

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego
incorporando vermiculita expandida**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Cesar David Perez Silva

ASESOR

Jose Alberto Acero Martinez

<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>

Chiclayo, 2025

**Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a
fuego incorporando vermiculita expandida**

PRESENTADA POR
Cesar David Perez Silva

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carranza Cieza
PRESIDENTE

Carlos Enrique Cumpa Vieyra
SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez
VOCAL

Dedicatoria

A mi amado padre Gilberto y a mi amada madre Nohemí.
Su apoyo constante fue la base para encaminarme inquebrantablemente hacia adelante y el amor incondicional que me dan será siempre mi mayor motivación para llevarles felicidad a nuestro hogar con mis acciones en esta vida. A ellos les debo quién soy y por ellos no me permitiré rendirme ante las dificultades que se me presenten.
El cariño que siento por ustedes es inconmensurable.
Gracias por todo, los amo.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por colocar las oportunidades necesarias en mi camino para demostrar la persona que soy y brindarles felicidad a mis seres queridos.
Gracias a mi hermano William por ser fuente de mi inspiración para pensar en quién quería llegar a ser desde que era pequeño.
Gracias a mi hermano Oscar por ser quien protege a nuestra familia y da una mano de apoyo en los momentos complicados.
Gracias a ti mi amor, por estar presente en mi vida a pesar de la distancia y por ser un ejemplo de esfuerzo para alcanzar mis metas.

Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %	20 %	6 %	9 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5 %
2	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
6	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1 %
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1 %
8	Jingbo Liu, Yan Zhuge, Xing Ma, Haolan Xu, Xuan Wu, Ming Liu, Yue Liu. "Foam concrete nanocomposites synergistic integration of ultrasonically exfoliated two-dimensional	<1 %

Índice

Resumen	19
Abstract	20
Introducción.....	21
Revisión de literatura.....	27
Antecedentes	27
Bases teóricas.....	30
Concreto.....	30
Diseño de mezcla	34
Comportamiento y resistencia del concreto expuesto a fuego	34
Vermiculita	37
Normativas.....	39
Materiales y métodos	40
Tipo de investigación.....	40
Diseño de investigación	40
Población, muestra y muestreo	40
Población y muestra.....	40
Criterios de selección	44
Operacionalización de variables	45
Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
Procedimientos	47
Adquisición de los materiales	47
Ejecución de ensayos físicos a los agregados fino y grueso	47
Ejecución de los ensayos físicos de la vermiculita expandida (VE).....	55
Realización del diseño de mezcla	58

Cantidad de adición de vermiculita expandida	58
Elaboración del concreto.....	59
Realización de los ensayos en estado fresco.....	59
Realización de probetas cilíndricas de concreto y curado	67
Realización del ensayo de resistencia a la compresión del concreto	67
Realización de la exposición a fuego de las muestras.....	69
Diagrama del procedimiento.....	74
Resultados y discusión	75
Resultados del ensayo de granulometría de los agregados.....	75
Granulometría del agregado grueso	75
Granulometría del agregado fino	76
Resultado del ensayo de pesos unitarios de los agregados.....	77
Pesos unitarios seco suelto del agregado grueso.....	77
Pesos unitarios seco compactado del agregado grueso	78
Pesos unitarios seco suelto del agregado fino	78
Pesos unitarios seco compactado del agregado fino	79
Resultados del ensayo de pesos específicos y porcentaje de absorción de los agregados	79
Pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso.....	79
Pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino	80
Resultados del ensayo de contenido de humedad de los agregados.....	80
Contenido de humedad del agregado grueso	80
Contenido de humedad del agregado fino.....	81
Resultados de la caracterización de la vermiculita expandida	81
Ensayo de granulometría de la vermiculita expandida	81
Contenido de humedad de la vermiculita expandida	82
Peso específico y absorción de la vermiculita expandida	83
Densidad de la vermiculita expandida	83
Diseño de mezcla del concreto.....	84
Incorporación de vermiculita expandida en la mezcla	85

Resultados de los ensayos realizados al concreto	86
Resultados del ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco	86
Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco	87
Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto.....	91
Resultados de la exposición a fuego	96
Resultados de las temperaturas de exposición a fuego	96
Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto expuesto a fuego.....	98
Resultados de la evaluación económica entre el concreto común y el concreto con vermiculita expandida	110
Discusiones	116
Discusión de las propiedades físicas de la vermiculita expandida.....	116
Discusión de la trabajabilidad del concreto	118
Discusión de la resistencia a compresión inicial.....	119
Discusión de la resistencia a compresión después de ser expuesto a fuego.....	122
Discusión de la densidad del concreto	125
Discusión de la evaluación económica	126
Conclusiones	128
Recomendaciones	130
Referencias.....	131
Anexos	134
Panel de datos de vermiculita expandida.....	134
Ficha técnica de la vermiculita expandida	134
Panel fotográfico de la vermiculita expandida.....	135
Panel de ensayos de laboratorio.....	137
Panel de ensayos de laboratorio del agregado fino y agregado grueso.....	138
Panel de ensayos de laboratorio de la vermiculita expandida.....	144
Panel del diseño de mezcla del concreto.....	149
Panel de ensayos de laboratorio del concreto en estado fresco.....	158
Panel de ensayos de laboratorio del concreto en estado endurecido.....	163
Panel fotográfico de resultados de resistencia a compresión	171

Panel fotográfico de exposición a fuego	181
Panel fotográfico de los resultados de resistencia a la compresión de muestras expuestas a fuego	185
Panel de costos	193

Lista de anexos

Anexo N° 1: Ficha técnica de la vermiculita expandida	134
Anexo N° 2: Fotografía de la vermiculita	135
Anexo N° 3: Fotografías de los granos de la vermiculita expandida	135
Anexo N° 4: Fotografía de la vermiculita expandida con una regla de referencia	136
Anexo N° 5: Ficha de validación de ensayos de laboratorio.....	137
Anexo N° 6: Ficha de ensayo de granulometría del agregado fino.....	138
Anexo N° 7: Ficha de ensayo de granulometría del agregado grueso	139
Anexo N° 8: Ficha de ensayo de pesos unitarios del agregado fino	140
Anexo N° 9: Ficha de ensayo de pesos unitarios del agregado grueso	141
Anexo N° 10: Ficha de ensayo de pesos específico y absorción del agregado fino y agregado grueso	142
Anexo N° 11: Ficha de ensayo de contenido de humedad del agregado fino y agregado grueso	143
Anexo N° 12: Ficha de ensayo de granulometría de la vermiculita expandida	144
Anexo N° 13: Ficha de ensayo de peso específico y absorción de la vermiculita expandida	145
Anexo N° 14: Ficha de ensayo de contenido de humedad de la vermiculita expandida.....	146
Anexo N° 15: Carta de autorización del ensayo de densidad de la vermiculita expandida ...	147
Anexo N° 16: Ficha de ensayo de densidad de la vermiculita expandida.....	148
Anexo N° 17: Ficha de diseño de mezcla del concreto.....	149
Anexo N° 18: Fichas de cálculo del diseño de mezcla del concreto.....	151
Anexo N° 19: Ficha de ensayo de asentamiento del concreto	158
Anexo N° 20: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 0% de VE.....	159
Anexo N° 21: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 5% de VE.....	160
Anexo N° 22: Ficha de ensayo densidad del concreto con 10% de VE.....	161
Anexo N° 23: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 15% de VE.....	162
Anexo N° 24: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 0% de vermiculita expandida	163

Anexo N° 25: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 5% de vermiculita expandida	164
Anexo N° 26: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 10% de vermiculita expandida	165
Anexo N° 27: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 15% de vermiculita expandida	166
Anexo N° 28: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C	167
Anexo N° 29: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C	168
Anexo N° 30: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 1 hora – 900°C.....	169
Anexo N° 31: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C	170
Anexo N° 32: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto patrón según sus edades	171
Anexo N° 33: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto con 5% de adición de vermiculita expandida.....	173
Anexo N° 34: Panel fotográfico de la estructura del concreto con 5% de adición de vermiculita expandida	175
Anexo N° 35: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto con 10% de adición de vermiculita expandida.....	176
Anexo N° 36: Panel fotográfico de la estructura del concreto con 10% de adición de vermiculita expandida	177
Anexo N° 37: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de vermiculita expandida	178
Anexo N° 38: Estructura interna del concreto con 15% de adición de vermiculita expandida	179
Anexo N° 39: Panel fotográfico de lecturas de temperatura según el tiempo de exposición	181
Anexo N° 40: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 15 minutos – 600°C	182
Anexo N° 41: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 30 minutos – 750°C	183
Anexo N° 42: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 1 hora – 750°C	183
Anexo N° 43: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 2 horas – 1000°C	184

Anexo N° 44: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 15 minutos – 600 °C	185
Anexo N° 45: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 30 minutos – 750 °C	187
Anexo N° 46: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 1 hora – 900 °C	189
Anexo N° 47: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 2 horas – 1000 °C	191
Anexo N° 48: Precio de mano de obra según Revista Costos.....	193
Anexo N° 49: Precio de maquinaria según Revista Costos	193
Anexo N° 50: Precio unitario de concreto por m^3 según Revista Costos	193

Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación por tipo y uso del cemento [23]	31
Tabla 2: Requerimiento de granulometría para agregado fino [25]	32
Tabla 3: Requisitos granulométricos del agregado grueso [25]	32
Tabla 4: Valores numéricos de la curva tiempo – temperatura [1]	35
Tabla 5: Daño del incendio sobre el concreto según color y temperatura [29].....	36
Tabla 6: Composición química de la vermiculita (% en peso) [18].....	38
Tabla 7: Muestras para la medición del asentamiento del concreto.....	41
Tabla 8: Muestras para la determinación de la densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco	41
Tabla 9: Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin exposición a fuego.....	42
Tabla 10: Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión después de haber sido expuestas al fuego.....	43
Tabla 11: Operacionalización de variables	45
Tabla 12: Variables intervinientes.....	46
Tabla 13: Datos del ensayo de granulometría del AG	75
Tabla 14: Datos del ensayo de granulometría del AF	76
Tabla 15: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AG	77
Tabla 16: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AG	78
Tabla 17: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AF	78
Tabla 18: Datos del ensayo de peso unitario seco compactado del AF	79
Tabla 19: Datos de las muestras de AG del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción.	79
Tabla 20: Datos de las muestras de AF del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción.	80
Tabla 21: Datos del AG del ensayo contenido de humedad.	80
Tabla 22: Datos del AF del ensayo contenido de humedad.	81
Tabla 23: Datos del ensayo de granulometría de VE.....	81

Tabla 24: Datos de la vermiculita expandida del ensayo contenido de humedad.....	82
Tabla 25: Datos de la muestra de VE del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción	83
Tabla 26: Datos del ensayo de densidad de VE	83
Tabla 27: Resistencia a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra	84
Tabla 28: Dosificación del concreto en peso	84
Tabla 29: Dosificación del concreto en volumen.....	85
Tabla 30: Cantidad de materiales por volumen del concreto con adiciones.	85
Tabla 31: Resultados del asentamiento del concreto según porcentaje de adición.....	86
Tabla 32: Resultados de la densidad del concreto patrón (0% VE)	87
Tabla 33: Resultados de la densidad del concreto con 5% de VE	88
Tabla 34: Resultados de la densidad del concreto con 10% de VE	89
Tabla 35: Resultados de la densidad del concreto con 15% de VE.	90
Tabla 36: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 0% de VE (patrón).	91
Tabla 37: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 5% de VE.	92
Tabla 38: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 10% de VE.	93
Tabla 39: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras al 15% de adición.	94
Tabla 40: Resistencia a la compresión inicial del concreto en todas sus variaciones con vermiculita expandida	96
Tabla 41: Resumen de lecturas de temperatura de exposición.....	97
Tabla 42: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C.	99
Tabla 43: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego con las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C.....	100
Tabla 44: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C.	101
Tabla 45: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C	102

Tabla 46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 1 hora – 900°C	103
Tabla 47: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 1 hora – 900°C.	104
Tabla 48: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C	105
Tabla 49: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C.	106
Tabla 50: Resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego y muestras sin exposición a fuego.....	107
Tabla 51: Porcentaje de variación de las resistencias a la compresión de las muestras expuestas a fuego comparadas con el $f'c$ de las muestras sin exponer ($f'c$ inicial)	108
Tabla 52: APU del concreto patrón (0% VE)	110
Tabla 53: Análisis de precios unitarios del concreto con 5% VE	112
Tabla 54: APU del concreto con 10% VE.....	113
Tabla 55: APU del concreto con 15% de VE.....	114
Tabla 56: Comparación de la diferencia económica de los concretos	114
Tabla 57: Comparación de las características de la vermiculita expandida.....	116
Tabla 58: Comparación de granulometría de la vermiculita expandida con el agregado fino	117
Tabla 59: Variación de la resistencia a compresión de las muestras con adición en comparación con la muestra patrón.....	121
Tabla 60: Porcentaje de reducción de las muestras expuestas a fuego en relación con el $f'c$ inicial.....	123
Tabla 61: Comparación de precios unitarios del concreto patrón (0% VE).....	127

Lista de figuras

Figura 1: Reportes de emergencia de incendios urbanos en Lima [7]	22
Figura 2: Estadística de emergencias atendidas a nivel nacional (Junio,2024) [8].....	22
Figura 3: Estadística de emergencias a lo largo del tiempo (junio, 2024) [8].....	23
Figura 4: Curva tiempo – temperatura [1].....	35
Figura 5: Resistencia a compresión residual tras calentar a varias temperaturas [30, p. 71] ...	37
Figura 6: Pesado y cuarteo de la muestra de AG utilizada.....	48
Figura 7: Tamizado del AG.....	48
Figura 8: Pesos de la muestra de AG retenidos en los tamices.	48
Figura 9: Cuarteo, pesado y lavado del AF.	49
Figura 10: Muestra húmeda colocada en el horno	49
Figura 11: Peso de la muestra secada al horno y tamizado de la muestra separado por malla.	49
Figura 12: Pesos de la muestra del AF retenido en los tamices.	50
Figura 13: Peso del molde y del AG para el ensayo de peso unitario seco suelto.	50
Figura 14: Peso del molde y del AG para el ensayo de peso unitario seco compactado.	51
Figura 15: Peso del molde y del AF para el ensayo de peso unitario seco suelto.....	51
Figura 16: Peso del molde y del AF para el ensayo de peso unitario seco compactado.	52
Figura 17: Muestra de AG saturada, muestra secada superficialmente y peso de la canastilla.	52
Figura 18: Pesos de la muestra 01 de AG para en ensayo de peso específico y absorción antes de sumergir, sumergido y secado al horno, respectivamente.....	53
Figura 19: Pesos de la muestra 02 de AG para en ensayo de peso específico y absorción antes de sumergir, sumergido y secado al horno, respectivamente.....	53
Figura 20: Peso de la muestra de AF y peso de la fiola.	53
Figura 21: Introducción del agua y arena en la fiola, material dentro de la fiola y material después de 24 horas, respectivamente.....	54
Figura 22: Introducción del agua y arena en la fiola, material dentro de la fiola y material después de 24 horas, respectivamente.....	54
Figura 23: Peso de la muestra de AG antes y después de meterlo al horno.....	54

Figura 24: Peso de la muestra de AF antes y después de meterlo al horno.	55
Figura 25: Peso inicial de la muestra de VE y muestra tamizada de VE.	55
Figura 26: Pesos de la muestra de VE retenida en los tamices.	56
Figura 27: Peso del recipiente, peso de la muestra 01 de VE antes y después del horno, respectivamente.	56
Figura 28: Peso del recipiente, peso de la muestra 02 de VE antes y después del horno, respectivamente.	56
Figura 29: Peso de la fiola y peso inicial de la muestra de VE.	57
Figura 30: Peso de la muestra de VE + agua + fiola.	57
Figura 31: Peso del recipiente y peso de la muestra de VE después de meterlo al horno.	57
Figura 32: Procedimiento del ensayo de densidad de la VE.	58
Figura 33: Procedimiento del ensayo de trabajabilidad (slump).	59
Figura 34: Medición del asentamiento para el concreto patrón.	60
Figura 35: Medición del asentamiento para el concreto con 5% de VE.	60
Figura 36: Medición del asentamiento para el concreto con 10% de VE.	61
Figura 37: Medición del asentamiento para el concreto con 15% de VE.	61
Figura 38: Pesado de muestras de concreto patrón (0% VE) para ensayo de densidad.	63
Figura 39: Pesado de muestras de concreto con 5% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.	64
Figura 40: Pesado de muestras de concreto con 10% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.	65
Figura 41: Pesado de muestras de concreto con 15% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.	66
Figura 42: Procedimiento de elaboración de probetas cilíndricas de concreto.	67
Figura 43: Colocación de muestra de concreto en la máquina para ensayo de resistencia a compresión.	68
Figura 44: Esquema de patrones de tipos de fracturas [33]	68
Figura 45: Ilustración representativa externa del HA	69
Figura 46: Ilustración representativa del interior del HA en funcionamiento.	70
Figura 47: Fotografía del horno artesanal.	70

Figura 48: Termómetro infrarrojo	71
Figura 49: Horno artesanal en el que se realizó la exposición a fuego de las muestras de concreto.	73
Figura 50: Vista del interior del horno artesanal en funcionamiento desde la escotilla por la que se tomaban las lecturas de temperatura.	73
Figura 51: Curva granulométrica del AG.....	76
Figura 52: Curva granulométrica del AF.	77
Figura 53: Curva granulométrica de VE.	82
Figura 54: Comparación del asentamiento del concreto según cada porcentaje de VE.....	86
Figura 55: Densidades del concreto según cada porcentaje de adición.	90
Figura 56: Comparación de los $f'c$ de los concretos al 0%VE, 5%VE, 10%VE y 15%VE según su edad.	95
Figura 57: Comparación de temperaturas tomadas vs temperaturas esperadas.	98
Figura 58: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 15 minutos – 600°C.	100
Figura 59: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 30 minutos – 750°C.	102
Figura 60: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 1 hora – 900°C.	104
Figura 61: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 2 horas – 1000°C.	106
Figura 62: Resistencias a compresión promedio de las muestras de concreto según sus tiempos de quemado y sus porcentajes de adición.	107
Figura 63: Porcentaje de resistencia a la compresión a la $f'c$ que se encuentran las muestras sometidas a fuego en relación con las muestras sin exposición a fuego.	109
Figura 64: Comparación de precios unitarios del concreto sin adición y del concreto con adición.	115
Figura 65: Comparación de curvas granulométricas del AF y la VE.....	117
Figura 66: Comparación del $f'c$ real o patrón con el $f'c$ requerido y $f'c$ teórico del concreto.	119
Figura 67: Curvas de los $f'c$ de los concretos al 0%, 5%, 10% y 15% de adición de vermiculita expandida.	120
Figura 68: Variación de las resistencias a compresión de las muestras de concreto	121

Figura 69: Porcentaje de variación de resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego en relación con las muestras sin exponer a fuego.	124
Figura 70: Variación de las densidades del concreto según cada porcentaje de adición.	125
Figura 71: Relación entre la densidad y la resistencia a compresión.	126

Resumen

La vermiculita expandida (VE) podría ser usada en la construcción por ser una novedosa alternativa para añadir resistencia contra el fuego al concreto, lográndose gracias a su rendimiento térmico. La presente investigación planteó evaluar el efecto del fuego con sus altas temperaturas en las propiedades mecánicas del concreto adicionándole VE en porcentajes de 5%, 10% y 15% del volumen del concreto y exponiéndose a fuego por 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas, logrando temperaturas aproximadas a 600°C, 750°C, 900°C y 1000°C, respectivamente. Inicialmente se realizaron pruebas de concreto en estado fresco, como asentamiento y densidad para cada porcentaje de VE. También se realizaron las pruebas de resistencia a compresión del concreto expuesto en temperatura ambiente y en condiciones de fuego. A 15 minutos de exposición el concreto aumentó su resistencia en todas las muestras, siendo el 10% de VE la de mayor aumento seguida del 15% de VE. En los demás tiempos de exposición la resistencia decreció, siendo 0% de VE la de menor disminución a 30 minutos – 750°C, seguida del 10% de VE. No obstante, el mejor rendimiento en 1 hora – 900°C y 2 horas – 1000°C fue 15% de VE.

