adición del 10% de MH, llegando a 68.20 kg/cm². En cuanto a la resistencia a compresión de las pilas se evidenció que la muestra con adición del 10% es mayor en relación a las demás muestras ensayadas, llegando a una resistencia de 36.64 kg/cm², en ese sentido es el ladrillo con adición del 10% de MH es el más aceptable, al ser comparado con la Norma Técnica Peruana E-070 de albañilería porque satisface las condiciones establecidas permitiendo formar parte de los ladrillos para la construcción de Clase I, reforzando el estudio.

Determinación de las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de "El Cerrillo".

Sobre el objetivo específico uno se determinó las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de "El Cerrillo". Los resultados demuestran que el contenido de humedad para esta muestra es de 8.32 %. A diferencia de los valores obtenidos en la investigación de (Tasilla, 2021) para las Muestras 1, 2 y 3 sometidas al ensayo de Contenido de humedad, registró los siguientes datos: 1.6%, 2.2% y 1.2%, los cuales están por debajo del valor promedio obtenido en la muestra de la investigación. Sobre el análisis granulométrico el porcentaje que pasa por la malla N°200 es 52.39% y el pasante de la malla N°4 es 98.84%; se menciona que tal resultado es superior a 50%, la norma ASTM D 2487-93 indica que estas muestras de suelo se clasifican como suelos de granulometría gruesa; también, de todas las muestras ensayadas el porcentaje que pasa por malla N° 4 son mayores al 50% encontrándose entre el 98.20% y 99.15%, de acuerdo a la norma ASTM D 2487-93 estas muestras de suelo se clasifican

como suelos que contiene arenas, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o arenas con un alto contenido de finos (A-2-4), según la metodología SUCCS se clasifican como limos de baja plasticidad (ML). La clasificación del suelo empleado en la elaboración de ladrillos artesanales varía en comparación con la muestra ensayada por (Díaz, 2021) en Hualgayoc-Cajamarca, en referencia a la metodología SUCS, el investigador clasificó la muestra como un suelo arcilloso de alta plasticidad (CH). Del mismo modo existe variación en clasificación de suelos en relación a la investigación de (Tasilla, 2021), en la cual, de acuerdo a la metodología SUCS, la Muestra 1 la clasificó como un suelo CL (Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad), la Muestra 2 como un suelo CH (Arcillas inorgánicas de alta plasticidad) y la Muestra 3 como un suelo CL (Arcillas inorgánicas de baja compresibilidad). En cuanto a los límites de la Plasticidad, se registraron los siguientes datos: Límite líquido 34.58%, Límite Plástico 27.32% e Índice de Plasticidad de 7.25%. En comparación con (Tasilla, 2021) en su investigación registró los siguientes valores para la Muestra 1, 2 y 3: Límite Líquido: 45.58%, 53.49% y 42.48%, para el Límite Plástico: 20%, 24% e Índice de Plasticidad de: 26%, 30% y 20%, de lo que se infiere que la muestra ensayada por el investigador presenta mayor plasticidad. En tanto los valores obtenidos por (Díaz, 2021) en la muestra ensayada fueron: Límite líquido 63%, Límite Plástico 22.25% e Índice de Plasticidad 40.75%. Los valores obtenidos por este último presentan una diferencia considerable en los valores de Índice de Plasticidad, siendo este suelo mucho más plástico que los anteriores. Referente al peso específico se tiene que la MP tiene un valor de 2.44 g/cm³, estando dentro del rango de 2.44 – 2.55 g/cm³ para suelos arcillosos de acuerdo con el lineamiento establecido en el libro de Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio (Alarcón, 1945). En la investigación realizada por (Díaz, 2021) el específico de masa ensayada fue 2.42 g/cm³, estando próximo al valor obtenido en la investigación, considerando que ambas muestras son de

suelo arcilloso y el material fue empleado en la elaboración de ladrillos artesanales. Por último, sobre el peso unitario fue de 2030 kg/m³. En comparación con (Díaz, 2021) quien obtuvo un valor para el Peso Unitario Suelto de 1318.46 kg/m, lo que indica que en un mismo volumen el peso del suelo de la muestra MP se aproxima al doble del peso del material ensayado por el investigador.

Determinación de las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera "Tingo la Palla".

De acuerdo al objetivo específico dos, se determinó las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera "Tingo la Palla". Los resultados demuestran que el contenido de humedad para la muestra es de 1.74 %, es decir, presenta un bajo porcentaje de humedad debido a que en el muestreo se encontró el agregado parcialmente seco. Sobre el análisis granulométrico el porcentaje que pasa por la malla N°200 es 45.22% y el pasante de la malla N°4 es 98.20%; de los datos obtenidos se menciona que el porcentaje que pasa por la malla N°200 es menor al 50%, de acuerdo la norma ASTM D2487-93 estas muestras de suelo se clasifican como suelos de granulometría gruesa; así mismo, el porcentaje que pasa por malla N° 4 es mayor al 50% lo cual indica que este tipo de material tiene presencia de arena, según lo indica la norma ASTM D 2487-93. La muestra de agregado natural que contienen partículas de hierro, se clasifica como un suelo A-2-6, perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos o arenas con un contenido de arcilla, de acuerdo a la metodología AASHTO; en relación a la metodología SUCCS esta muestra se clasifica como arcillas de baja plasticidad (CL). En cuanto a los Límites de Consistencia para el Límite Plástico, Límite Líquido e Índice De Plasticidad, se obtuvieron los siguientes porcentajes: 34.22% ,22.32% y 11.90%. De manera similar (Ranjeet, Debjit, Shailendra, & Nimisha, 2021) en su investigación determinaron los

límites de consistencia para la muestra de relaves de mineral de hierro, los cuales fueron: 25% de límite plástico, 40% en el límite líquido y 15% de índice de plasticidad, considerándose como suelos de plasticidad media, en comparación con la presente investigación existe una variación mínima de 4% en el índice de plasticidad, lo que indica que la plasticidad de ambos suelos es similar. Por su parte (Diaz, 2021), realizó ensayos de mecánica de suelos a los sedimentos de relaves mineros que contienen partículas de hierro para emplearlos en la elaboración de ladrillos, de la muestra analizada se obtuvo los siguientes datos: 26% de límite plástico, 18.15% de límite líquido y 7.85% de índice de plasticidad, en comparación a la presente investigación el índice de plasticidad está por debajo del porcentaje obtenido, lo que indica que el tipo de suelo analizado por el investigador es menos plástico. A diferencia de (Mendes, y otros, Evaluación técnica y ambiental de la incorporación de relaves de mineral de hierro en la construcción de ladrillos de arcilla, 2019), los datos obtenidos de los ensayos de Límites de consistencia de la muestra de relave de mineral de hierro empleado en la elaboración de ladrillos artesanales, no presentó plasticidad, ya que los resultados obtenidos son del 0% en límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad. Referente al peso específico de la muestra se obtuvo un valor de 2.75 g/cm³, siendo un suelo con presencia de hierro, ya que esta dentro del rango de 2.75 – 3.00 g/cm³, conforme lo indica el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981). En concordancia con (Mendes, y otros, 2019) los datos obtenidos en los ensayos de mecánica de suelos para la muestra de relaves de mineral de hierro su peso específico obtenido en la investigación fue de 2.93 g/cm³, de acuerdo a lo indicado en el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Bowles, 1981), este valor se encuentra dentro de los rangos de un suelo con presencia de hierro. Por su parte, (Ranjeet, Debjit, Shailendra, & Nimisha, 2021) indicaron que la muestra ensayada para relaves de mineral de hierro empleado en la elaboración de ladrillos,

presenta los siguientes datos: Peso específico de 3.4 g/cm^3 , en comparación con la presente investigación el peso específico se incrementa en 0.65 g/cm^3 lo que indica que este suelo tiene un mayor contenido de hierro. Por otro lado (Diaz, 2021), obtuvo un peso específico de 2.50 g/cm^3 , lo que indica que esta muestra tiene poca presencia de hierro en comparación con las otras investigaciones analizadas. Por último, el peso unitario obtenido fue de 2052.22 kg/m^3 .

Determinación de las propiedades físicas del material de la muestra patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH)

De acuerdo al objetivo específico tres, se determinó las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH). En relación al ensayo de análisis granulométrico se determinó que los porcentajes que pasa por la malla N°200 son 45.75%, 43.55%, 43.81% y 45.68% respectivamente, de la misma manera el porcentaje que pasa por la malla N°4 son 99.15%, 98.63%, 98.96% y 98.95%. Así mismo el módulo de finura para este tipo de muestras, fue de 2.06 ,2.40 ,2.41 y 2.40 para cada adición de MH. (Moreno & Osorio, 2017), en el ensayo del análisis granulométrico para las muestras con adiciones del 3%, 7%, 12% y 15% de polvo de hierro obtuvo valores de módulo de finura de 2.73, 2.66, 2.57 y 2.52, lo que indica que al agregar un mayor porcentaje la muestra final presenta un menor contenido de finos, en cambio al incrementar el porcentaje de MH el aumenta el valor de módulo de finura. En cuanto al ensayo del peso específico relativo para las muestras con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de MH se obtuvieron los valores de 2.44 g/cm^3 , 2.51 g/cm^3 , 2.52 g/cm^3 y 2.54 g/cm^3 , los cuales se encuentran dentro de los rangos indicados por el autor Alarcon (1945), donde en su libro sobre los Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio da a conocer que el peso específico relativo de un suelo

arcilloso debe estar entre 2.44 g/cm³ a 2.55 g/cm³. Por su parte (Moreno & Osorio, 2017) en el ensayo de las muestras con adiciones del 3%, 7%, 12% y 15% de polvo de hierro obtuvo un peso específico de 4.48g/cm³, 2.58g/cm³, 2.60g/cm³ y 2.63 g/cm³ para cada porcentaje, lo que demuestra que al adicionar 3% de polvo de hierro es más pesado con relación a las demás muestras, en comparación con la presente investigación el peso específico se incrementa con la adición de MH y se obtiene un valor máximo de 2.54 g/cm³ al adicionar 75% de MH. Respecto al ensayo de límite de consistencia se observó que las muestras con el 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un límite plástico de 34.74%, 33.61%, 34.16% y 33.79%; un límite líquido de 25.68%, 25.61%, 26.61% y 25.04% y un índice de plasticidad de 9.06%, 8.01%, 7.55% y 8.74% respectivamente. Lo que determina que este suelo es granular arcilloso o arenoso con un alto contenido de finos perteneciendo al grupo (A-2-4) y según la metodología SUCCS se clasifican como limos de baja plasticidad (ML). Estos resultados no son parecidos a los encontrados por (Bautista j. , 2020) ya que el límite de plasticidad para el 5%. 10% y 15% de adición de residuo industrial de hierro es de 30.10%, 29.90% y 28.60%. Así mismo menciona que el límite líquido es de 46.90%, 44.80% y 42.40%. lo que permite tener un índice de plasticidad de 16.80%, 14.90% y 13.80%. Lo que indica que al agregar un mayor porcentaje de hierro su plasticidad disminuye.

Elaboración de ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

De acuerdo al objetivo específico cuatro, se elaboró ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH). En el mezclado del material en la elaboración de los ladrillos, la proporción del agua está en función del porcentaje de

humedad, a mayor contenido de humedad la proporción será menor y a menor contenido de humedad la proporción será mayor.