Palabras clave: Vermiculita expandida, concreto con adición, resistencia al fuego, resistencia a elevadas temperaturas, rendimiento térmico.

Abstract

Expanded vermiculite (VE) could be used in construction as it is a novel alternative to add fire resistance to concrete, achieved thanks to its thermal performance. The present investigation proposed to evaluate the effect of fire with its high temperatures on the mechanical properties of concrete by adding VE in percentages of 5%, 10% and 15% of the volume of the concrete and exposing it to fire for 15 minutes, 30 minutes, 1 hour and 2 hours, achieving temperatures of approximately 600°C, 750°C, 900°C and 1000°C, respectively. Initially, concrete tests were carried out in the fresh state, such as slump and density for each percentage of VE. Compression resistance tests of exposed concrete were also carried out at room temperature and under fire conditions. After 15 minutes of exposure, the concrete increased its resistance in all samples, with 10% VE being the one with the greatest increase followed by 15% VE. At the other exposure times the resistance decreased, with 0% VE being the one with the smallest decrease at 30 minutes – 750°C, followed by 10% VE. However, the best performance in 1 hour – 900°C and 2 hours – 1000°C was 15% VE.

Keywords: Expanded vermiculite, concrete with addition, fire resistance, resistance to high temperatures, thermal performance.

Introducción

Los incendios en los edificios han despertado un interés debido a la amenaza que representan para las estructuras de las edificaciones y la de sus habitantes. El fuego puede aumentar su temperatura rápidamente al pasar de los minutos e ir deteriorando el concreto cada vez más y más. La ASTM [1] explica el aumento de temperatura del fuego con respecto al tiempo, siendo de 538°C cuando se encuentra a 5 minutos de haber iniciado, elevándose hasta los 704°C a los 10 minutos, seguido de 843°C a 30 minutos, subiendo hasta los 921°C a 1 hora, 1010°C a 2 horas, 1093°C a 4 horas y pudiendo llegar hasta los 1260°C en 8 horas o más. Es por ello que durante este tipo de eventos, la resistencia de los materiales es de suma relevancia, ya que el fuego puede causar diversos daños o fallas, siendo la pérdida de resistencia el principal factor afectado [2].

Todos los años hay más de 490 000 incendios estructurales reportados tan solo en Estados Unidos y aproximadamente 14 500 son en edificaciones de gran altura [3]. Un caso muy conocido es el del atentado del 2001 de las Torres Gemelas, ubicadas en Estados Unidos, en el cual, a inicios se creía que el colapso del edificio fue por el impacto, sin embargo no, este fue consecuencia del fuego originado por el combustible de los aviones, estimándose que el 70% del edificio se quemó a temperaturas entre los 800°C y 1000°C, obteniéndose las fallas en la estructura [4]. Aunque en este caso el material de la estructura fue en gran parte de aluminio [5], el suceso denota la importancia de que un material tenga una buena tolerancia térmica. Según [6], cuando pasan estos eventos, las cualidades específicas de los materiales usados en construcción, tales como la microestructura y sus características fisicoquímicas y mecánicas, se ven perjudicadas.

Dentro de Perú también se reportan incendios urbanos, según varios medios de comunicación. Estos suelen suceder de manera repentina, como también de manera gradual y se pueden dar en edificaciones de distintos usos. El SEPRR [7] muestra el reporte de todos los incendios ocurridos y registrados desde 1993 hasta el año 2018 en Lima, a través del siguiente gráfico:

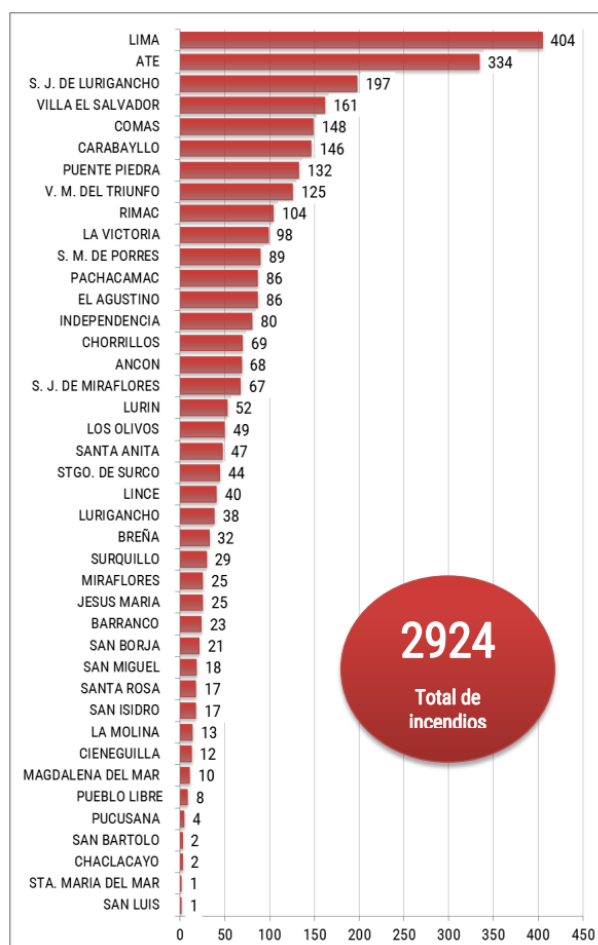


Figura 1: Reportes de emergencia de incendios urbanos en Lima [7]

Del mismo modo, el cuerpo de bomberos del Perú [8] también brinda información, detallando que, en lo que va del 2024 hasta mayo, se van registrando un total de 33 508 casos de emergencia atendidos, de los cuales 5101 han sido casos de incendio.



CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERU
COMANDO NACIONAL

ESTADISTICA DE EMERGENCIAS ATENDIDAS A NIVEL NACIONAL TIPO DE EMERGENCIA - 2024

TIPO DE EMERGENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
Incendios	1235	1032	1052	975	807	0	0	0	0	0	0	0	5101
Fuga de gas licuado	548	628	609	603	552	0	0	0	0	0	0	0	2940
Emergencias medicas	2853	2628	2939	2545	2334	0	0	0	0	0	0	0	13299
Rescates	449	417	435	331	261	0	0	0	0	0	0	0	1893
Derrame de productos	11	12	41	8	17	0	0	0	0	0	0	0	89
Corto circuito	203	206	209	210	129	0	0	0	0	0	0	0	957
Servicios especiales	306	409	457	438	445	0	0	0	0	0	0	0	2055
Accidentes vehiculares	1028	1024	1049	866	815	0	0	0	0	0	0	0	4782
Falsa alarma	494	385	355	306	134	0	0	0	0	0	0	0	1674
Otros	146	184	151	149	88	0	0	0	0	0	0	0	718
TOTAL	7273	6925	7297	6431	5582	0	0	0	0	0	0	0	33508

Estadísticas procesada el al %
FUENTE: CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERÚ

Figura 2: Estadística de emergencias atendidas a nivel nacional (Junio,2024) [8]

Además las estadísticas recopiladas a lo largo de la historia el cuerpo de bomberos detallan que han atendido 2 652 660 emergencias que han sido reportadas a través de los años hasta junio del 2024 [8]. De estas emergencias, 260 321 han sido de casos de incendios hasta junio del 2024.



CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERU
COMANDO NACIONAL

ESTADISTICA DE EMERGENCIAS ATENDIDAS A NIVEL NACIONAL COMPARATIVO POR AÑOS

COMPARATIVO POR AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1997	3268	3725	3944	3021	3483	3452	3270	3758	3783	3859	4003	4461	44027
1998	4836	4488	4588	4102	3960	4172	4229	4261	4389	4564	4407	4885	52881
1999	4783	4841	4977	4194	4652	4578	4902	5193	5428	5234	4924	5624	59330
2000	5605	5594	5773	5044	5336	5505	5751	5992	5623	4980	5199	5782	66184
2001	6082	5686	6010	5575	5619	6572	6471	6526	6000	6520	6443	6926	74430
2002	6655	6979	7147	6476	7034	6862	7502	7287	7762	7485	8248		87017
2003	8733	7910	8353	8044	7886	8043	8768	8752	8401	8723	9053	10035	102701
2004	9107	9008	9256	9031	9605	9270	9604	9552	9455	10093	9604	11339	114924
2005	10202	9299	10256	9712	9831	9550	10068	9760	9852	10836	10177	10607	120150
2006	10395	9901	10151	9775	10145	9627	10395	10786	10119	10691	10018	11965	123968
2007	10744	9911	10529	10872	10360	10456	11454	12363	11788	11837	11023	11989	133326
2008	11968	11768	11824	11157	10840	11285	11635	11981	11899	10651	10499	11095	136602
2009	10777	9829	10996	10404	10701	10549	10367	9993	8984	9308	9784	8536	120228
2010	11486	10679	11423	10450	10473	9928	10033	9837	9197	9958	9347	10052	122863
2011	9456	8650	9150	8327	8678	8564	8719	8390	8350	8629	8109	9737	104759
2012	9733	9017	8686	8251	8465	8354	8730	8311	8471	8885	8466	9781	105150
2013	9094	8334	8930	8540	8591	9607	10311	10211	9722	10010	9301	9750	112401
2014	9837	9028	9381	9371	9367	9103	9489	9808	9205	10050	9841	10274	114754
2015	10399	9655	10081	9483	10257	9285	9507	9412	9309	9211	9045	9916	115560
2016	11365	11569	11342	10754	10195	9565	10553	10324	10266	10173	10116	11102	127324
2017	10825	8843	9985	9904	9550	9447	10681	10186	10010	10468	9447	10034	119380
2018	9798	8907	10162	9728	9898	9817	11038	11025	10784	10470	9277	11094	121998
2019	10325	9741	10248	9459	9683	9677	10326	10677	9804	8767	8293	8677	115677
2020	11002	10232	8634	4791	4360	4706	5012	5324	5235	5186	3971	0	68453
2022	6748	6844	6996	6368	6640	6469	6713	6473	6371	7034	6414	6712	79782
2023	6821	6373	6914	6743	6438	6882	7274	7492	7284	7134	5928	0	75283
2024	7273	6925	7297	6431	5582	0	0	0	0	0	0	0	33508
TOTAL	237317	223736	233033	216007	217629	211325	222880	223889	217016	221033	210174	218621	2652660

Estadísticas procesada el al %

FUENTE: CUERPO GENERAL DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DEL PERÚ

Figura 3: Estadística de emergencias a lo largo del tiempo (junio, 2024) [8]

En cuanto al comportamiento del concreto, normalmente hasta 300°C no ocurre una pérdida significativa de resistencia y lo poco que se pierde puede ser recuperado por rehidratación [2]. Sin embargo, por encima de los 300°C comienza la descomposición de los hidratos de silicato de la pasta del cemento [6]. Koksál et al. [9], afirma que, sobre esa temperatura, el agua presente la capa intermedia del hidrato de silicato de calcio (HSC), así como parte del agua combinada en HSC e hidratos de sulfoaluminato, se expulsarán en forma de vapor, generando inicialmente microfisuras que se forman en la región con concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ alrededor de los 300°C y luego se extienden a áreas de grano anhidro a aproximadamente 400°C. Cuando la temperatura sube a 500°C, la portlandita inicia un proceso de descomposición, incitando la degeneración de la matriz de cemento [6]. Generalmente en el rango de temperaturas entre

400°C y 600°C, se pueden desencadenar una secuencia de reacciones, que incluyen el secado por completo del sistema de poros dentro de la pasta de cemento endurecida, la degradación del gel HSC y la desintegración de los productos de hidratación [9]. Conjuntamente, estos cambios que van afectando al concreto se rigen según la temperatura y el tiempo de exposición, siendo 300°C una temperatura que no reduce mucho las características mecánicas del concreto [6], pero a 350°C es la temperatura que da inicio al desconchado, además que a 400°C el agua pasa por un proceso de descomposición, reduciendo la resistencia, afectando al concreto en general [10], siendo la disminución de resistencia entre un 15% al 40% [6]. Además, esta deshidratación térmica provocada por el fuego influye mucho en el concreto endurecido ya que disminuye la vida útil que se esperaba a causa de los daños permanentes que se generan, elevándose más aún la importancia cuando se habla de seguridad y economía [9].

Siendo así que, a medida que la temperatura sube, ocurre una pérdida de agua en la pasta del concreto endurecido, comenzando por el agua libre presente, seguida del agua física absorbida y, por último, la pérdida del agua de enlace químico encontrada en los productos de hidratación, generándose también microfisuras a causa de retracción en la pasta del cemento y la expansión en el agregado [9]. Xing et al. [11] resalta que una parte muy importante del concreto son también los agregados y, por consecuencia, el concreto se ve influenciado por la conductividad térmica que posean dichos agregados, la cual es variada dependiendo de su constitución mineralógica y su microestructura interior. Además, las propiedades de la pasta del cemento en conjunto con los agregados y su adherencia entre ellos también desempeñan un valor crucial en la resistencia global del concreto [9].

Entonces, la exposición al fuego o a altas temperaturas se perfila como un elemento significativo que contribuye al deterioro de las estructuras y, así mismo, a sus materiales usados en su construcción [6]. Es por ello por lo que últimamente ciertos agregados ligeros han estado reemplazando en algún porcentaje a la arena del concreto, siendo el principal motivo la estructura porosa que manejan, ya que es una característica aislante [2], [12]. Además, autores ya han comenzado a investigar sobre diversos materiales que ayuden a mejorar el rendimiento contra el fuego. Se ha hecho el intento con morteros a base de cal y se expusieron a altas temperaturas para evaluar sus resultados [6], también se investigó el concreto con perlas huecas vidriadas [13] para evaluar los daños en su estructura provocados por el fuego.

Del mismo modo, otros investigadores se adentraron en evaluar el comportamiento del concreto expuesto a fuego, pero esta vez con vermiculita en sus diversas variaciones, exponiendo sus muestras a altas temperaturas. Liu et al. [14] examinó la influencia que puede tener la vermiculita expandida adicionada en el concreto sometido a temperaturas elevadas,

demostrando que, aunque a temperaturas de 20°C a 25°C la resistencia a la compresión disminuye, cuando este es colocado a un mayor nivel de temperaturas, se obtiene un mejor desempeño en cuanto a la tasa de disminución que demuestra ante los ensayos de resistencia a la compresión en comparación con concreto común. También se ha estudiado la vermiculita expandida molida adicionada en la fabricación de mortero aislante con diferentes cementos [9], concluyendo que el mejoramiento del desempeño de la resistencia estaría relacionado con una menor expansión térmica de vermiculita expandida molida en temperaturas elevadas, explicando que de esta forma hay menor penetración de calor y llamas. Así mismo, se han indagado las propiedades de los concretos aislantes térmicos [15], morteros autocompactantes [2], [12], morteros ligeros de recubrimiento aislante térmico [16], morteros convencionales [17], todos ellos expuestos a temperaturas elevadas con adición de vermiculita en sus diferentes presentaciones, ya sea cruda, expandida o molida. Por otro lado, otros autores también examinaron la adición de vermiculita en el concreto, pero evaluando solamente su resistencia, ya sea a la compresión [18] o a tracción [19]. Todas estas investigaciones han sido a consecuencia de que se ha visto la posibilidad de adoptar precauciones para disminuir el calor, tales como la elección de un buen material y la incorporación de métodos adecuados de aislamiento en el concreto [9].