Determinación de las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

Según el objetivo específico cinco, se determinó las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH). Los resultados demuestran que en referencia a la variación dimensional base sobre 220mm de largo, 130mm de ancho y 80 mm de altura, la MP obtuvo variación en largo, ancho y altura de 2.24%, 2.56% y 3.67%, con agregado del 10% fue de 2.73 %, 2.67% y 4.49 %, con agregado del 25% fue de 1.84 %, 1.21% y 5.65 %, con agregado del 50% fue de 0.64 %, 0.54% y 4.99 %, por último, con agregado del 75% el porcentaje de variación fue de -0.24 %, -0.27% y 4.76 % en largo, ancho y altura. Del mismo modo todas las muestras de ladrillo artesanal analizadas podrían clasificarse como ladrillo de clase I o II, puesto que los porcentajes de variación son menores en comparación a los valores indicados en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería (2006). El resultado no es parecido al encontrado con Vargas (2017) porque tiene que en sus adiciones al 1%, 3% y 6% los valores encontrados tienen menores variaciones que en la investigación (0.62%, 0.48% y 2.35%; 0.30%, 0.02% y 0.79% y 0.39%, -0.48% y 1.23%); demostrando menor variación que en los agregados al 10%, 25%, 50% y 75%. A su vez es varia con lo encontrado en Espinoza & Pejerrey (2018) porque también tienen menor variación en sus ladrillos cuyos valores para los agregados del 20% son de -0.44%, 2.34% y -4.65%. Por otro lado, se encontró en Gutierrez & Oyarce (2021) que la variación es superior a lo encontrado en la

presente investigación, cuyos valores son superiores cuando se emplean agregados del 3%, 5% y 7% (9.05% ,9.17%, 7.14%; 8.57%, 10.83%, 8.57%; 8.09 %, 8.33% y 11.43 %).

Respecto al alabeo se observó que los ladrillos artesanales elaborados con la muestra patrón presentan un alabeo en concavidad y convexidad de 0.69 mm y 2.34 mm; de manera similar los ladrillos artesanales elaborados con la muestra patrón con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan un alabeo en su concavidad y convexidad de 0.39mm y 2.78mm para la adición del 10%, 1.12mm y 1.92mm para la adición del 25%, 1.35mm y 1.86mm para la adición del 50% y 1.09mm, 1.99 mm para la adición del 75%. Tal resultado se refuerza con la conclusión de Vargas (2017) porque se evidencia que al agregar mayor porcentaje de hierro sus variaciones de alabeo comienzan a variar tanto en su concavidad como convexidad. Sin embargo, difiere con Espinoza & Pejerrey (2018) porque encuentra que a pesar que se agregan las adiciones de acero, sus resultados sobre el alabeo no varían mucho (0.65% y 0.5%; 0,55% y 0.5%). Lo mismo ocurre con Gutierrez & Oyarce (2021) debido a que en las diferentes adiciones para hacer el ladrillo se obtienen iguales resultados de concavidad y convexidad (adiciones de 2%, 3% y 7%).

En cuanto a la absorción, se logró de resultados que para la MP existió una absorción promedio de 16.87%, mientras que cuando se adicionaban 10% de agregado se obtuvo una absorción de 13.99%, cuando fue del 25% fue del 14.93%, al 50% se obtuvo una absorción del 15.97% y al 75% se obtuvo una absorción del 15.78%. Tal resultado se refuerza con Vargas (2017) porque encuentra que los ladrillos presentan una absorción similar en adiciones del 1%, 3% y 6% de acero, cuyos valores son de 13.59%, 13.33% y 13.41%. Esto es apoyado con Espinoza & Pejerrey (2018) porque en adiciones se muestra que el valor de absorción aumenta al pasar de 20% a un agregado del 30%. Lo mismo

sucede con Gutierrez & Oyarce (2021) quien evidencia que en sus adiciones del 3%, 5% y 7% la absorción aumenta de 24.81% a 32.44%.

Con respecto a la succión se encuentra que para aquellos ladrillos artesanales elaborados con el 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, obtuvieron resultados de absorción de 31.34g/200cm²/min , 42.50g/200cm²/min, 42.58g/200cm²/min y 38.37g/200cm²/min. Estos resultados son inferiores a lo encontrado por Vargas (2017) porque determinó que en sus adiciones del 1%, 3% y 6% resultados de succión de 50.96, 50.49 y 55.61 gr/200cm²/min, por lo tanto, difiere a lo encontrado. También, difieren con German & Pérez (2020) porque encontraron que sus valores encontrados son de 7.17gr/200cm²/min, 6.85gr/200cm²/min y 6.02 gr/200cm²/min, inferiores a lo encontrado. Se suma Gutierrez & Oyarce (2021) al encontrar valores muy altos de succión (153.55gr/200cm²/min, 212.42gr/200cm²/min y 290.05gr/200cm²/min) para adiciones de 3%, 5% y 7%.

Determinación de las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

Según el objetivo específico seis, se determinó las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH). La resistencia a compresión con las unidades de albañilería del 10% ,25 % y 50% de agregado natural que contiene partículas de hierro, su resistencia a compresión llega a los 68.20kg/cm²,60.82kg/cm² y 50.01kg/cm².Sin embargo, para aquellos ladrillos que se les adiciono el 75% de este agregado natural que contiene partículas de hierro su resistencia disminuyó a 44.18kg/cm². Respecto a estos resultados obtenidos se refuerza con Vargas (2017) porque encuentra que para las adiciones de agregados se obtuvo valores superiores a la

Norma E-070, aunque difiere con la adición 75%, porque sus valores encontrados fueron superiores a 139.85 kg/cm². También, agrega Espinosa & Pejerrey (2018) que la resistencia es mayor cuando se utilizan adiciones, porque determinó al 20% y 30% de adición, resistencia de 133.04 kg/cm² y 138.68kg/cm². Por otro lado, se refuta a con Gutierrez & Oyarse (2021) porque demuestra que con adiciones no se satisface la exigencia de la norma E070, siendo valores de resistencia menores a los del estudio (35.96 kg/cm², 23.16 kg/cm² y 15.52 kg/cm²).

Comparar los resultados obtenidos de los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH).

Por último, en referencia al **objetivo específico siete**, se comparó los resultados obtenidos en los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH). De la comparación de los resultados obtenidos, en cuanto al ensayo de variación dimensional se observa que la muestra patrón con la adición del 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro es la más óptima, debido al menor porcentaje de variación que presenta en largo y ancho de -0.24% y -0.27%, sin embargo, en su altura la variación es de 4.76% y el menor porcentaje de variación en altura es de 3.67% la cual presenta los ladrillos elaborados con la muestra patrón. Del mismo modo todas las muestras de ladrillo artesanal analizadas podrían clasificarse como ladrillo de clase I o II, puesto que los porcentajes de variación son menores en comparación a los valores indicados en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería (2006). Finalmente, se acepta el lote de fabricación, ya que está por debajo del 40% exigido por la Norma Técnica Peruana E. 070 de albañilería, además estas unidades se clasifican como ladrillos clase I debido a al rango de variaciones que presentan estas unidades comprendidas entre

-0.24% y 5.65% siendo porcentajes de variación aceptables para el ladrillo clase I. Al comparar estos resultados con Vargas (2017) se refuta tal resultado porque encontró que el porcentaje de variación son menores a los de la muestra óptima con la adición del 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (-0.39%, -0.48% y 1.23%) al 6% de adición. Lo mismo es evidente con Espinoza & Pejerrey (2018) porque también tienen menor variación en sus ladrillos. Mientras que se encuentra mayor variación en Gutierrez & Oyarce (2021) que la variación es superior a lo encontrado en la presente investigación, cuyos valores son superiores cuando se emplean agregados del 3%, 5% y 7% (9.05%, 9.17%, 7.14%; 8.57%, 10.83%, 8.57%; 8.09 %, 8.33% y 11.43 %).

Sobre el alabeo se infiere que las unidades de albañilería elaboradas con la muestra patrón adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, presenta un menor alabeo en su concavidad y a la vez presenta mayor alabeo en convexidad con respecto a los ladrillos elaborados la muestra patrón y con la adición de porcentajes del 25%, 50% y 75%. La Norma Técnica Peruana E.070 (2006) en la Tabla N°1 Clase de Unidad de Albañilería para Fines Estructurales, indica que el alabeo máximo en mm para un Ladrillo Tipo I, será de 10mm. El alabeo de todas las muestras de ladrillo artesanal sometidas al ensayo de alabeo se encuentra entre 0.39 mm y 2.78 mm, siendo menor el alabeo en comparación al máximo alabeo de 10 mm, indicado en la Norma Técnica Peruana E.070 (2006) para un Ladrillo Tipo I, por lo que se acepta este lote de fabricación. Además, considerando que el alabeo máximo de todas las unidades ensayadas es de 2.78 mm, estando por debajo del alabeo máximo de 4mm para un ladrillo Tipo IV.

Referente a la absorción se contempla que los ladrillos artesanales con el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro presentan una absorción más baja, a diferencia de las otras unidades, sin embargo, todas las muestras cumplen con lo establecido por la Norma Técnica Peruana E.070 (2006), al no sobrepasar el 22% de

absorción. Tal resultado se refuerza con Vargas (2017) porque encuentra que en los ensayos de su elaboración de ladrillos valores inferiores al 22% con respecto a la E.070, tanto para su muestra patrón como para sus adicciones. El resultado es apoyado con Espinoza & Pejerrey (2018) porque se muestra que la absorción es mayor cuando se le adicionan el 20% y 30% de agregados. Sin embargo, se refuta con Gutierrez & Oyarse (2021) porque evidencia que, si bien se encuentra que mayores adicciones, son mayores los niveles de absorción, los valores encontrados por tal autor no cumplen la Norma Técnica Peruana, teniendo niveles de absorción superiores al 20%.

Con respecto a la succión se encuentra que para aquellos ladrillos artesanales elaborados con el 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro, estos resultados son menores a los ladrillos artesanales que fueron elaborados con material convencional (Muestra patrón). Todo este lote de ladrillos artesanales sobrepasa los 20g/200cm²/min recomendado por la Norma Técnica Peruana E.070(2006), por lo que estas unidades deberían ser regadas antes de ser asentadas. Tal resultado se refuta con Vargas (2017) porque encuentra que los indicadores de succión no cumplen con el mínimo de valor recomendado por la E.070(2006). Lo mismo sucede en Gutierrez y Oyarse (2021) porque sus valores de succión son menores a lo establecido en la norma E.070. A su vez se evidencia que German & Pérez (2020) si satisface la Norma Técnica Peruana porque obtiene en sus adicciones de 2.5%, 5% y 7.5% absorción de 7.17gr/200cm²/min, 6.85gr/200cm²/min y 6.02 gr/200cm²/min, aunque difiere con el resultado del estudio.