En este contexto, la vermiculita expandida destaca como una nueva opción en el uso de la construcción como material resistente a altas temperaturas, debido a su destacado desempeño térmico y su propiedad intrínseca de no generar combustión [14]. La vermiculita es un mineral de arcilla natural con estructura en capas y se utiliza principalmente para la construcción y mejoramiento de suelos [20]. La vermiculita expandida se obtiene calentando vermiculita entre 650°C a 950°C, expandiéndose desde 8 a 30 veces de su tamaño original, demostrando baja conductividad térmica, alto punto de fusión y buenas propiedades para aislar temperatura y sonido [18].

En conclusión, la literatura afirma que la adición de vermiculita expandida al concreto puede tener efectos beneficiosos. Entonces, al agregarlo en la mezcla del concreto, puede mejorar varios aspectos, como sus propiedades físicas, además de la resistencia térmica, la durabilidad y su resistencia a la compresión. Por ende, esta investigación lleva el propósito de demostrar que la adición de vermiculita expandida en el concreto simple va a aumentar su resistencia mecánica en el concreto sometido a fuego. Además, la vermiculita expandida podría reducir el número de agregados, es decir, la cantidad de insumos necesarios en la fabricación de concreto, lo cual lograría disminuir los costos, además de intervenir de manera positiva a nivel ambiental.

La presente investigación pretende emplear un material adicional en la fabricación de concreto simple, el cual será la vermiculita expandida, el cuál es un mineral ligero y poroso que aumentará la cantidad de poros del concreto al mezclarse entre sí, logrando que este sea más resistente contra altas temperaturas. Dicho lo anterior se plantea la siguiente interrogante: ¿En cuánto influye la incorporación de vermiculita expandida en el aumento de la resistencia mecánica del concreto simple sometido al fuego?

Esto conlleva a plantear la siguiente hipótesis: la incorporación de vermiculita expandida en el concreto simple aumenta su resistencia mecánica del concreto sometido a fuego.

Como principal beneficio se contribuye al conocimiento de tener una forma de aumentar la resistencia del concreto simple ante exposiciones de fuego o temperaturas muy elevadas, tornándose importante, ya que demostrar su aumento de resistencia conlleva a que, ante casos de incendios, los elementos de concreto no colapsen tan rápido como se podría esperar de un concreto común o lograr un menor deterioro de la estructura en general después de la exposición al fuego, evitando una gran disminución de la vida útil.

En base a todo lo mencionado, el objetivo general de la presente investigación es demostrar que la incorporación de vermiculita expandida en el concreto simple aumenta su resistencia mecánica del concreto cuando es sometido a fuego. De esta forma, como parte del objetivo general se pretende lograr los siguientes objetivos específicos: caracterizar las propiedades físicas de la vermiculita expandida, determinar la resistencia a la compresión para las muestras de concreto sin adición y para las muestras de concreto con adición de vermiculita expandida, determinar la resistencia a la compresión para las muestras de concreto sin adición y para las muestras de concreto con adición de vermiculita expandida cuando son sometidas a fuego en diferentes rangos de temperatura y tiempo, determinar la densidad del concreto para las muestras sin adición y para las muestras que contengan adición de vermiculita expandida y determinar la diferencia de costos entre la elaboración de un concreto común y la elaboración de un concreto incorporando vermiculita expandida.

Revisión de literatura

Antecedentes

Una evaluación novedosa de materiales resistentes al fuego fue la investigación de los autores J. Liu et al [14], realizado en Alemania, en la cual se analizaron los efectos que causan las elevadas temperaturas sobre la microestructura, las propiedades físico-mecánicas de un concreto que contiene vermiculita expandida como agregado ligero. Trabajaron con muestras de concreto reemplazando la arena con diferentes proporciones de vermiculita expandida, siendo 0%, 10%, 15% y 20%. En estado fresco se evaluó el slump y se utilizó un aditivo, el cual es un superplastificante a base de policarboxilato para mejorar la fluidez. Se dejó endurecer, siendo curada por 28 días y luego se realizó el ensayo de compresión de las muestras. Seguidamente las demás muestras se sometieron a temperaturas de 300, 600 y 900°C durante 1 hora a un calentamiento de 10°C/min en un horno de mufla con capacidad de 1200 °C, se dejaron enfriar y se llevó a cabo los ensayos de resistencia a la compresión usados para evaluar la resistencia residual después que las muestras fueron expuestas a temperaturas elevadas. Como resultado se obtuvo que, en temperatura natural, la resistencia a la compresión disminuye para todas las muestras adicionadas de vermiculita expandida con respecto a las muestras sin adición. Al someterlo a elevadas temperaturas se obtuvo que a 300 °C no hubo mejora significativa, sin embargo, a 600°C, la muestra con 15% de vermiculita fue la que mejor resistencia residual obtuvo con respecto a la muestra patrón con 0% de vermiculita.

También Koksall et al. [9], afirma la mejora del concreto con vermiculita ante exposiciones de temperaturas elevadas, el cual realiza sus ensayos, en Turquía, con el objetivo de fabricar y evaluar morteros aislantes y refractarios con vermiculita expandida en polvo o molida y diferentes cementos, entre los cuales está el cemento portland y también usa el cemento de aluminato de calcio. El porcentaje de vermiculita expandida en polvo usado fue el 15%, 30% y 45% del volumen de la arena. Los materiales se combinaron, se agitaron, se añadió agua, se mezcló y se dejó endurecer, luego se curó 28 días. Seguidamente se sometió a temperaturas de 20 °C, 300 °C y 600 °C y se mantuvieron las muestras durante 3 horas con sus respectivas temperaturas cada una para luego dejarlas enfriar y proceder con los ensayos para determinar la resistencia a la compresión. Como resultados del estado fresco se obtuvo que el slump varió de entre 15 cm a 16 cm y con respecto al estado endurecido se obtuvo que a 20 °C las muestras patrón obtuvieron mejor resistencia, pero a medida que iba aumentando la exposición de temperaturas se fue manifestando que las muestras con vermiculita tenían mejor

comportamiento y las muestras que tenían la combinación de vermiculita expandida en polvo con cemento de aluminato de calcio fueron las que mejores resultados mostraron.

De igual modo, Terzić et al. [15], atestigua que, a través de su investigación de las propiedades de los concretos con aislamiento térmicos, la vermiculita expandida y la perlita son térmicamente estables hasta temperaturas de 1000 °C. En Serbia, este autor hace uso de los mencionados materiales como agregado liviano en un 65% en peso del diseño de mezcla para lograr concretos livianos, así como también hace uso de cemento de aluminato de calcio refractario y cemento portland ordinario; también usó otros grupos de concreto en los cuales sustituyó el agregado fino en un 25%, unos con perlita y otros con vermiculita expandida para luego comparar estas muestras con concretos convencionales. Todos los grupos fueron expuestos a temperaturas entre 200 °C y 1000 °C y los resultados revelaron que los concretos ligeros investigados pueden clasificarse como aislantes térmicos.

Algo similar ocurre en la investigación de Karatas et al. [2] en Turquía, quién sostiene que es de suma importancia la resistencia de los materiales de utilizados en la construcción durante eventos de críticos de temperaturas elevadas, tales como los incendios. Por ende, realizó su investigación para indagar los efectos que provocan las altas temperaturas sobre la resistencia a flexión y compresión de morteros autocompactantes que contienen vermiculita cruda como sustitución de arena en un 10%, 20%, 30% y 40%. Realizó la exposición de las muestras a temperaturas de 300, 600 y 900°C a los 28 días de curado y obtuvo que a 900°C los morteros autocompactantes que mejor comportamiento tuvieron fueron los que poseían vermiculita en su interior, siendo el que mejor rendimiento tuvo el que contenía 10% de vermiculita cruda.

Benli et al. [12] nos habla que el fuego puede ocasionar perjuicios en las estructuras de los edificios o incluso su colapso debido al deterioro del concreto y a una disminución considerable de la resistencia de sus materiales, por tal motivo se ha buscado reemplazar o adicionar algún material de estructura porosa como la vermiculita u otros materiales más que puedan ayudar a mejorar ese aspecto del concreto. En consecuencia, el autor se propuso inquirir sobre las características de resistencia y durabilidad de morteros autocompactantes con reemplazo parcial del cemento con vermiculita cruda y vermiculita expandida, usando 5%, 10%, 15% y 20% de estos materiales por peso del cemento. Se sometieron las muestras a 300°C, 600°C y 900°C durante 2 horas y luego se dejó enfriar y se sometieron a los ensayos destructivos correspondientes. Como resultado se confirmó que a 900°C de temperatura de exposición se logró tener una menor reducción de la resistencia a la compresión para los morteros que contienen vermiculita expandida que con los morteros con vermiculita cruda, sin embargo, el desempeño de ambas adiciones fue mejor que el de las muestras patrón, siendo la mejor el que

contenía 10% de vermiculita expandida. La explicación de [12] ante estos sucesos es el hecho de que a 900°C la vermiculita se expande, logrando llenar los vacíos, huecos y microfisuras que presenten las muestras.

Bergmann et al. [16], hace hincapié que, aunque la impermeabilización y la mampostería estructural utilizadas en la construcción presenten cualidades de aislamiento térmico y acústico, no son suficientes para llegar al nivel preciso de comodidad, sin embargo el empleo de materiales livianos con propiedades térmicas, como el aerogel de sílice, la vermiculita, el poliestireno expandido, entre otros materiales, desempeñan un papel crucial en la mejora de este confort térmico de los muros, al mismo tiempo que aligeran la carga de las construcciones. Motivado por este problema, el autor buscó tener mezclas optimizadas de morteros de revestimiento ligeros que contengan aerogel de sílice, vermiculita y poliestireno expandido como reemplazo del agregado fino, analizando las propiedades físicas, mecánicas, térmicas, microestructurales y acústicas. Como resultados se notaron competentes las propiedades mencionadas anteriormente, ya que estos materiales mejoran la eficiencia del aislamiento térmico conservando la energía del edificio. En cuanto a lo que es resistencia a la compresión, solamente los morteros con 15% de vermiculita y 15% de poliestireno expandido reemplazado alcanzaron los valores mínimos requeridos de resistencia para recubrimientos.

De igual manera Hung et al. [17] nos recalca que en el caso de materiales compuestos por concreto o cemento, el fuego puede ocasionar daños o, en situaciones extremas, la fractura de las estructuras del edificio debido al peligro de desprendimiento y a una considerable disminución en la resistencia de los materiales, entonces de ahí deriva la importancia de la capacidad de los materiales de construcción para resistir altas temperaturas, especialmente durante un incendio. Ello es por lo que este autor explora las posibilidades de incluir algún agregado poroso en el mortero y que este sea térmicamente estable, siendo la vermiculita expandida el candidato perfecto a causa de sus propiedades. Se aplicó vermiculita expandida parcialmente en vez de arena en morteros de cemento y se evaluaron los valores de resistencia a la compresión residual después de someter los morteros a 600°C y 800°C durante 1 hora en un horno de mufla. Como resultado se vio que la mayor resistencia a elevadas temperaturas fue de parte de los morteros que contenían vermiculita expandida, además de que se redujo su peso unitario.

Otro elemento importante que Naveenkumar et al. [19] destaca es la unión entre el concreto y el acero, sacando a relucir su relevancia mencionando que estas se deforman o acanalan para hacer unión fuerte y que no haya deslizamientos. Este autor busca encontrar un porcentaje óptimo para la sustitución de vermiculita por agregado, en este caso, por el fino. Se realizaron

pruebas con 0%, 5% y 10% en vigas de concreto, evaluando su desempeño resistencia cuando es sometido a compresión, además de su resistencia cuando es sometido a tracción dividida. Entonces, luego que se han sometido sus muestras a las pruebas, se demostró que el 5% de sustitución de vermiculita era lo óptimo, tal como otros autores ya lo habían mencionado y añade que el peso propio de la viga disminuyó hasta en 10% utilizando vermiculita.

Además Çelik [18] destaca que el ya desde hace algún tiempo se viene incorporando materiales sustitutos del cemento en la fabricación de concreto para que este sea más amigable con el medio ambiente, mencionando que la vermiculita está siendo aplicada en muchos campos de la construcción. Siendo el cuidado del ambiente su principal motivación, este autor estudia la forma de obtener mezclas de concreto y mortero que sean más económicas y respetuosas con el medio ambiente a través de la reducción de material aglomerante, sustituyéndose por vermiculita cruda molida en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%. Los materiales se mezclaron para obtener las muestras de concreto en sus diferentes variaciones y se ensayó su resistencia ante cargas de compresión en diferentes edades de curado, siendo estas a los 7 días, 18 días y 90 días. Como resultado se obtuvo que la mezcla con 5% de vermiculita cruda molida demostró mayor resistencia en compresión en edades de 28 y 90 días, en comparación con la muestra patrón que no traía ninguna adición, siendo 5% el porcentaje óptimo de adición para el autor. Por otro lado, también recalca que con 20% de adición la resistencia disminuye considerablemente, recomendando que su uso sea por debajo de este mencionado porcentaje.

Bases teóricas

Concreto

La Norma E.060 [21] define muchos términos, entre los cuales está el concreto, a quien lo establece como la combinación de cemento, ya sea Portland o sea cualquier otro cemento hidráulico, junto con agregados: fino y grueso. Además, puede tener la presencia de aditivos o no.

Composición

▪ Cemento

Se trata de un aglomerante que absorbe agua, el cual se obtiene en ejecutando el proceso de calcinación de rocas calizas, arcillas y areniscas, lográndose un polvo muy fino que cuando se le añade agua, este se endurece, alcanzando propiedades que muestran muy buena resistencia y muy buena adherencia [22]. La NTP 334.009 [23] precisa al cemento Portland como el cemento

hidráulico elaborado a través de pulverización del Clinker, el cual está compuesto básicamente de silicatos de calcio hidráulico, los cuales comúnmente traen sulfato de calcio y pocas veces caliza, como añadidura de la molienda. Así mismo la NTP 334.001 [24] define al cemento hidráulico como aquel cemento que, debido a la adición de una determinada cantidad de agua medida por conveniencia, se logra generar una pasta conglomerante que tiene la propiedad de endurecer, lo cual ocurre por el efecto que se tiene entre agua y cemento. Existen diferentes tipos y usos del cemento, los cuales son clasificados por la NTP 334.009 [23] y se mostrarán a continuación:

Tabla 1: Clasificación por tipo y uso del cemento [23]

Tipo	Uso
Tipo I	General
Tipo II	General, moderada grado para la resistencia a sulfatos o moderado grado de calor de hidratación
Tipo III	Elevadas resistencias iniciales
Tipo IV	Poco calor de hidratación
Tipo V	Elevada resistencia a los sulfatos

▪ **Agregados**

Los agregados para el concreto son definidos por la NTP 400.037 [25], la cual especifica que se trata del grupo de partículas, ya sean naturales o artificiales, los cuales pueden ser tratados o elaborados, cuyas medidas están dentro de los rangos especificados en la misma norma. También se denominan como áridos. Los agregados usados el concreto son los agregados gruesos y los agregados finos.

Esta misma norma [25] define los agregados finos como los que provienen de la desintegración natural o desintegración artificial. Estos materiales deben pasar por el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulg) y deben quedar retenidos en el tamiz normalizado 75 μm (N° 200), debiendo acatar los límites. Estos deben consistir en materiales que pueden ser arena natural, arena manufacturada o la mixtura de las dos.

Tabla 2: Requerimiento de granulometría para agregado fino [25]

Tamiz		Porcentaje que pasa
(mm)	(pulg)	(%)
9.5	3/8	100
4.75	N. 4	95 – 100
2.36	N. 8	800 – 100
1.18	N. 16	50 – 85
0.600	N. 30	25 – 60
0.300	N. 50	5 – 30
0.150	N. 100	0 – 10
0.075	N. 200	0 – 3

La misma NTP 400.037 [25], también define a los agregados gruesos como los provenientes de las rocas desintegradas naturalmente o desintegradas mecánicamente, que cumplen con los límites de ser retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4). Estos deben consistir en gravas o piedra chancada, así como también de concreto, ya sea chancado o reciclado o una mixtura de los dos.

Tabla 3: Requisitos granulométricos del agregado grueso [25]

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (¾ pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (¾ pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

- **Agua**

Este elemento desempeña un papel primordial en la hidratación de uno de los componentes del concreto: el cemento; además de que ayuda al buen progreso de sus propiedades, motivo por el cual es esencial que cumpla con ciertos parámetros para desempeñar su función en su proceso químico sin tener problemas adicionales o daños en el concreto debido a la presencia de ciertas sustancias [22]. Según la NTP 339.088 [26], para fabricar concreto, se puede hacer uso de agua potable para la mezcla, careciendo de ensayos para su conformidad, pero si el origen del agua no deja bien en claro su calidad o en todo caso sea mezclada, se puede realizar los ensayos químicos y comprobar los valores permisibles.

- **Aditivo**

Se trata de un material que no es agua, ni un material cementoso hidráulico ni una fibra de refuerzo, el cual se utiliza como componente de una mezcla para alterar propiedades de fraguado o endurecimiento en su estado recién mezclado, añadiéndose al lote antes o durante el proceso de mezcla [27].

Propiedades del concreto

- **Estado fresco**

- Trabajabilidad: es la dificultad en el proceso de mezclar, transportar, colocar y compactar el concreto, pudiendo ser mayor o menor [22]. Tradicionalmente se mide usando el “Asentamiento con el cono de Abrams” o “Slump”.
- Exudación: propiedad en la cual se separa un porcentaje de agua en mezcla y esta se eleva a la superficie [22].
- Contracción: el concreto tiene una contracción irreversible (contracción intrínseca) dada por la combinación química producida con el cemento y agua, donde el cemento reduce su volumen original, pero además existe una contracción por secado, la cual es la que genera la fisuras debido a que se pierde agua, ya sea en el estado plástico o endurecido del concreto, sin embargo, esta sí es reversible ya que se puede reponer el agua consiguiendo recuperar gran parte de la contracción generada [22].

- **Estado endurecido**

- Elasticidad: es la capacidad de deformación ante un estímulo de carga, sin tener deformaciones permanentes [22].

- Resistencia: se trata de la condición de aguantar esfuerzos y cargas, teniendo superior conducta a compresión que a tracción [22].
- Extensibilidad: se trata de la capacidad de deformarse del concreto, sin llegar a agrietarse [22].

Diseño de mezcla

Se realiza para obtener una dosificación adecuada de los importes de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y, en caso lo amerite, aditivos. Se puede buscar la dosificación idónea dependiendo del material empleado, la resistencia esperada, la forma del elemento en donde se vaciará y las circunstancias ambientales durante y después de vaciar.

Existen varios métodos de diseño para obtener estos valores, entre los cuales se encuentran:

- Método del Comité 211 del ACI
- Método basado en curvas empíricas
- Método de Walker
- Método de Füller: método basado en curvas teóricas
- Método del módulo de fineza de la combinación de agregados

Comportamiento y resistencia del concreto expuesto a fuego

El fuego y su comportamiento

El fuego es un fenómeno que se ha usado por los humanos desde hace mucho tiempo, sin embargo, es un elemento a veces no se puede controlar. Cuando ocurre un desenfreno y el fuego se propaga por todos lados, quemando cosas que no estaban planeadas quemarse, se le puede considerar como un incendio. Dentro del sector de la construcción se considera que el fuego tiene la capacidad de causar graves daños en las estructuras y, en casos extremos, puede ocasionar el colapso total del edificio [3].

Para poder comprender mejor como afecta el fuego en las estructuras, es pertinente comenzar conociendo cómo funciona el fuego. Las temperaturas y los periodos de tiempo siguen un patrón, el cual se alcanza a repartir en 3 etapas identificables: primero el “desarrollo”, luego se da la “intensidad completa” y finalmente se llega a la “declinación” [4]. La norma ASTM E119 [1] ilustra de manera gráfica el comportamiento de la curva tiempo-temperatura que provoca el

fuego, colocando las temperaturas en los laterales, siendo grados Fahrenheit en la parte izquierda, grados Celsius a la derecha y debajo se denota los intervalos de tiempo en horas.

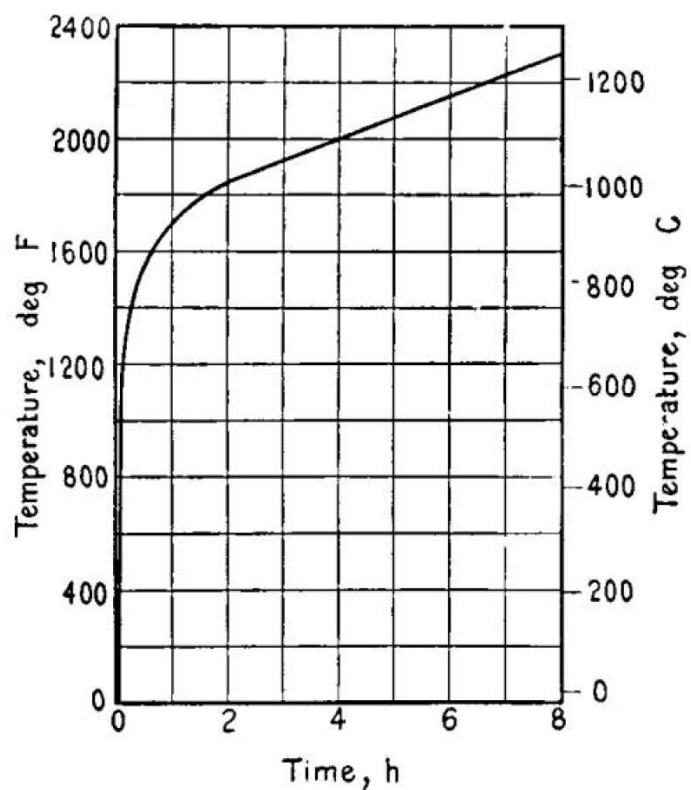


Figura 4: Curva tiempo – temperatura [1]

Tabla 4: Valores numéricos de la curva tiempo – temperatura [1]

Tiempos	Temperaturas	
	°F	°C
5 min	1000	538
10 min	1300	704
30 min	1550	843
1 hora	1700	927
2 horas	1850	1010
4 horas	2000	1093
8 horas o más	2300	1260

Concreto expuesto a altas temperaturas

Generalmente el concreto exhibe óptimas propiedades de resistencia contra el fuego, lo que implica que puede mantener un comportamiento satisfactorio durante un periodo prolongado de exposición a altas temperaturas y sin emitir humos tóxicos [28]. Sin embargo, este llega a un punto en el que comienza a deteriorarse y presentar daños en él, siendo uno de los peores escenarios la ocurrencia de fallas en la estructura del inmueble a causa del desconchado y la pérdida de la resistencia de los materiales de manera relevante [17]. Es decir que, dependiendo de las características del fuego, como su temperatura máxima y su duración, el concreto puede tener un mayor o menor grado de descomposición [6].

Tabla 5: Daño del incendio sobre el concreto según color y temperatura
[29]

Rango de temperatura (°C)	Coloración superficial	Tipo de calcinación	Daño
0 a 300	Gris natural	Incipiente	Mapeo superficial y microfisuras
300 a 600	Rosa	Superficial	Fisuración térmica por descarbonatación superficial y por alabeo
600 a 900	Gris claro	Avanzada	Perdidas de masa por descascaramiento y descarbonatación profunda
900 a más	Blanco / amarillo claro	Muy avanzada	Pérdida de masa y descarbonatación avanzada

Con el aumento de temperatura el concreto también va teniendo un decrecimiento de sus propiedades mecánicas, tales como la resistencia la compresión y el módulo de elasticidad [30]. Sin embargo, también ocurren acortamientos de rotura significativos, lo cual posibilita tolerar las compresiones derivadas producidas por las dilataciones sin generar demasiado daño en el concreto [30].

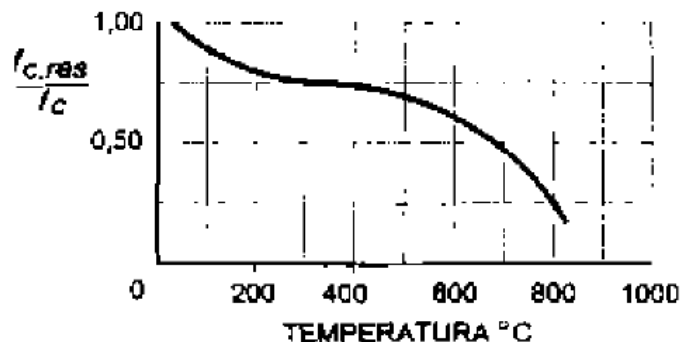


Figura 5: Resistencia a compresión residual tras calentar a varias temperaturas [30, p. 71]

Así mismo, un elemento importante es la conductividad térmica, el cual está bastante vinculado con la porosidad que tienen los materiales, los cuales pueden tener menor conductividad térmica cuando presenten una porosidad alta [31]. Para lograr lo mencionado anteriormente hay distintas formas, desde usar agentes de entrada de aire y agentes espumantes, hasta la adición de agregados livianos: vermiculita expandida, perlita expandida, arcilla expandida, entre otros [31].

Vermiculita

Vermiculita cruda

Según Terzié et al. [15], la vermiculita es un mineral que posee una estructura similar a la mica, debido a su apariencia de “copos” brillantes, los cuales han sido formados por un proceso de alteración hidrotermal de la biotita o la meteorización de la flogopita. Se afirma que la vermiculita es un silicato de hierro, aluminio magnésico hidratado [9], [12], [17], perteneciendo al grupo de los minerales filosilicatos [15], el cual está conformado por la variación de la mica y que se presenta en forma de escamas [18] o de hojuelas [12]. Su composición química está dada esencialmente por SiO_2 , además de contener MgO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , H_2O y FeO [18].

Tabla 6: Composición química de la vermiculita (% en peso) [18]

Compuesto		Cantidad
Nomenclatura	Nombre	(% en peso)
SiO ₂	Dióxido de Silicio o Sílice	37 a 42%
MgO	Óxido de Magnesio	14 a 12%
Al ₂ O ₃	Óxido de Aluminio	10 a 13 %
Fe ₂ O ₃	Óxido férrico	5 a 17%
H ₂ O	Agua	8 a 18%
FeO	Óxido ferroso	1 a 3%

Vermiculita expandida

La vermiculita que generalmente se aplica en las ramas de la ingeniería es la vermiculita expandida [18]. Esta se obtiene calentando vermiculita entre rangos de 650°C a 950°C [18] o hasta rangos que van de 900°C a 1100°C [12], [16], [17]. Expuesto a estas temperaturas se convierte en un mineral laminar [16], el cual libera agua y los copos se expanden, generando un material poroso bastante ligero [17], de densidad baja y conductividad térmica baja [12]. Esta expansión es rápida [20] y puede ser entre 8 a 30 veces el tamaño original de la vermiculita [12], [16], [18], lo cual hace que se formen gránulos con forma de acordeón, viéndose como placas delgadas separadas por vacíos de aire [12]. Además, es necesario recalcar que la composición química no varía durante la expansión térmica, ya que solamente se elimina el agua que está unida químicamente [15].

Además, Petersen et al. [32], observó que, al calentar la vermiculita, esta comenzaba a sufrir los cambios de dimensión drásticos en los 400°C a 850°C de temperatura, sin embargo se encogieron en los rangos de 1000°C a 1200°C y se volvieron a encoger entre los 1200°C a 1300°C, lo cual genera una expansión que es irreversible.

▪ **Propiedades**

La vermiculita expandida proveniente de este proceso se contempla como un material de alta resistencia al calor [12], [17] o al fuego [9], baja conductividad térmica [9], [18], baja densidad [9], [20], alta porosidad [20], refractariedad alta [9] y muy buenas características para el aislamiento térmico y acústico [9], [12], [17], [18], [20]. Todas estas propiedades físicas y químicas lo vuelven un material muy importante. Además, Koksall et al. [9] menciona que una

explicación de su resistencia a las temperaturas elevadas es que, como las partículas de vermiculita expandida son agregados granulares con numerosas bolsas de aire, estas actúan como un aislante que menora la transferencia de calor dañina provocada por las altas temperaturas.

- **Usos**

Petersen et al. [32] menciona que la vermiculita expandida posee diversas formas de empleo, las cuales pueden ser como aditivo del suelo, en la protección contra incendios, en el concreto ligero interviniendo como relleno o en el aislamiento térmico. Esto debido a que su configuración laminar hace que sus propiedades lubricantes se hagan presentes a altas temperaturas [15]. Por ende, por su alto punto de fusión, este material optimiza el comportamiento térmico cuando se asocia con otros elementos [16], pudiendo ser usado como material ignífugo, como un relleno poroso liviano que contribuya al aislamiento térmico [15] o como aislante acústico [16]. Además, debido a su alta porosidad y baja densidad, se vuelve un material suficiente para ser calificado como agregado liviano, desarrollando concretos livianos resistentes al calor [12], reduciendo el peso y aumentando la capacidad de absorción de líquidos [16].

Normativas

E. 060: Concreto armado

[21] Se usará su contenido de definición de términos.

Normas Técnicas Peruanas

Las NTP usadas serán mencionadas y descritas más adelante en la metodología y procedimientos de la presente investigación.

ASTM C125

[27] Se hará uso de la norma por su contenido de definiciones y términos.

ASTM E119

[1] Determina la curva tiempo-temperatura.

Materiales y métodos

Tipo de investigación

La actual investigación exhibe un diseño que ha sido determinada del tipo experimental, ya que se aplicará un estímulo, el cual será una manipulación intencional de la variable independiente, con la cual se contrastará la hipótesis. El estímulo estará de manera presente y también de manera ausente, en lo que vendría a ser la variable dependiente, ya que habrá muestras que contengan la variable independiente y muestras que no. Siendo más específico, se evaluará el resultado de las propiedades mecánicas del concreto simple en estado endurecido, además de algunas propiedades del estado fresco, adicionando vermiculita expandida en diferentes porcentajes. Este resultado se comparará con muestras de concreto simple tradicional en ausencia de vermiculita expandida.

Diseño de investigación

La actual investigación muestra un diseño experimental, por motivo de que se aplicará la variable independiente a un grupo experimental, además de tener un grupo que será para controlar, en el que no se le insertará la variable independiente, con la finalidad de servir como patrón para llevar a cabo una comparación.

Población, muestra y muestreo

Población y muestra

Para esta investigación, la población y muestra serán las 108 probetas elaboradas de concreto simple, las cuales estarán definidas por los ensayos de resistencia a compresión, antes y después de haber sido expuestas a fuego en altas temperaturas.

Tabla 7: Muestras para la medición del asentamiento del concreto

Asentamiento del concreto		
Cantidad de vermiculita expandida	Tandas	Total
0%	1	4
5%	1	
10%	1	
15%	1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Muestras para la determinación de la densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco

Muestras para la densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco		
Cantidad de vermiculita expandida	Tandas	Total
0%	1	4
5%	1	
10%	1	
15%	1	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin exposición a fuego

Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin exposición a fuego					
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Curado de concreto	N° de muestras	Cantidad de muestras	
	%	Días	Concreto f'c = 210 kg/cm2	Parcial	Total
Concreto patrón	0%	3	3	15	60
		7	3		
		14	3		
		21	3		
		28	3		
Concreto con adición de vermiculita expandida	5%	3	3	15	
		7	3		
		14	3		
		21	3		
		28	3		
	10%	3	3	15	
		7	3		
		14	3		
		21	3		
		28	3		
	15%	3	3	15	
		7	3		
		14	3		
		21	3		
		28	3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión después de haber sido expuestas al fuego

Muestras de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión después de haber sido expuestas al fuego							
Muestras	Cantidad de vermiculita expandida	Curado de concreto	Tiempos de exposición	Temperatura de exposición	N° de muestras	Cantidad de muestras	
	%	Días	Minutos / horas	°C	Concreto f'c = 210 kg/cm ²	Parcial	Total
Concreto patrón	0%	28	15 minutos	600	3	12	48
			30 minutos	750	3		
			1 hora	900	3		
			2 horas	1000	3		
Concreto con adición de vermiculita expandida	5%	28	15 minutos	600	3	12	
			30 minutos	750	3		
			1 hora	900	3		
			2 horas	1000	3		
	10%	28	15 minutos	600	3	12	
			30 minutos	750	3		
			1 hora	900	3		
			2 horas	1000	3		
	15%	28	15 minutos	600	3	12	
			30 minutos	750	3		
			1 hora	900	3		
			2 horas	1000	3		

Fuente: Elaboración propia

Crterios de seleccin

En este estudio se utilizará un enfoque de muestreo no probabilístico intencional basado en criterios o juicio. Este método de muestreo implica seleccionar la muestra en función de la experiencia en base a lo que se muestra en otros estudios previos, a través de su conocimiento acerca de la población y su conducta referente a las particularidades especificadas del estudio. Con el fin de asegurar la confiabilidad de las muestras propuestas, se ha llevado a cabo una revisión de muestras de estudios anteriores.

Se han seleccionado 3 porcentajes de adición, los cuales serán 5%, 10% y 15%. El motivo es que en las investigaciones de los antecedentes se ha tomado porcentajes que se encuentran en rangos desde 5% hasta 40% y, pese a que las resistencias disminuyeron a temperatura ambiente, cuando se lo sometió a temperaturas elevadas, los concretos con las adiciones dentro de ese rango fueron los que presentaron mejores resultados de resistencia a compresión, sin embargo, cuanto más elevado se volvía la proporción de adición comenzaba a afectar la resistencia lográndose lo contrario de lo esperado, es decir, un decrecimiento de la resistencia. Entonces, en base a la experiencia y con la finalidad de no perder demasiada resistencia inicial, se considerará el porcentaje definido al inicio: 5%, 10% y 15%.

En cuanto a la resistencia a la compresión del concreto elegido será de un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para todas las muestras, ya que esta es la resistencia mínima para elementos que reciben cargas estructurales en las edificaciones.

En relación con la cantidad de probetas de concreto cilíndricas, se decidió utilizar tres muestras para cada combinación de porcentaje/edad, para lo que vendría a ser las muestras de evaluación de la resistencia inicial, y tres muestras para cada combinación de porcentaje/tiempo de exposición/temperatura de exposición, para las muestras que serán expuestas a fuego. Esta selección se basa en la NTP 339.034 [33].

Con respecto al ensayo que será utilizado para medir la trabajabilidad del concreto o el asentamiento (Slump), se tomará como referencia lo determinado en la NTP 339.035 [34], la cual indica el procedimiento para hallar el asentamiento del concreto, tomándose el muestreo por “tandas” para esta investigación, siendo una tanda para cada variación de porcentaje, teniendo un total de cuatro tandas.

De la misma forma, se hallará la densidad por cada tanda de concreto en estado fresco, teniendo un total de cuatro tandas, utilizando como referencia la NTP 339.046 [35].