En referencia a la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería los ladrillos artesanales elaborados tradicionalmente (muestra patrón), obtuvieron una resistencia a compresión de 45.20kg/cm². En tanto los ladrillos elaborados con la muestra patrón con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene

partículas de hierro lograron alcanzar las siguiente resistencia a compresión 68.20 kg/cm², 60.82 kg/cm², 50.01 kg/cm² y 44.18 kg/cm² respectivamente, comparando estos resultados se muestra que los ladrillos artesanales elaborados con la muestra patrón y con el 75% de MH no cumple con las exigencias mínimas establecidas en la Norma Técnica Peruana E-070(2006) de albañilería , donde indica que la resistencia mínima que debería tener un ladrillo artesanal Tipo I es de 50kg/cm². Las muestras de ladrillos elaborados con el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro es la más óptima, puesto que alcanza una resistencia a compresión de 68.20kg/cm². Lo encontrado es comparable a Vargas (2017) porque encuentra que tiene valores superiores a la exigencia mínima presente a la norma E-070 pero especifica que se obtiene ello cuando se hace uso del acero. A su vez se suma Espinoza & Pejerrey (2018) porque encuentran que las resistencias en sus ladrillos cumplen las condiciones de la norma e inclusive son muy superiores al resultado del presente estudio.

Por último, sobre la resistencia a la compresión de pilas de albañilería se obtuvo con muestra patrón un valor de 23.88kg/cm². Sin embargo, las unidades que se elaboraron con el 10%, 25%, 50% y 75 % de agregado natural que contiene partículas de hierro llegaron a tener resistencias de 36.64kg/cm²,30.95kg/cm²,28.07 kg/cm²y 25.41 kg/cm²estos valores son mayores a las resistencias obtenidas de la muestra patrón. Los resultados obtenidos reflejan que la única muestra que cumple con lo establecido por la Norma Técnica Peruana E.070 (2006) de albañilería, son aquellas pilas de albañilería que fueron elaboradas con el 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro ya que su resistencia a compresión es de 36.64 kg/cm² y es mayor a la resistencia mínima de 35kg/cm². que exige la Norma Técnica de Albañilería E.070. Tal resultado se refuta con Vargas (2017) porque encuentra en la resistencia a compresión en pilas valores para la muestra patrón de 137.00 kg/cm² y también fue mayor por cada adición de material. A

su vez, Espinoza & Pejerrey (2018) evidencia valores superiores de resistencia a compresión de pilas a lo exigido por la norma, siendo superiores a 140 kg/cm². Lo mismo sucede con German & Pérez (2020), porque encuentran valores que satisfacen a la Norma E.070, aunque en su valor mínimo de exigencia y casi siendo parecido a la adición del 10% encontrada en el estudio de 36.64kg/cm².

Implicancias

Referente a las implicancias prácticas, teóricas o metodológicas de los resultados se encuentra que el mejor ladrillo para ser empleado como unidad de albañilería, corresponde a la muestra de ladrillos elaborados con adición del 10% de agregado natural que contiene partículas de hierro, puesto que sus propiedades físicas y mecánicas satisfacen a lo indicado en la Norma Técnica Peruana E.070 de albañilería, lo que significa que a nivel práctico estas unidades son de tipo sólido artesanal y de clase I, este tipo ladrillos son aptos para construcciones de albañilería en condiciones de servicio mínimas, además, estas unidades presentan restricciones de uso debido a su nivel de resistencia y durabilidad, y se puede emplear en construcciones de hasta 2 pisos en la zonas sísmicas 2 y 3.

A nivel teórico, su contribución establece que son los ladrillos artesanales son usados desde tiempos antiguos y bajo ese sustento teórico, la mejora de las propiedades físicas y mecánicas permiten seguir ampliando el conocimiento sobre los beneficios de trabajar con ladrillos artesanales, resguardando la costumbre de hacer ladrillos cuyo material provenga de su tierra de origen.

La implicancia metodológica está permitiendo y demostrando que la elaboración del ladrillo puede ser replicable y comparable, contrastando desde el lugar de origen las propiedades benéficas para su elaboración y con ello establecer un ladrillo de calidad acorde a las normativas establecidas.

Finalmente, el alcance de esta investigación fue elaborar unidades de albañilería a partir de materiales empleados convencionalmente adicionando porcentajes de agregado natural que contiene partículas de hierro, permitiendo obtener datos científicos mediante laboratorio con la finalidad que exista registro y se pueda mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos elaborados de manera artesanal, aportando así a los artesanos que elaboran estas unidades, permitiendo obtener ladrillos de mejor calidad y que cumplan los requerimientos de la normativa vigente, logrando beneficiar a la población que hacen uso de estos elementos para la construcción de viviendas en Cajamarca. Los ladrillos artesanales son de uso masivo por lo que es necesario mejorar las propiedades y la calidad de esta unidad de construcción y ante un posible evento sísmico, estos tengan un comportamiento sismo resistente óptimo.

Conclusiones

1. Se concluye que las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo artesanal con agregado natural que contiene partículas de hierro presentan propiedades variadas. A partir de los porcentajes adicionados estas unidades muestran un color más rojizo luego de realizar el proceso de cocción, así mismo incrementa la cantidad de poros, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas variaron de acuerdo al porcentaje de agregado con hierro que se agregó. De los resultados obtenidos de la muestra sometida a los ensayos en laboratorio, se evidencia que algunas propiedades no cumplieron con lo establecido en la Norma técnica Peruana E 070 de Albañilería.
2. Se determinó las propiedades físicas de la Muestra Patrón (MP): Agregado convencional, extraído de "El Cerrillo", concluyendo que estos son de color marrón, con un contenido de humedad de 8.32%, y un Índice de Plasticidad de 7.25% perteneciendo al grupo de suelos granulados arcillosos con presencia de finos y se clasifican como suelos (ML). Este tipo de material presenta una baja plasticidad, lo

cual afectaría a los ladrillos artesanales convirtiéndole en bloques frágiles, disminuyendo así su resistencia a compresión de dichas unidades. A su vez, su peso específico es de 2.44 g/cm^3 encontrándose dentro de los rangos $2.44\text{-}2.55 \text{ g/cm}^3$ que establece el libro Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio, cumpliendo con el peso específico relativo de un suelo arcilloso. El peso unitario obtenido de la muestra fue de 2030 kg/m^3 .