Operacionalización de variables

Tabla 11: Operacionalización de variables

	Variables	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Rango de aplicación	Método de medición
Independiente	Incorporación de vermiculita expandida	-	Cantidad de vermiculita expandida	% en volumen, % en peso	0%	Balanza
					5%	
					10%	
					15%	
Dependiente	Comportamiento mecánico del concreto sometido al fuego	-	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	-	NTP 339.034

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12: Variables intervinientes

	Variables	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Rango de aplicación	Método de medición
Interviniente	Exposición al fuego	-	Tiempo de exposición	minutos, horas	15 minutos	Reloj y horno artesanal ASTM E119
					30 minutos	
					1 hora	
					2 horas	
	Temperatura de exposición	-	Temperatura del fuego	°C	600	Termómetro ASTM E119
					750	
					900	
					1000	
	Resistencia inicial del diseño	-	F'c de diseño inicial	kg/cm ²	210	NTP 339.034
	Curado del concreto	Curado del concreto patrón y concreto con adición que no será expuesto a fuego	Tiempo de curado del concreto	días	3 días	NTP 339.033
7 días						
14 días						
21 días						
28 días						
Curado del concreto	Curado del concreto patrón y concreto con vermiculita expandida que será expuesto a fuego	Tiempo de curado del concreto	días	28 días	NTP 339.033	
Densidad	-	Peso unitario del concreto	kg/m ³	-	NTP 339.046 o NTP 339.034	
Trabajabilidad / Fluidez	-	Slump	pulgadas	-	NTP 339.035	

Fuente: Elaboración propia

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

▪ **Instrumentos**

- Ficha para anotar datos, en la que se redactarán los datos obtenidos por el investigador.
- Manuales para los ensayos de laboratorio: se utilizan con el fin de llevar a cabo los ensayos de manera correcta.
- Hojas de cálculo virtuales usados para realizar los procedimientos de cálculos necesarios junto con su formato.

▪ **Técnicas**

- Se hará uso de la observación directa: es una práctica mediante la que se presta atención al acontecimiento y se apunta la información.

Procedimientos

Adquisición de los materiales

El primer paso a desarrollar fue la adquisición de los insumos a usar, los cuales fueron cemento, agregados y vermiculita expandida (VE).

Ejecución de ensayos físicos a los agregados fino y grueso

Ensayo de granulometría de los agregados

Se usó lo precisado en la NTP 400.012 [36], ensayo con el fin de establecer las dimensiones de las partículas de los agregados, comprendidos en una muestra, ya sea de agregado fino o grueso. Se realiza a través de una serie de tamices regulados y ordenados según el tamaño del agregado. Cabe recalcar que este ensayo tiene una notable importancia para poder calcular el diseño de mezcla del concreto, ya que es el ensayo que proporcionará resultados que se son necesarios, tal como el tamaño máximo nominal y el módulo de fineza. Este último está determinado por la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado} (6" + 3" + 1\frac{1}{2} + \frac{3}{4} + \frac{3}{8} + N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100)}{100}$$

Ecuación 1: Fórmula para el módulo de fineza [36]

▪ **Agregado grueso (AG)**

Se saca del material una muestra que será representativa para luego realizar un cuarteo y se escogen las dos muestras mejor gradadas, procediendo a pesar esas muestras para luego realizar el tamizado por las mallas 1" hasta la N°16. Finalmente se pesa el material que ha sido retenido en cada tamiz para posteriormente procesar los datos.



Figura 6: Pesado y cuarteo de la muestra de AG utilizada.



Figura 7: Tamizado del AG.



Figura 8: Pesos de la muestra de AG retenidos en los tamices.

▪ **Agregado fino (AF)**

Se saca del material una muestra que será representativa para luego realizar un cuarteo y se escogen las dos muestras mejor gradadas. Se sigue con un lavado por la malla N° 200 de la muestra elegida y se coloca a secar en el horno. Una vez la muestra seca, se pesa el total y se lleva a cabo el tamizado por las mallas 3/8" hasta la N° 200 para luego pesar de manera individual el retenido de cada tamiz y se procesan los datos.



Figura 9: Cuarteo, pesado y lavado del AF.



Figura 10: Muestra húmeda colocada en el horno

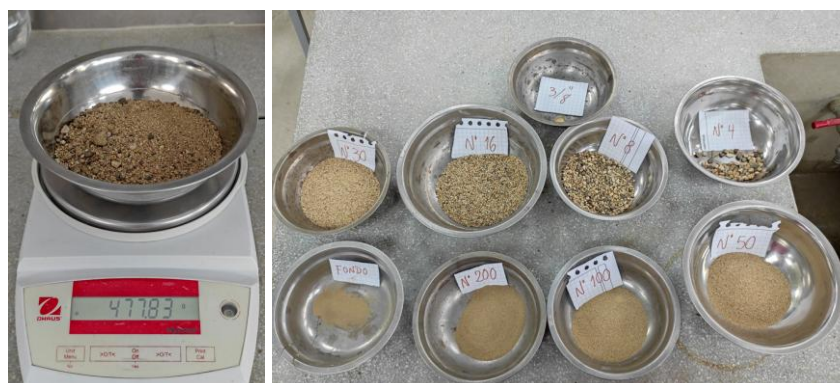


Figura 11: Peso de la muestra secada al horno y tamizado de la muestra separado por malla.

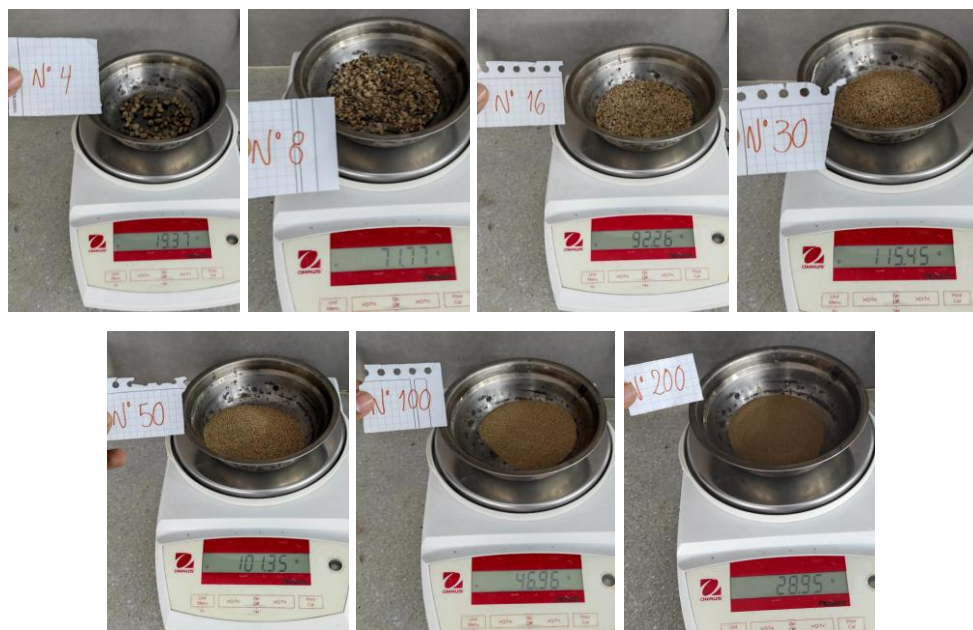


Figura 12: Pesos de la muestra del AF retenido en los tamices.

Ensayo para determinar el peso unitario del agregado

Se usó lo regido por la NTP 400.017 [37], la cual describe la forma de hallar los pesos unitarios secos sueltos y compactados para los agregados, ya sea fino o grueso.

▪ **Agregado grueso**

Peso unitario seco suelto: Se pesa el molde y se coloca la piedra dentro del molde hasta llenarlo, luego enrasar y pesar.



Figura 13: Peso del molde y del AG para el ensayo de peso unitario seco suelto.

Peso unitario seco compactado: Se pesa el molde y se coloca la piedra dentro del molde en 3 capas y por cada capa se debe varillar 25 veces en forma de espiral y luego golpearlo con un martillo de goma entre 15 a 16 veces por toda su circunferencia del molde. Una vez terminadas las 3 capas se enrasar y se pesar.



Figura 14: Peso del molde y del AG para el ensayo de peso unitario seco compactado.

- **Agregado fino**

Peso unitario seco suelto: Se pesa el molde y se coloca la arena dentro del molde hasta llenarlo, luego enrasar y pesar.



Figura 15: Peso del molde y del AF para el ensayo de peso unitario seco suelto.

Peso unitario seco compactado: Se pesa el molde y se coloca la arena dentro del molde en 3 capas y por cada capa se debe varillar 25 veces en forma de espiral y luego golpearlo con un martillo de goma entre 15 a 16 veces por toda su circunferencia del molde. Una vez terminadas las 3 capas se enrasar y se pesar.

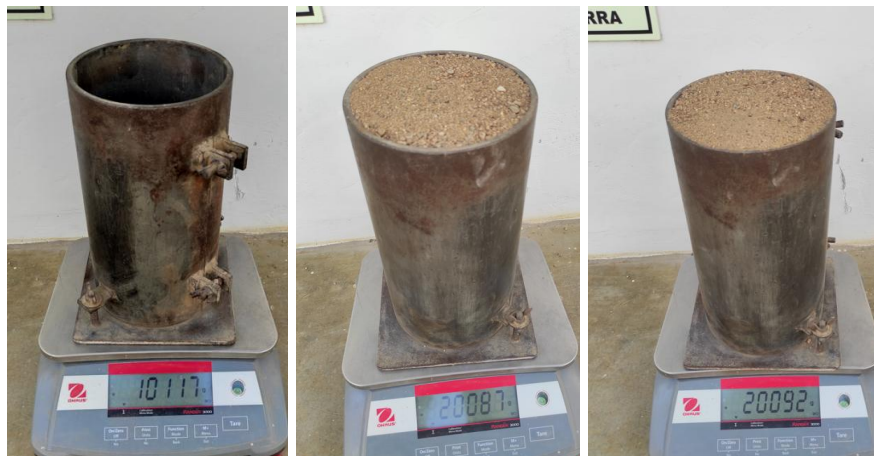


Figura 16: Peso del molde y del AF para el ensayo de peso unitario seco compactado.

Ensayo de peso específico de los agregados y porcentaje de absorción

Se usó la NTP 400.021 [38] y la NTP 400.022 [39] para determinar el peso específico y el porcentaje del agregado grueso y del agregado fino, respectivamente.

▪ **Agregado grueso**

Una muestra se sumerge en agua por 24 horas para llenar los poros, luego se remueve del agua y se seca superficialmente para ser pesado. También se hará uso de una canastilla la cual también debe ser pesada. Luego se arma la balanza con la canastilla para determinar el peso de la muestra sumergida. Seguidamente se deja la muestra en el horno y se pesa cuando esté seca [38].



Figura 17: Muestra de AG saturada, muestra secada superficialmente y peso de la canastilla.



Figura 18: Pesos de la muestra 01 de AG para en ensayo de peso específico y absorción antes de sumergir, sumergido y secado al horno, respectivamente.



Figura 19: Pesos de la muestra 02 de AG para en ensayo de peso específico y absorción antes de sumergir, sumergido y secado al horno, respectivamente.

▪ Agregado fino

Se saca una muestra representativa del material que atraviese la malla N° 04. Se pesa la fiola y luego se coloca la muestra dentro de la fiola añadiendo agua destilada. Se deja reposar 24 horas y luego se extrae el agua excedente hasta la marca de la fiola y se pesa la fiola + la muestra + el agua. Se saca la muestra en una tara y se pone al horno a secar por 24 horas para finalmente pesar de nuevo la muestra seca [39].



Figura 20: Peso de la muestra de AF y peso de la fiola.



Figura 21: Introducción del agua y arena en la fiola, material dentro de la fiola y material después de 24 horas, respectivamente.



Figura 22: Introducción del agua y arena en la fiola, material dentro de la fiola y material después de 24 horas, respectivamente.

Ensayo de contenido de humedad [40]

▪ **Agregado grueso**

Se saca una muestra representativa del material, se pesa y se sitúa en el horno por 24 horas \pm 4 horas para finalmente pesar la muestra seca.



Figura 23: Peso de la muestra de AG antes y después de meterlo al horno.

▪ Agregado fino

Se saca una muestra representativa del material, se pesa y se sitúa en el horno por 24 horas \pm 4 horas para finalmente pesar la muestra seca.



Figura 24: Peso de la muestra de AF antes y después de meterlo al horno.

Ejecución de los ensayos físicos de la vermiculita expandida (VE)

Ensayo de granulometría de la vermiculita expandida

Para realizar este ensayo se empleó el mismo método que se usó para determinar la granulometría del agregado fino [36].



Figura 25: Peso inicial de la muestra de VE y muestra tamizada de VE.

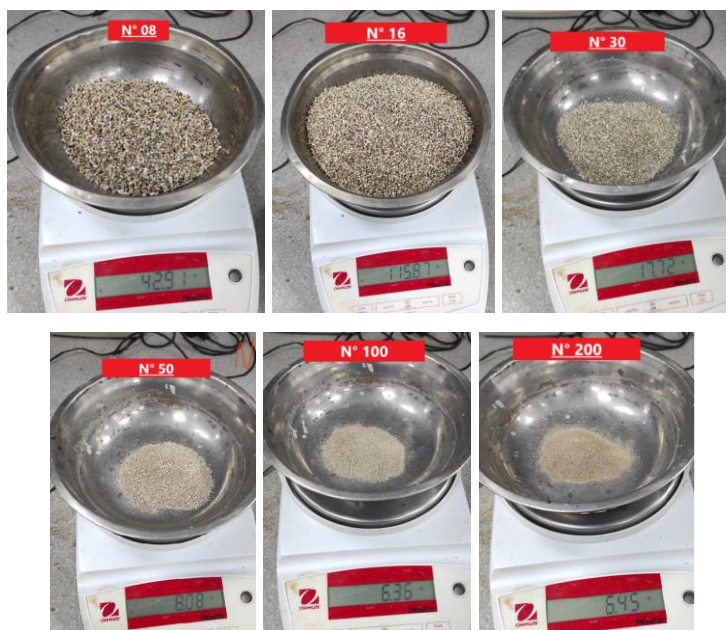


Figura 26: Pesos de la muestra de VE retenida en los tamices.

Ensayo de contenido de humedad

Para realizar este ensayo se empleó el mismo método que se usó para determinar el contenido de humedad de los agregados fino y grueso [40].



Figura 27: Peso del recipiente, peso de la muestra 01 de VE antes y después del horno, respectivamente.



Figura 28: Peso del recipiente, peso de la muestra 02 de VE antes y después del horno, respectivamente.

Ensayo de peso específico y absorción

Se siguieron los mismos pasos que se usaron para el peso específico y absorción de la arena [39].



Figura 29: Peso de la fiola y peso inicial de la muestra de VE.



Figura 30: Peso de la muestra de VE + agua + fiola



Figura 31: Peso del recipiente y peso de la muestra de VE después de meterlo al horno.

Ensayo para determinar la densidad de la vermiculita expandida

Se realizó haciendo uso del método especificado en la NTP 334.005 [41], método por el cual se halló la densidad de la vermiculita expandida (VE).

Procedimiento:

- Se pesa la muestra en balanza $m=8.30$ g.
- Colocar el fluido de trabajo en el recipiente de vidrio, se usó keroseno (50 ml).
- Calibrar el recipiente de vidrio en baño maría a 20°C .
- Colocar el material de vermiculita expandida en el recipiente con ayuda de un embudo y una espátula.
- Colocar la pesa de vidrio (de 8 cm^3 de volumen) para evitar que el material flote.
- Agitar para que las partículas del material se adjunten y se despegue de las paredes del recipiente de vidrio.
- Tomar la medida de volumen final, alcanzado por el fluido + el material + la pesa de vidrio.

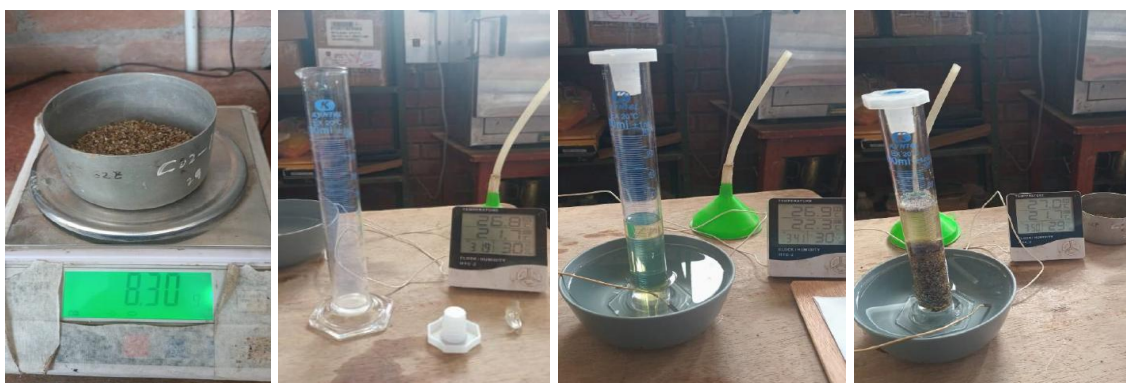


Figura 32: Procedimiento del ensayo de densidad de la VE.

Realización del diseño de mezcla

Para determinar las dosificaciones de los materiales usados para la fabricación de concreto se usó el método del Comité 211 del ACI.

Cantidad de adición de vermiculita expandida

Para determinar la cantidad de adición de vermiculita expandida se hizo el cálculo por porcentaje del volumen del concreto, usando el valor de la densidad de la vermiculita expandida para obtener un resultado en kg.

Elaboración del concreto

El concreto se hizo usando un trompo, en la cual se mezclaron todos los materiales según las dosificaciones determinadas anteriormente y sus adiciones correspondientes. Se llevaron a cabo varias tandas, de las cuales se hizo concreto común sin adición como patrón y concreto con los porcentajes de vermiculita propuestos.

Realización de los ensayos en estado fresco

Ensayo de slump

Se usó lo regido por la NTP 339.035 [34] para establecer el asentamiento. Se determinó el asentamiento en el concreto fresco, a través de la medición de la diferencia de longitud vertical del concreto al retirar el cono de Abrams con la ubicación original que se tenía al estar en el molde. Es necesario asegurar que el concreto esté bien compactado a través del varillado antes de retirar el cono de Abrams, siendo llenado en 3 capas con sus 25 varillados por capa. Se realizó este proceso por cada tanda.



Figura 33: Procedimiento del ensayo de trabajabilidad (slump).