3. Se determinó las propiedades físicas de la Muestra con Hierro (MH): Agregado natural que contiene partículas de hierro, extraído de la cantera "Tingo la Palla", concluyendo que estos son de color gris con presencia de partículas brillosas de color plomo las cuales al estar en contacto con un imán son atraídas, con un contenido de humedad de 1.74%, y un Índice de Plasticidad de 11.90%, este tipo de se clasifica como arcillas de baja plasticidad (CL). Este material presentó una mejor plasticidad en relación a la muestra patrón. A su vez, su peso específico es de 2.75 g/cm^3 encontrándose dentro de los rangos $2.75\text{-}3.00 \text{ g/cm}^3$ que establece el Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, cumpliendo con el peso específico relativo de un suelo con presencia de hierro. El peso unitario obtenido de la muestra fue de 2052.22 kg/m^3 .
4. En relación a las propiedades físicas del material de la muestra patrón (MP) con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que estos suelos son de granulometría gruesa, puesto que el porcentaje que pasa por la malla N° 200 es menor al 50% y se clasifican como suelos (ML). Debido al índice de plasticidad que presentan las muestras 9.06%, 8.01%, 7.55% y 8.74% para cada porcentaje de adición, este tipo de muestreo exhibe un incremento de plasticidad en relación al porcentaje de MH que se agregó, lo que afecta directamente a una unidad elaborado con esta combinación de materiales,

puesto que sus propiedades físicas y mecánicas presentan variación. Del mismo modo sucede con el peso específico relativo de sólidos, se incrementó el resultado en relación a cada porcentaje de adición de hierro, obteniendo los valores de 2.51 g/cm³, 2.52 g/cm³, 2.54 g/cm³ y 2.65 g/cm³.

5. Se elaboró ladrillos artesanales empleando la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), llegando a la conclusión que la muestra de ladrillos con adición del 10% presentó mayor dificultad en el moldeo, por el contrario, la muestra con adición del 75% presentó una mejor trabajabilidad, por consecuencia se evidenció un menor porcentaje de variación dimensional, pero la resistencia a compresión fue la menor de todas las muestras ensayadas.
6. En referencia a las propiedades físicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición del 10% de MH es la más óptima en relación a las demás muestras ensayadas, presentando variación dimensional de 2.73 % en largo, 2.67 en ancho y 4.49% en altura, se presentó mayor variación debido al proceso de moldeó, así mismo esta muestra presentó un menor alabeo en su concavidad de 0.39 mm, a su vez se tiene un valor de absorción de 13.99%, valores que satisfacen la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos de clase 1, por el contrario el valor de succión obtenido de 31.34 gr/200cm²/min no se cumple las exigencias mínimas. En cuanto a las características físicas de ladrillo en su coloración presento un color rojizo que fue más oscuro en relación a cada porcentaje de adición de MH.
7. En referencia a las propiedades mecánicas del ladrillo artesanal elaborado con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural

que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición del 10% de MH es la más óptima en relación a las demás muestras ensayadas, debido a que esta muestra presenta menor porcentaje de poros y un menor alabeo, logrando así obtener una resistencia a compresión de la unidad de 68.20 kg/cm² y una resistencia a compresión de pilas de albañilería de 36.64 kg/cm², estos resultados están por encima de lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería para ladrillos de clase 1, siendo 50 kg/cm² (f'c) en unidades y 30 kg/cm² (f'b) en pilas.

8. Por último, de la comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de los ladrillos artesanales, elaborados con la Muestra Patrón (MP) y con adición del 10%, 25%, 50% y 75% de agregado natural que contiene partículas de hierro (MH), se concluye que la adición de MH mejora las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos artesanales en relación a las unidades elaboradas con el material convencional de la muestra patrón en la ciudad de Cajamarca y se determinó que la muestra elaborada con adición del 10% de MH, satisface los requerimientos de la Norma Técnica Peruana E.070 de Albañilería, para ladrillos de clase 1 a excepción de la propiedad física de la Succión, así mismo la adición de este material incrementa en un 36.40% de resistencia a compresión en unidades y en 4.69% de resistencia a compresión en pilas de albañilería, considerándose como válida la hipótesis asumida.

REFERENCIAS

- Alvarado, J., & Tafur, A. (2020). *Propiedades físico – mecánicas en morteros con fibra de acero trefilado para muros portantes, Cajamarca*. [Tesis de Título profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24943>
- Bautista, J. (2020). *Fabricación y caracterización de ladrillos Eco -amigables con adición de un residuo industrial de hierro*. [Tesis de Título profesional]. Repositorio de Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito., Bogotá, Colombia. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1212>
- Bowles, J. (1981). *Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Primera edición ed.)*. Bogotá, Colombia: *Mc Graw-Will*.
<https://www.udocz.com/apuntes/23747/manual-de-laboratorio-de-suelos-joseph-bowles>
- Castillero, O. (3 de Abril de 2017). *Los 15 tipos de investigación y características*. <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>
- Cerna, J. (2018). *Influencia de la arcilla de caolín en la resistencia a compresión axial de pilas de albañilería fabricadas con ladrillo de arcilla artesanal king kong, Huamachuco 2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Tujillo, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13752>
- Chicchon, J., & Rivasplata, L. (2020). *Características físicas y mecánicas del ladrillo artesanal de arcilla King Kong del Distrito de Monsefú, Provincia de Chiclayo, Región de Lambayeque*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad

Ricardo Palma, Lima, Perú.

<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/3410>

Cornejo, A. (2019). *Evaluación comparativa de las características físico – mecánicas de unidades de ladrillo tipo king kong de 18 huecos elaboradas en la ladrillera latesan con arcillas y arenas de las canteras de Piñipampa y San Jerónimo-Cusco según la norma e.070*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Andina del Cusco, Cusco, Perú. <https://1library.co/document/qvle0egy-evaluacion-comparativa-caracteristicas-mecanicas-elaboradas-ladrillera-pinipampa-jeronimo.html>

Cortéz, L. (2018). *Determinación del comportamiento mecánico, de las unidades de albañilería producidas artesanalmente en el Centro Poblado de Santa Bárbara, Distrito de Baños del Inca – Cajamarca*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2551>

Cruzado, J. (2017). *Estudio de las propiedades físico mecánicas del Ladrillo elaborado artesanalmente en Los Caserios: El Frutilo, La Lúcumá, Agomarca Y Mayhuasi del Distrito de Bambamarca, Provincia De Hualgayoc, Departamento De Cajamarca*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1025>

De Freitas, S., Sousa, L., Martins, M., & Assis, P. (18 de marzo de 2018). "Steel slag and iron ore tailings to produce solid brick". *Springer*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-018-1513-7>

Deleg, N. (2010). *Definición de un proceso de producción semi-industrial de ladrillos en la parroquia susudel*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad

de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/2397>

Díaz, F. (2021). *Evaluación del ladrillo artesanal elaborado a base de arcilla y sedimentos de relaves mineros, Hualgayoc*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Nacional Autónoma de Chota, Cajamarca, Perú.

<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-continental/analisis-estructural/evaluacion-del-ladrillo-artesanal-elaborado-informe-final-de-tesis/34645680>

E.070-Albañilería. (2006). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*.

Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Espinoza, I., & Pejerrey, K. (2018). Propiedades mecánicas del ladrillo con escoria de acero para viviendas unifamiliares San Juan de Lurigancho-2018. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34754>

Ferreira, A. (2003). *Sistema de Interacción Familiar asociado a la autoestima de menores en situación de abandono moral o prostitución*. Universidad Nacional Mayor de

San Marcos, Lima, Perú.

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/559/Ferreira_ra.pdf?sequence=1

Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería Estructural* (Vol. Tercera Edición).

Lima, Perú: Fondo Editorial 2005.

<https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/181453>

- Gamboa, D. (2017). *Determinación de la resistencia a la compresión axial y resistencia al corte puro de la albañilería de ladrillos king kong de concreto fabricados artesanalmente en la ciudad de Cajabamba*. [Tesis de Título Profesional]. Respositorio de Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Peru. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1028>
- German, R., & Perez, J. (2020). *Influencia de la limadura de hierro en las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería de concreto fabricadas artesanalmente, Trujillo 2020*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/25219>
- Guerreo, G., Espinel, E., & Sánchez, H. (23 de noviembre de 2016). Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos. *Revista Tecnura*. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2017.1.a09>
- Guevara, G. (2015). *Influencia del periodo de exposición al agua en la resistencia a compresión ($f'm$) de las pilas de albañilería fabricadas con ladrillo artesanal*. [Tesis de Título Profesional]. Respositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://hdl.handle.net/11537/7243>
- Gutierrez, A., & Oyarce, G. (2021). *Adición de Residuos Sólidos al Ladrillo de Arcilla Artesanal para Mejorar sus Propiedades en Función a la Norma E070-Cajamarca, 2019*. [Tesis de Título Profesional]. Respositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca. <https://hdl.handle.net/11537/28124>
- Kumar, R., Das, P., Beulah, M., & Arjur, H. (26 de febrero de 2020). Ladrillos de geopolímero que utilizan relaves de mineral de hierro, arena de escoria, escoria de alto horno granular molida y cenizas volantes. *Revista Intechopen*. <https://www.intechopen.com/chapters/64347>

- Martín, R. (2015). *Incorporación de escorias de aluminio en la fabricación de productos de arcilla cocida*. [Tesis Doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. <https://oa.upm.es/39791/>
- Maza, O. (2017). *Efecto de la Incorporación de Residuos Industriales en la Resistencia y Durabilidad de Ladrillos de Arcilla*. [Tesis de Maestría]. Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, México. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/28635>
- Mendes , B., Gonçalves, L., de Cássia, R., Ferreira , M., Cota , P., Almeida, A., & M.S, M. (14 de febrero de 2019). Bricks, Effect of the Incorporation of Iron Ore Tailings on the Properties of Clay. *Springer Science*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-05749-7_61
- Mendes, B., Pedroti, L., Fontes, M., Ribeiro, J., Vieira, C., Pacheco, A., & Azevedo, A. (5 de agosto de 2019). Technical and environmental evaluation of the incorporation of iron ore tailings in the construction of clay bricks. *El Sevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095006181932080X>
- Meza, J., & Mamani, W. (2020). *Estudio de los relaves mineros para la elaboración de ladrillos eco amigables*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24461#:~:text=Los%20resultados%20revelan%20una%20alta,resistencia%20promedio%20de%2012%20MPa>.
- Meza, J., & Wu, M. (2018). *Los efectos de la adición del carbonato de calcio en el mejoramiento de las características de los ladrillos artesanales del distrito de chilca año 2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24351>

Ministerio de Producción. (2009). *Guía de las buenas prácticas para ladrilleras artesanales*. <https://www.yumpu.com/es/document/view/28521760/guia-de-buenas-practicas-ambientales-para-ladrilleras-artesanales>

Molocho, J. (2019). *Propiedades físico-mecánicas de unidades de unidades de albañilería de tres ladrilleras artesanales en función de la Norma E.070, Distrito de Bambamarca-Cajamarca-2018*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22323>

Moreno , E., & Osorio, B. (2017). *Factibilidad del uso de polvo de hierro producto del corte por plasma de la industria metalmecánica como sustituto parcial de la arena en el mortero*. [Tesis de Tituto Profesional]. Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia. <http://bibliotecavirtualoducal.uc.cl/vufind/Record/oai:localhost:10185-22390>