- **Tanda 01**

Se llevó a cabo la prueba de slump para el concreto patrón, es decir, sin adiciones.



Figura 34: Medición del asentamiento para el concreto patrón.

- **Tanda 02**

Se realizó el ensayo de slump para el concreto con adición al 5% de vermiculita expandida.



Figura 35: Medición del asentamiento para el concreto con 5% de VE.

▪ Tanda 03

Se llevó a cabo la prueba de slump para el concreto con adición al 10% de vermiculita expandida.



Figura 36: Medición del asentamiento para el concreto con 10% de VE.

▪ Tanda 04

Se realizó el ensayo de slump para el concreto con adición al 15% de vermiculita expandida.



Figura 37: Medición del asentamiento para el concreto con 15% de VE.

Densidad del concreto en estado fresco

Se ejecutó lo descrito en la NTP 339.046 [35] para determinar la densidad del concreto fresco, el cual menciona que en un recipiente de medición, previamente pesado, se colocará la mezcla y se irá varillando para compactar, finalmente se enrasa y se limpia externamente el molde para luego proceder a pesarlo. La densidad se hallará con la siguiente formula:

$$D = \frac{(M_c - M_m)}{V_m}$$

$$\text{Densidad (Peso Unitario)} = \frac{(\text{Masa del recipiente con concreto} - \text{Masa del recipiente})}{\text{Volumen del recipiente de medida}}$$

Ecuación 2: Fórmula para la densidad en estado fresco [35]

Se usaron moldes para probetas de material plástico, de los cuales sus medidas fueron de 20 cm de alto con 10 cm de diámetro con un peso de molde de 230 gramos.

▪ **Tanda 01**

Se determinó la densidad de las muestras para el concreto patrón, es decir, sin adiciones (0% VE).



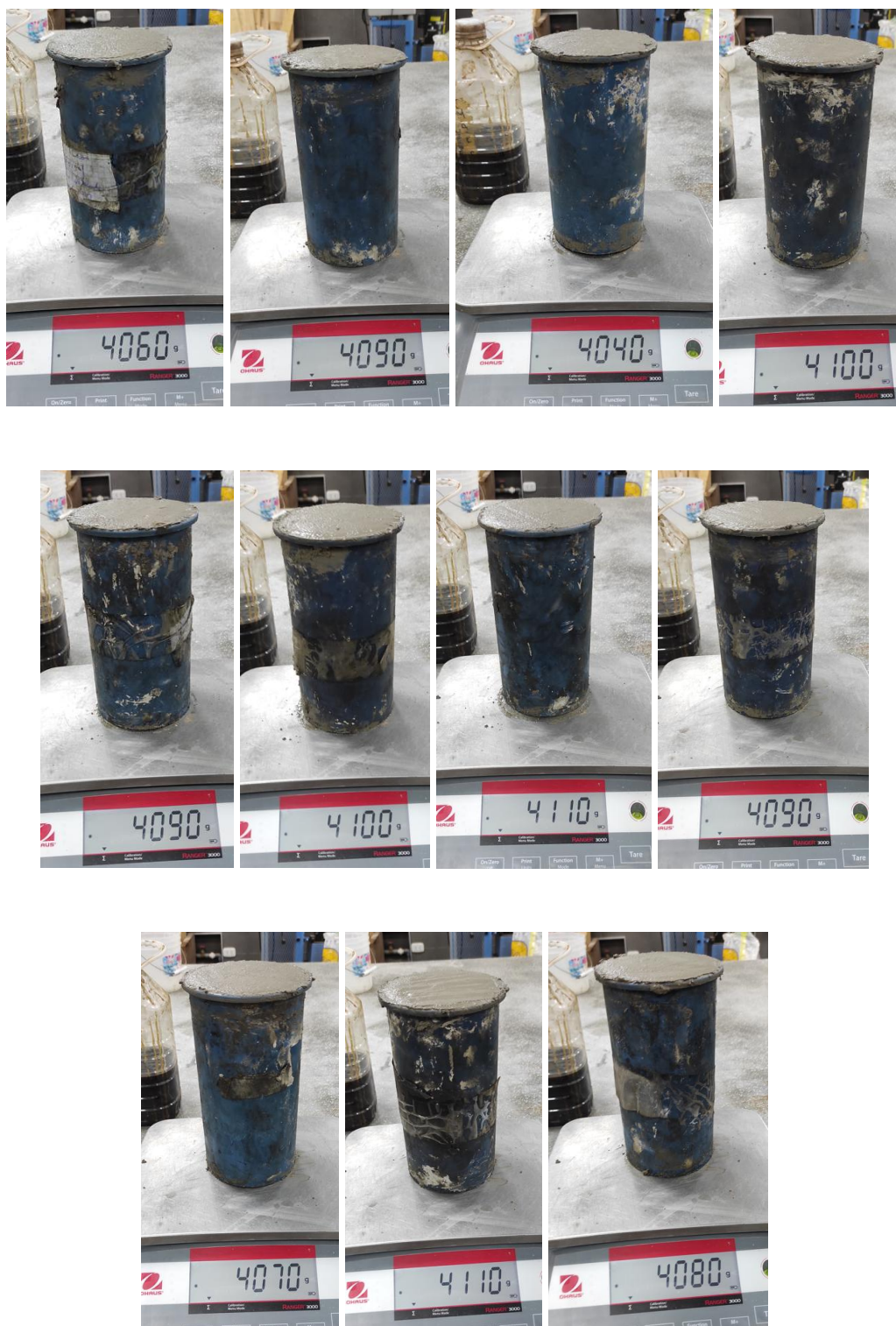


Figura 38: Pesado de muestras de concreto patrón (0%VE) para ensayo de densidad.

▪ **Tanda 02**

Se determinó la densidad de las muestras para el concreto con adición al 5% de vermiculita expandida (VE5%).

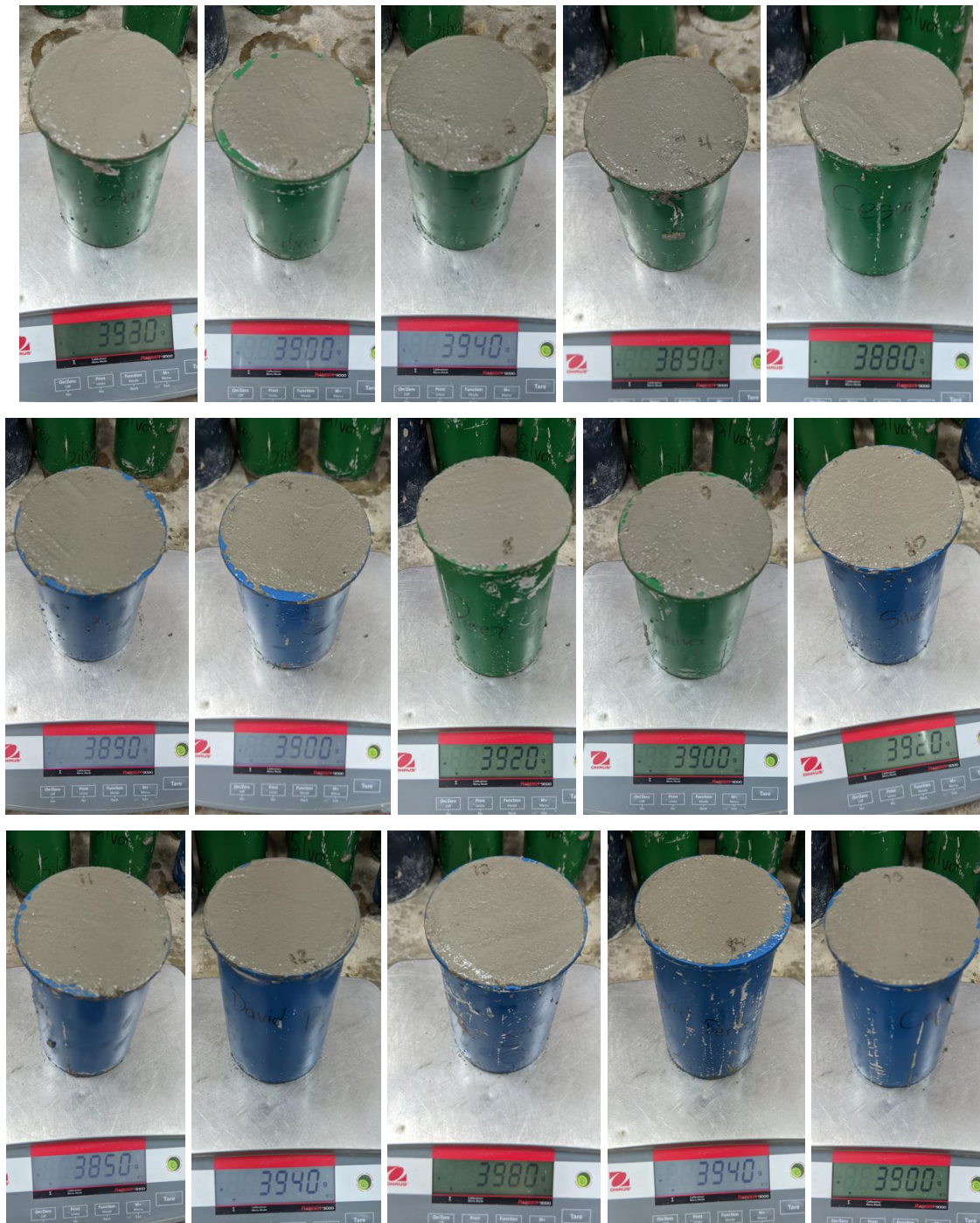


Figura 39: Pesado de muestras de concreto con 5% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.

▪ **Tanda 03**

Se determinó la densidad de las muestras para el concreto con adición al 10% de vermiculita expandida (VE10%).

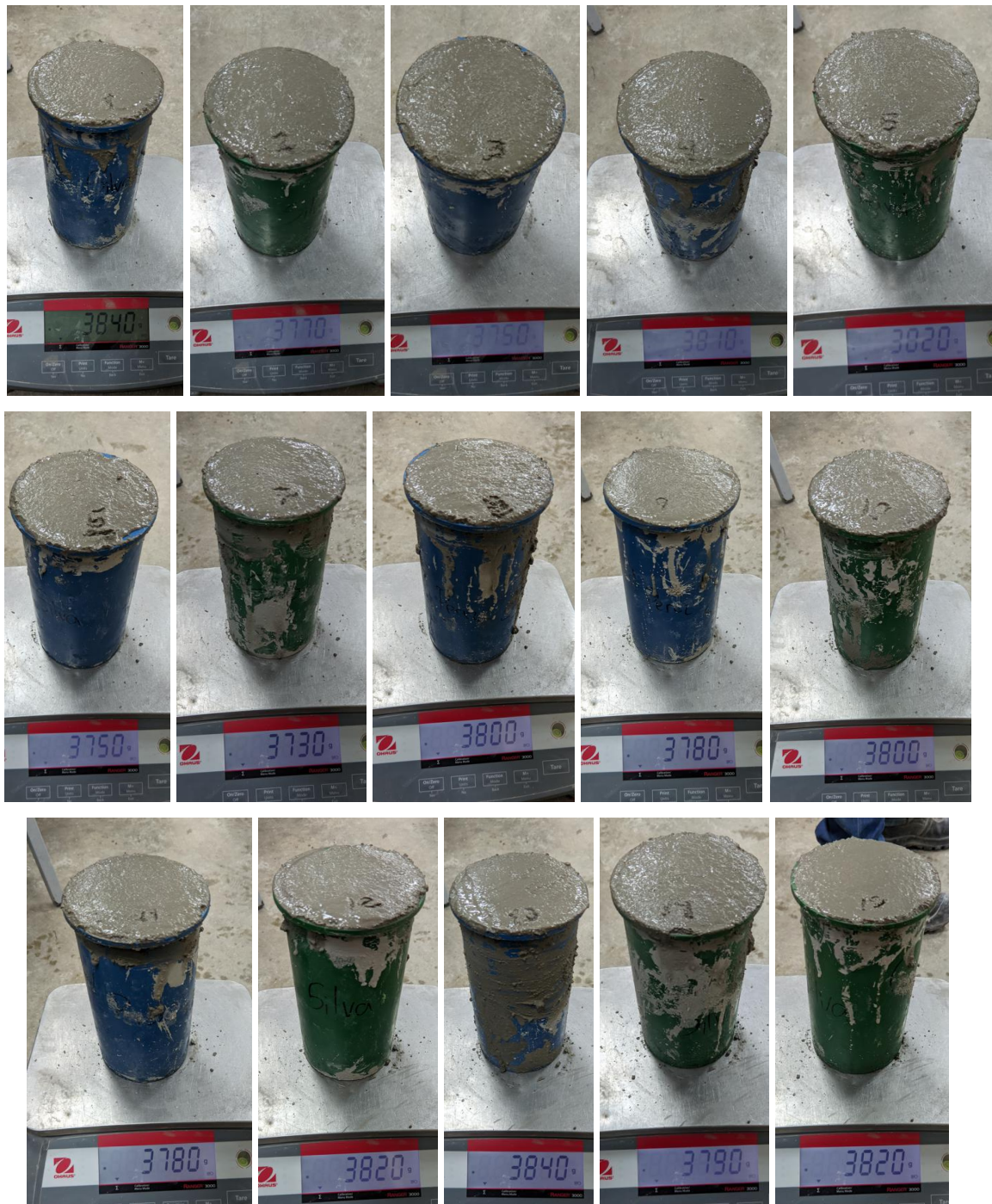


Figura 40: Pesado de muestras de concreto con 10% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.

▪ **Tanda 04**

Se determinó la densidad de las muestras para el concreto con adición al 15% de vermiculita expandida (VE15%).

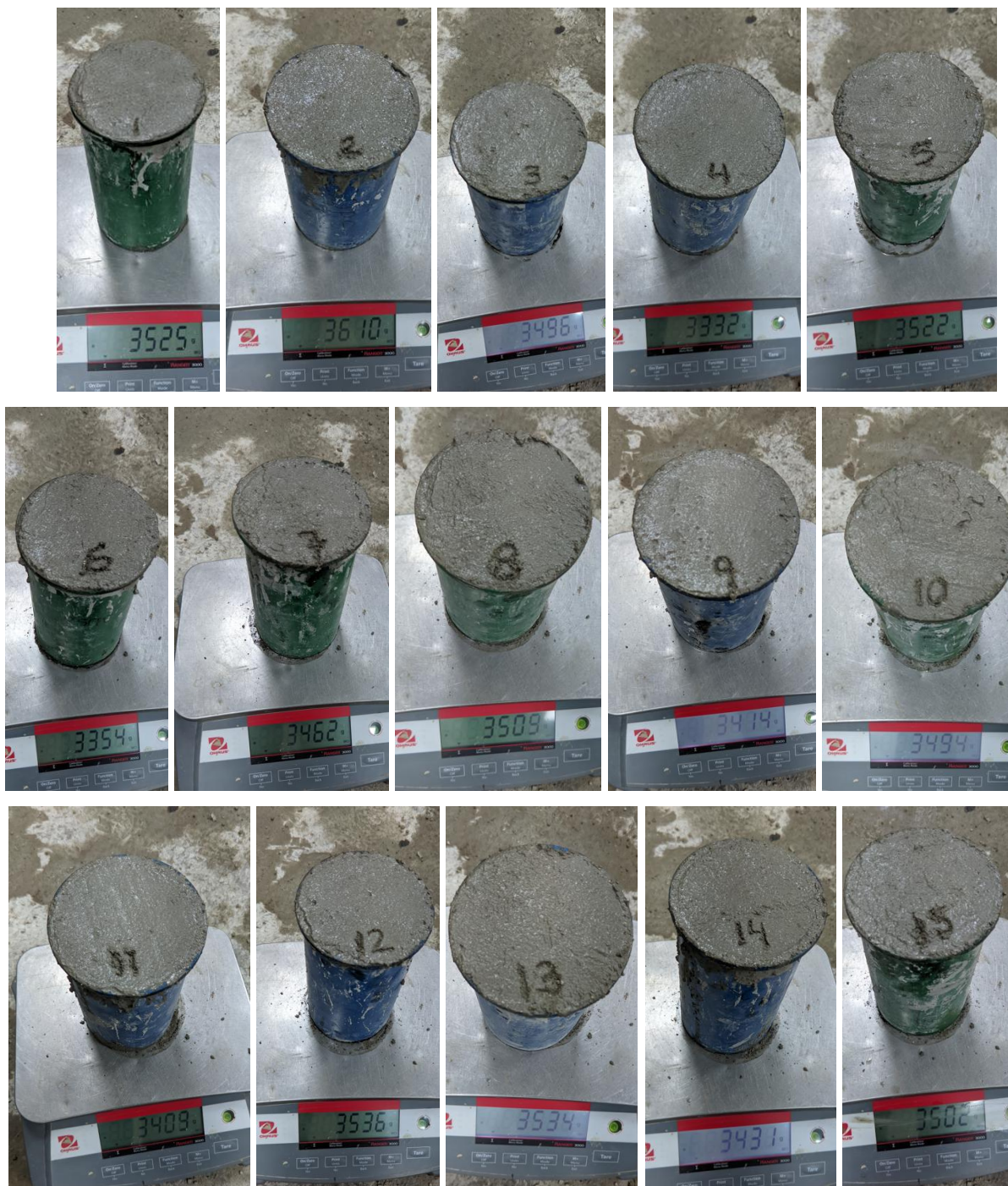


Figura 41: Pesado de muestras de concreto con 15% de vermiculita expandida para ensayo de densidad.

Realización de probetas cilíndricas de concreto y curado

Para las probetas se usaron moldes cilíndricos de plástico, la varilla compactadora de acero, el martillo de goma y un badilejo para darle un acabado parejo a la parte superior de la probeta. El moldeo se realizó siguiendo lo que dice la NTP 339.033 [42] y de igual manera el curado, haciendo uso de agua potable que se encuentre limpia y a temperatura ambiente.

Para el moldeo de probetas se usó moldes de 20 cm de alto con 10 cm de diámetro, para las cuales se realizaron el llenado en 2 capas y por cada capa se llevó a cabo un varillado de 25 veces y sus respectivos golpes con el martillo de goma entre 15 a 16 veces alrededor de toda la circunferencia del molde. Finalmente, se enrazó y con ayuda del badilejo se trató de dar un acabado lo más parejo y limpio posible.



Figura 42: Procedimiento de elaboración de probetas cilíndricas de concreto.

Realización del ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Se efectuó la metodología descrita en la NTP 339.034 [33], hallando la resistencia a la compresión de las muestras de concreto de forma cilíndrica. Este método se llevó a cabo sometiendo una carga de compresión axial sobre las muestras de concreto hasta llevarlos a fallar en una máquina de compresión. El valor numérico de la resistencia del espécimen será calculado por la carga máxima dividida con su área.

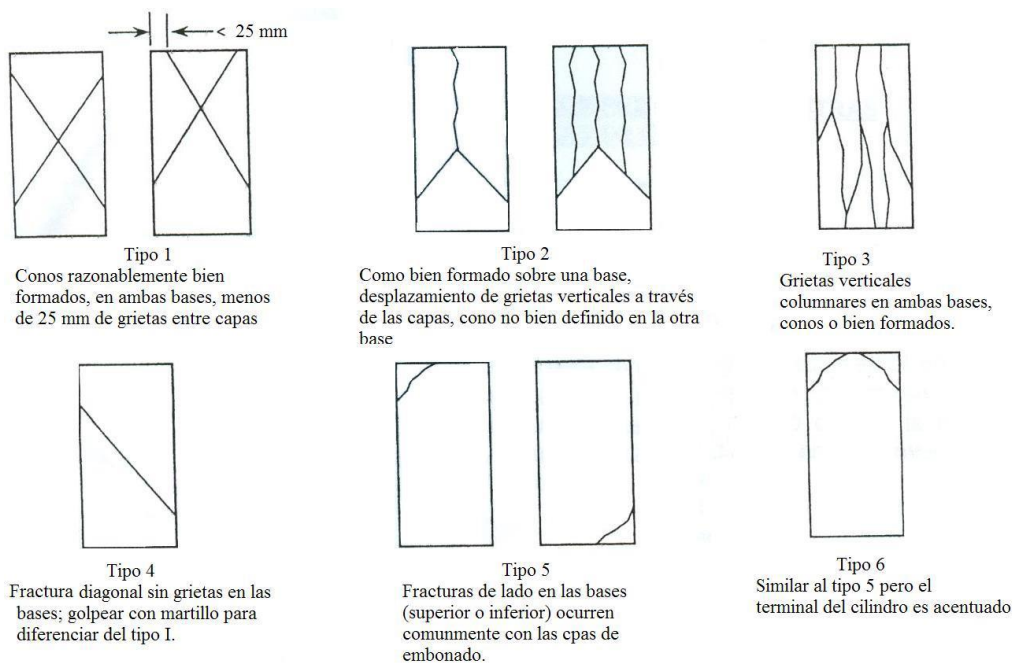
Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión en dos momentos, siendo el primero antes de la exposición al fuego, para determinar la resistencia inicial, y el segundo momento fue después de que las muestras se hayan expuesto a las altas temperaturas según lo propuesto.



Figura 43: Colocación de muestra de concreto en la máquina para ensayo de resistencia a compresión.

También se verificó el tipo de fractura, de acuerdo con la figura 2 de la norma.

Figura 44: Esquema de patrones de tipos de fracturas [33]



Si lo fuera requerido, también se calculará la densidad de las muestras en estado endurecido, la cual está dada por la división de la masa de la muestra entre su volumen, definido por el diámetro y la longitud promedio.

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} = \frac{\text{Masa del espécimen (kg)}}{\text{Volumen del espécimen (m}^3\text{)}}$$

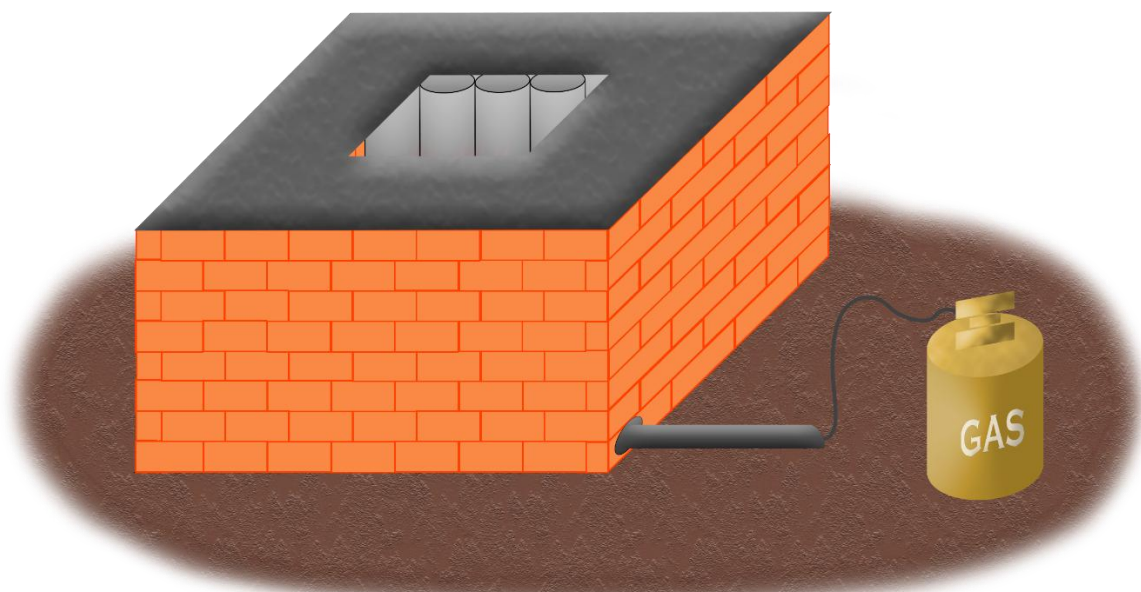
Ecuación 3: Fórmula para calcular la densidad [33]

Realización de la exposición a fuego de las muestras

Procedimiento para la exposición al fuego de las muestras

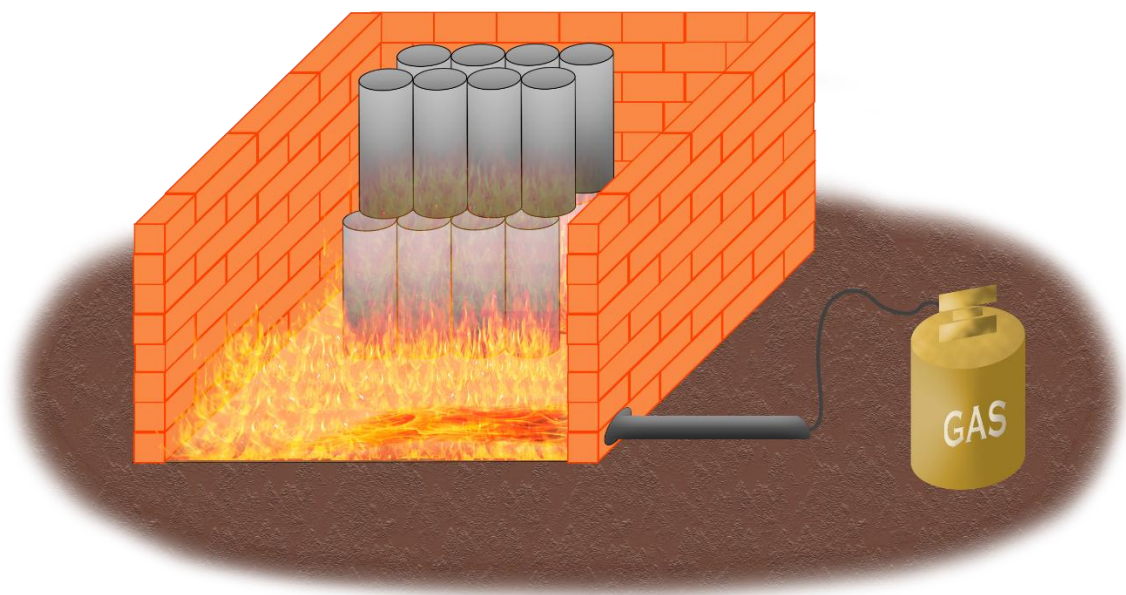
Para la exposición al fuego de las muestras de concreto se hizo uso de un horno artesanal (HA), el cual funciona inyectando gas a través de mangueras para generar fuego en el interior del horno, contándose con sopletes para hacer el proceso manera controlada y lograr aproximarse a la temperatura de exposición requerida, aplicándose durante el tiempo que se ha considerado evaluar las muestras. Se contará con un termómetro infrarrojo para medir la temperatura de exposición; además de los equipos de protección necesarios para evitar accidentes al manipular el fuego.

Figura 45: Ilustración representativa externa del HA



Fuente: Elaboración propia

Figura 46: Ilustración representativa del interior del HA en funcionamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Fotografía del horno artesanal.



Figura 48: Termómetro infrarrojo



▪ **Protocolos de seguridad y protección ante el fuego**

Al trabajar con fuego o altas temperaturas siempre se está expuesto al peligro de quemaduras o de incendios, por ello es fundamental seguir protocolos de seguridad para minimizar las probabilidades de ocurrir un accidente y aminorar riesgos garantizando un entorno seguro.

Se usó el proceso de la NFPA [43], el cual propone utilizar el “Reconocer, Evaluar y Controlar”. Este se basa en lo siguiente:

- Reconocer: la existencia de riesgos de incendio antes de dar inicio los trabajos.
- Evaluar: la existencia de peligros, especialmente las que puedan avivar un incendio, tales como líquidos, gases inflamables y combustibles.
- Controlar: llevar a cabo las medidas necesarias minimizar los peligros o en el mejor de los casos eliminarlos.

Además, después de terminar los trabajos se permaneció por lo menos 60 minutos vigilando el área de trabajo para evitar la existencia de fuegos que puedan volver a generarse [43].

Con respecto a los equipos de protección personal, existen varias características que se tomaron en consideración:

- Traje: la ISO 11611 [44] especifica que deberían cubrir por completo la parte superior e inferior del torso, cuello, brazos y piernas, pudiendo ser una sola prenda, como una bata; o dos prendas, como una chaqueta y un pantalón.

- Guantes: se usará en caso sea necesario manipular directamente algún equipo o herramienta que tenga contacto directo con el fuego.
- Calzado: se debe usar calzado resistente al calor.
- Gafas: se usarán de manera opcional a una distancia prudente; si la observación requiere de menor distancia, se usarán para proteger los ojos de posibles partículas voladoras y radiación térmica.

Con respecto a la zona de trabajo, esta estuvo delimitada para evitar que personas no autorizadas se acerquen. Además, cuenta con buena ventilación para reducir la acumulación de gases, vapores o humos inflamables. También se contó con al menos un extintor disponible dentro del área para combatir alguna propagación de fuego inesperada.

Así mismo, el operario que manejó los equipos que generen el fuego tuvo el conocimiento adecuado sobre los procedimientos para manejar el fuego antes de realizar cualquier tarea.

En general se tuvo una supervisión constante mientras se esté trabajando con fuego, sin alejarse mucho de las áreas calientes sin antes tener la certeza de que todo esté bajo control.

Exposición al fuego de las muestras

Se realizó la exposición a fuego de las muestras de concreto sin adición y a sus diferentes porcentajes de adición a la edad de 28 días en diferentes tiempos y temperaturas de exposición propuestos. Constó de 4 grupos de probetas expuestas a fuego en las siguientes variaciones: 15 minutos de exposición logrando rondar los 600°C, 30 minutos de exposición rondando los 750°C, 1 hora de exposición rondando los 900°C y 2 horas de exposición al fuego logrando temperaturas cercanas a los 1000°C; además, cada grupo quemado constó de 12 probetas, de las cuales se dividen en una cantidad de 3 probetas por cada porcentaje de variación de vermiculita expandida (0% VE, 5% VE, 10% VE y 15% VE).

En cuando al procedimiento, primero se colocaron las muestras de concreto dentro del horno artesanal colocándolas de manera que le cayera el fuego directamente a cada variación de adición. Seguidamente se colocó la tapa al horno y se comenzó a encender el fuego, el cual, después de ser encendido, fue colocado en la boquilla en la parte inferior del horno para que el fuego comenzara a calentar el ambiente interno del horno.

Pasado un tiempo se comenzaba a tomar lecturas de temperatura por la escotilla superior con el termómetro infrarrojo. Se realizó el mismo procedimiento para cada tiempo de exposición (15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas) con sus respectivas muestras.

Al terminar el tiempo de exposición, se procedió a apagar el suministro de gas para que se deje de inyectar fuego al interior del horno. Posteriormente se dejó enfriar las probetas con el horno destapado para que el calor se disipara y se puedan manipular y transportar las muestras sin ningún riesgo de quemaduras por el contacto directo con ellas.

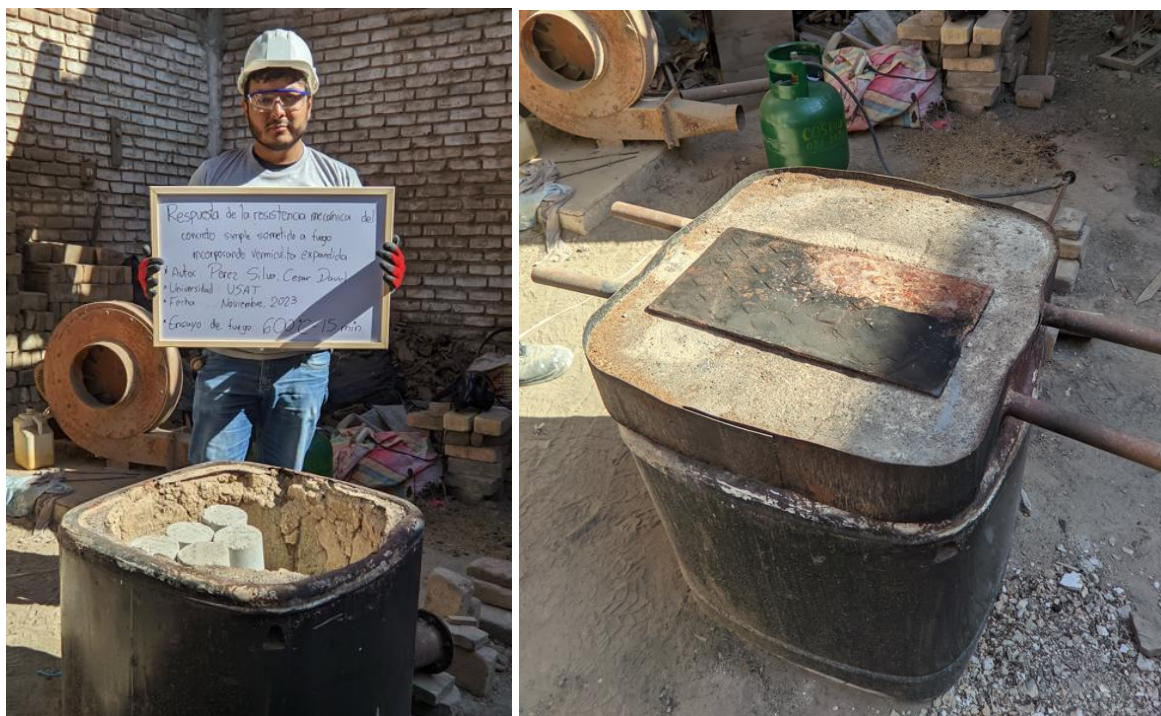


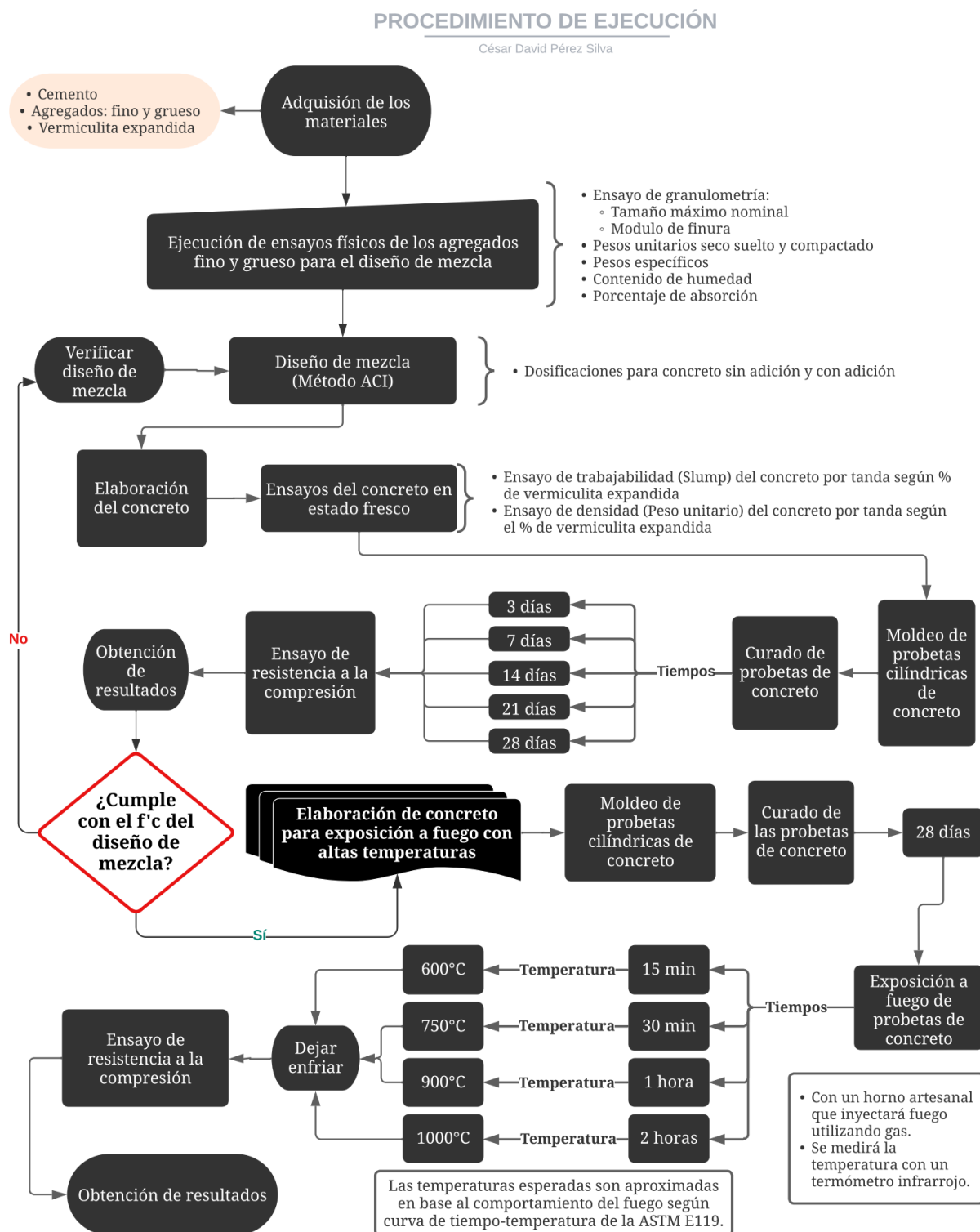
Figura 49: Horno artesanal en el que se realizó la exposición a fuego de las muestras de concreto.