Neilly , D., & Cortez, L. (2017). *Procesos y fundamentos de la investigación científica*. Machala, Ecuador: Redes 2017. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12498/1/Procesos-y-FundamentosDeLainvestiacionCientifica.pdf>

NTP-331.017. (11 de diciembre de 2015). *Unidades de Albañilería. Ladrillos de arcilla usados en albañilería. Requisitos*. <https://pdfcoffee.com/ntp-331017-unidades-de-albaileria-ladrillos-de-arcilla-requisitos-1-9-pdf-free.html>

NTP-399.604. (12 de mayo de 2002). *Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de unidades de albañilería de concreto*. https://kupdf.net/download/norma-tecnica-peruana-ntp-399604-2002_59efca8908bbc537369d180e_pdf

- NTP-399.613. (14 de junio de 2005). *Unidades de Albañilería. Métodos de muestreo y ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería*. <https://pdfcoffee.com/ntp-331017-unidades-de-albaileria-ladrillos-de-arcilla-requisitos-1-9-pdf-free.html>
- Ostis, A. (1999). Variaciones dimensionales de los materiales ceramicos. *Revista de Edificación*, 29. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10171/17455>
- Palmas, J. (2020). *Obtención de ladrillo base arcilla de baja densidad y alta resistencia mediante el uso de aditivos*. [Tesis de Maestría]. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Idalgo, México. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2663?show=full>
- Pérez, J., & Merino, M. (20 de setiembre de 2017). *Definicion de Arcilla*. <https://definicion.de/arcilla/>
- Puentes, D. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla como elemento constructivo proveniente de fábricas ubicadas en la zona norte del departamento del Valle del Cauca en Colombia*. [Trabajo de grado-Pregrado]. Universidad de la Costa, Valle del Cauca, Colombia. <https://hdl.handle.net/11323/8235>
- RAE. (2021). *Definición de Arcilla*. <https://dle.rae.es/ladrillo>
- Ranjeet, S., Debjit, A., Shailendra, S., & Nimisha, S. (06 de abril de 2021). Utilización de relaves de mineral de hierro para la fabricación de ladrillos de las minas Donimalai de Karnataka, India. *Niscair*. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/56466>
- Reinaga, W., & Rodriguez, D. (2022). Propuesta de un eco-ladrillo con escoria de acero y material de reciclaje PET para uso de tabiquería, con el fin de reducir el impacto ambiental ocasionado por la fabricación de ladrillos de arcilla en Lima. [Tesis de

Título Profesional]. Universidad Peruana de Ciencias, Lima, Perú.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/659186>

Romero, J. (2021). *Determinación de la resistencia a compresión de ladrillos macizos fabricados con diferentes tipos de arcilla del cantón pastaza y su comparación con el ladrillo común*. [Tesis de Título Profesional]. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/33092>

San Bartolome, A. (1994). *Construcciones de albañilería: comportamiento sísmico y diseño estructural*. Lima: fondo Editorial Peru1994.

Shaqour, E., Abo, A., & Rsheed, A. (18 de agosto de 2021). Improved fired clay brick compressive strength by recycling wastes of blacksmiths' workshops. *Journal of Engineering and Applied Science*.

[https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-021-00002-](https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-021-00002-2#:~:text=The%20study%20aims%20to%20improve,the%20resources%20and%20achieve%20sustainability.)

[2#:~:text=The%20study%20aims%20to%20improve,the%20resources%20and%20achieve%20sustainability.](https://jeas.springeropen.com/articles/10.1186/s44147-021-00002-2#:~:text=The%20study%20aims%20to%20improve,the%20resources%20and%20achieve%20sustainability.)

Singh, R., Shailendra, K., Nimisha, T., & Shing, R. (2021). Utilization of Iron Ore Tailings for Brick Manufacture from Donimalai Mines of. *Journal of Scientific & Industrial Research*.

https://www.researchgate.net/publication/350670556_Utilization_of_Iron_Ore_Tailings_for_Brick_Manufacture_from_Donimalai_Mines_of_Karnataka_India

Soto, G., & Sánchez, L. (2017). *Estudio comparativo de la resistencia a la resistencia a compresión, absorción y dimensionamiento de ladrillo rafo producido en Quimistán Chamelecón y Florida, Honduras*. Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras. <https://doi.org/10.5377/innovare.v6i1.4948>

Támes Alarcon, C. (1945). *Métodos Físicos y Químicos de Laboratorio*. Madrid, España.

Tasilla, R. (2021). *Variación de la resistencia a la compresión axial, absorción, variación dimensional y alabeo de los ladrillos artesanal al adicionar residuos de granito al 5%, 10% y 15%, Cajamarca 2021*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Privada Del Norte, Cajamarca, Perú.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29830>

Thejas, H., & Hossiney, N. (23 de febrero de 2022). Ladrillos activados con álcali fabricados con relaves de mineral de hierro de desecho minero. *Elsevier*.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00973>

Torres, S. (2021). *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del ladrillo de arcilla fabricados en la ciudad de Iquitos*. [Tesis de Grado de Bachiller]. Repositorio de Universidad Científica del Perú, Iquitos, Perú.
<http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1182>

Uriarte, J. M. (21 de octubre de 2021). *Características del hierro*.
<https://humanidades.com/hierro/>

Vargas, J. (2017). *Evaluar la Influencia de los residuos de las cizalladuras de acero estructural en la adición de la fabricación de las unidades de albañilería más vendidas en la ciudad del cusco, analizadas en la Ladrillera Bellota E.I.R.L, de San Jerónimo-Cusco*. [Tesis de Título Profesional]. Repositorio de Universidad Alas Peruanas, Cuzco, Perú.
<https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/3829>