Figura 50: Vista del interior del horno artesanal en funcionamiento desde la escotilla por la que se tomaban las lecturas de temperatura.

Diagrama del procedimiento

Esquema 1: Procedimiento de ejecución.



Fuente: Elaboración propia

Resultados y discusión

Resultados del ensayo de granulometría de los agregados

Granulometría del agregado grueso

El agregado grueso (AG) con el que se realizó la presente investigación fue procedente de la cantera “Pátapo La Victoria”, ubicada en Pátapo, Lambayeque. Los resultados del ensayo son los siguientes:

Tabla 13: Datos del ensayo de granulometría del AG

N° de malla	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Requisitos (Huso 67)	
	mm	gr	%	%	%		
2 1/2 "	63	0	0.00	0.00	100.00	-	-
2 "	50	0	0.00	0.00	100.00	-	-
1 1/2 "	37.5	0	0.00	0.00	100.00	-	-
1 "	25	0	0.00	0.00	100.00	100	100
3/4 "	19	446	16.79	16.79	83.21	90	100
1/2 "	12.5	922	34.70	51.49	48.51	-	-
3/8 "	9.5	550	20.70	72.19	27.81	20	55
N° 4	4.75	692	26.05	98.24	1.76	0	10
N° 8	2.36	44	1.66	99.89	0.11	0	5
N° 16	1.18	1.22	0.05	99.94	0.06	-	-
Fondo	-	1.62	0.06	100.00			
Total		2656.84					

TMN = 3/4 "
TM = 1 "

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 13 se logra apreciar que el tamaño máximo nominal del AG fue de 3/4", el cual es un dato que será de suma importancia para realizar el diseño de mezcla del concreto.

Inmediatamente se mostrará la curva granulométrica del AG (Figura 51), representada en color azul, y del huso 67, representados en color rojo, los cuales evidencian que el AG está casi en su totalidad dentro de los parámetros del respectivo huso, que fue elegido porque el tamaño máximo nominal fue de 3/4", de acuerdo a la NTP 400.037 [25].

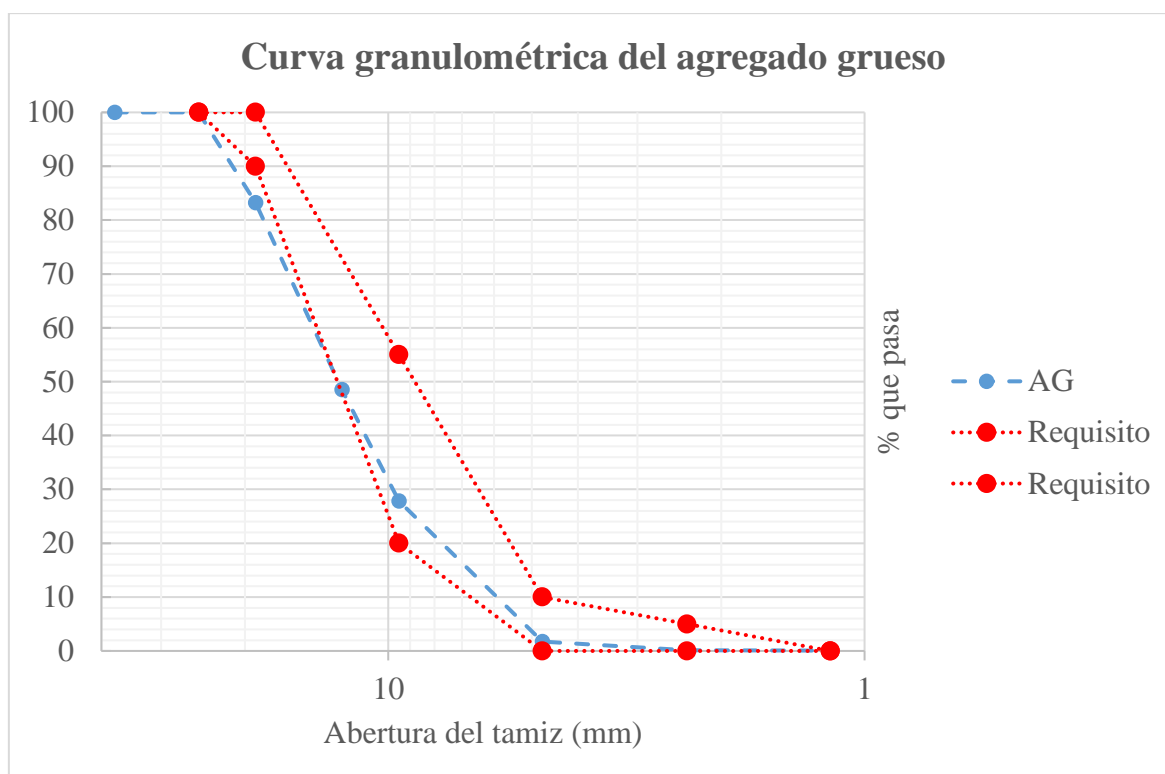


Figura 51: Curva granulométrica del AG.

Granulometría del agregado fino

El agregado fino (AF) con el que se realizó la presente investigación fue procedente de la cantera “Pátapo La Victoria”, ubicada en Pátapo, Lambayeque. Los resultados del ensayo son los siguientes:

Tabla 14: Datos del ensayo de granulometría del AF

N° de malla	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Especificaciones tamaño nominal	
	mm	gr	%	%	%		
3/8 "	9.5	0	0.00	0.00	100.00	100	100
N° 4	4.75	19.37	4.06	4.06	95.94	95	100
N° 8	2.36	71.77	15.03	19.08	80.92	80	100
N° 16	1.18	92.26	19.32	38.40	61.60	50	85
N° 30	0.6	115.45	24.18	62.58	37.42	25	60
N° 50	0.3	101.35	21.22	83.80	16.20	5	30
N° 100	0.15	46.96	9.83	93.64	6.36	0	10
N° 200	0.075	28.95	6.06	99.70	0.30	0	3
Fondo	-	1.44	0.30	100.00			
Total		477.55					

MF = 3.02

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 se revela el módulo de fineza del AF, dato relevante que será usado para realizar los cálculos del diseño de mezcla del concreto. Además, enseguida se aprecia la curva granulométrica del AF (Figura 52), la cual evidencia que el agregado está encontrándose dentro de los parámetros requeridos según la NTP 400.037 [25].

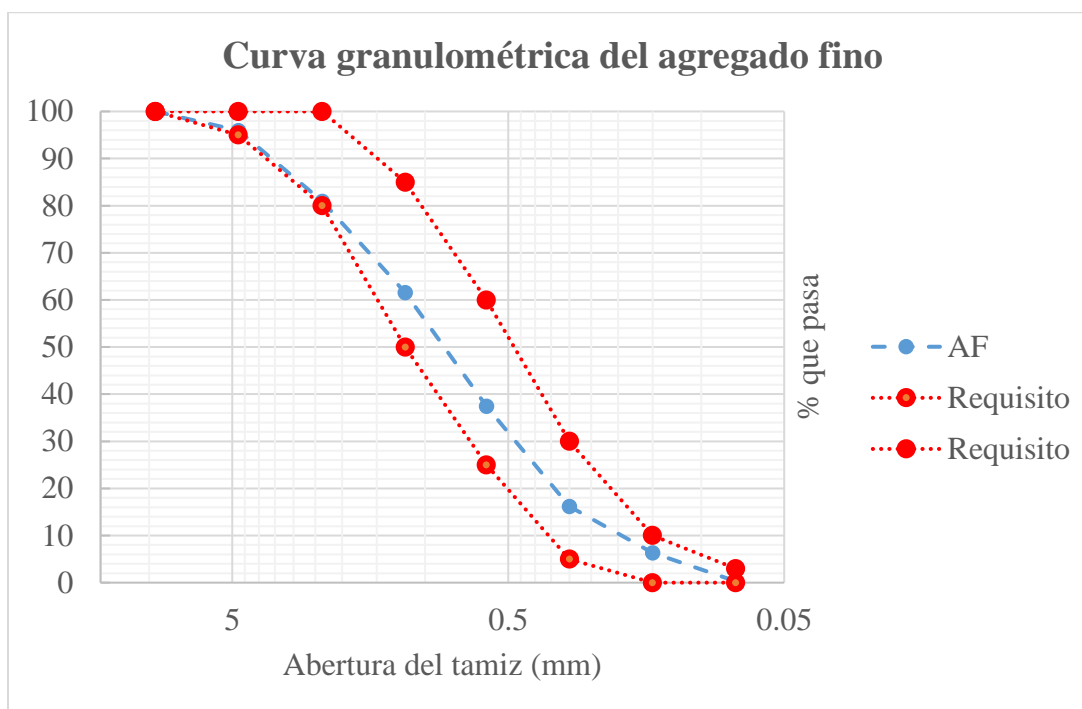


Figura 52: Curva granulométrica del AF.

Resultado del ensayo de pesos unitarios de los agregados

Pesos unitarios seco suelto del agregado grueso

Se consiguió como resultado que el peso unitario seco suelto del AG es de 1455.42 kg/m^3 . Los datos del cálculo fueron los siguientes:

Tabla 15: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AG

Peso del molde: 10050 gr					
Alto del molde: 30.5 cm					
Diámetro del molde: 15.2 cm					
Volumen del molde: 0.00553 m³					
Muestra	Peso muestra + molde	Peso muestra		Peso Unitario	Promedio
	gr	gr	kg	kg/m ³	
N° 1	18110	8060	8.06	1456.32	1455.42
N° 2	18100	8050	8.05	1454.52	

Fuente: Elaboración propia

Pesos unitarios seco compactado del agregado grueso

Se tuvo como resultado que el peso unitario seco compactado del AG es de 1639.72 kg/m^3 .
Los datos del cálculo fueron los siguientes:

Tabla 16: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AG

Peso del molde: 10050 gr					
Alto del molde: 30.5 cm					
Diámetro del molde: 15.2 cm					
Volumen del molde: 0.00553 m³					
Muestra	Peso muestra + molde	Peso muestra		Peso Unitario	Promedio
	gr	gr	kg	kg/m ³	
N° 1	19140	9090	9.09	1642.43	1639.72
N° 2	19110	9060	9.06	1637.01	

Fuente: Elaboración propia

Pesos unitarios seco suelto del agregado fino

Se obtuvo como resultado que el peso unitario seco suelto del AF es de 1622.01 kg/m^3 .
Los datos del cálculo fueron los siguientes:

Tabla 17: Datos del ensayo de peso unitario seco suelto del AF

Peso del molde: 10118 gr					
Alto del molde: 30.5 cm					
Diámetro del molde: 15.2 cm					
Volumen del molde: 0.00553 m³					
Muestra	Peso muestra + molde	Peso muestra		Peso Unitario	Promedio
	gr	gr	kg	kg/m ³	
N° 1	19092	8974	8.974	1621.47	1622.01
N° 2	19098	8980	8.98	1622.56	

Fuente: Elaboración propia

Pesos unitarios seco compactado del agregado fino

Se tuvo como resultado que el peso unitario seco compactado del AF es de 1801.89 kg/m^3 . Los datos del cálculo fueron los siguientes:

Tabla 18: Datos del ensayo de peso unitario seco compactado del AF

Peso del molde: 10117 gr					
Alto del molde: 30.5 cm					
Diámetro del molde: 15.2 cm					
Volumen del molde: 0.00553 m³					
Muestra	Peso muestra + molde	Peso muestra		Peso Unitario	Promedio
	gr	gr	kg	kg/m ³	
N° 1	20087	9970	9.97	1801.43	1801.89
N° 2	20092	9975	9.98	1802.34	

Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo de pesos específicos y porcentaje de absorción de los agregados

Pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso

Se tuvo como resultado que el peso específico del AG fue de 2.813 g/cm^3 y su absorción de 1.00 %. Los datos utilizados se registran en la siguiente tabla:

Tabla 19: Datos de las muestras de AG del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción.

	M1	M2	
1. Peso de la muestra secada al horno	1490	1520	gr
2. Peso de la muestra superficialmente seca	1510	1530	gr
3. Peso de la muestra dentro del agua + peso de la canastilla	1860	1870	gr
4. Peso de la canastilla	880	880	gr
5. Peso de la muestra saturada dentro del agua	980	990	gr

	Promedio
A. Peso específico de la masa	2.813 g/cm ³
B. Peso esp. de masa sat. sup. Seco	2.841 g/cm ³
C. Peso específico aparente	2.895 g/cm ³
D. Porcentaje de absorción	1.000 %

Fuente: Elaboración propia

Pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino

El resultado del peso específico del AF fue de 2.554 g/cm^3 y su absorción de 0.711 %. Los datos utilizados se registran en la siguiente tabla:

Tabla 20: Datos de las muestras de AF del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción.

1. Peso de la arena sup. seca	502.8	gr
2. Peso de la arena sup. seca + peso del frasco + peso del agua	947.8	gr
3. Peso de la arena sup. seca + peso del frasco	643.23	gr
4. Peso del agua	304.52	gr
5. Peso de la arena secada al horno + peso del frasco	639.68	gr
6. Peso del frasco	140.43	gr
7. Peso de la arena secada al horno	499.25	gr
8. Volumen del frasco	500	cm^3

A. Peso específico de la masa	2.554	g/cm^3
B. Peso esp. de masa sat. sup. seco	2.558	g/cm^3
C. Peso específico aparente	2.564	g/cm^3
D. Porcentaje de absorción	0.711	%

Fuente: Elaboración propia

Resultados del ensayo de contenido de humedad de los agregados

Contenido de humedad del agregado grueso

Se obtuvo un resultado de 0.32 % para el contenido de humedad del AG. Los datos trabajados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 21: Datos del AG del ensayo contenido de humedad.

A. Peso de muestra húmeda	5000	gr
B. Peso de muestra seca	4984	gr
C. Peso del recipiente	0	gr
D. Contenido de humedad	0.003210	
	0.32	%

Fuente: Elaboración propia

Contenido de humedad del agregado fino

Se obtuvo un resultado de 0.70 % para el contenido de humedad del AF. Los datos trabajados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 22: Datos del AF del ensayo contenido de humedad.

A. Peso de muestra húmeda	1000	gr
B. Peso de muestra seca	993	gr
C. Peso del recipiente	0	gr
D. Contenido de humedad	0.007049	
	0.70	%

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la caracterización de la vermiculita expandida

La vermiculita expandida (VE) elegida es de categoría “fina” y tiene procedencia brasileña. Además, fue adquirida a un distribuidor de la marca “Maruplast”, el cual cuenta con una ficha técnica (FT) que brinda datos del producto (Anexo N° 1). Algunos de esos datos serán corroborados y contrastados con los ensayos que se mostrarán a continuación.

Ensayo de granulometría de la vermiculita expandida

Los resultados que se revelaron del ensayo de granulometría de VE se sintetizan en el siguiente cuadro:

Tabla 23: Datos del ensayo de granulometría de VE

N° de malla	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje que pasa	Especificaciones FT (% retenidos simples)	
	mm	gr	%	%	%		
3/8 "	9.5	0	0.00	0.00	100.00	0	0
N° 4	4.75	0	0.00	0.00	100.00	0	1
N° 8	2.36	42.91	21.58	21.58	78.42	8	30
N° 16	1.18	115.87	58.26	79.84	20.16	45	75
N° 30	0.6	17.72	8.91	88.75	11.25	5	30
N° 50	0.3	8.08	4.06	92.81	7.19	1	10
N° 100	0.15	6.36	3.20	96.01	3.99	1	5
N° 200	0.075	6.45	3.24	99.26	0.74	0	3
Fondo	-	1.48	0.74	100.00			
Total		198.87				MF = 3.79	

Fuente: Elaboración propia

Inmediatamente, se muestra la curva granulométrica construida con los resultados obtenidos de los porcentajes retenidos, representados en color azul, y se comparan con los porcentajes retenidos que indica la ficha técnica, representados en color rojo. La gráfica indica que la curva se encuentra dentro de los parámetros establecidos en su ficha técnica.

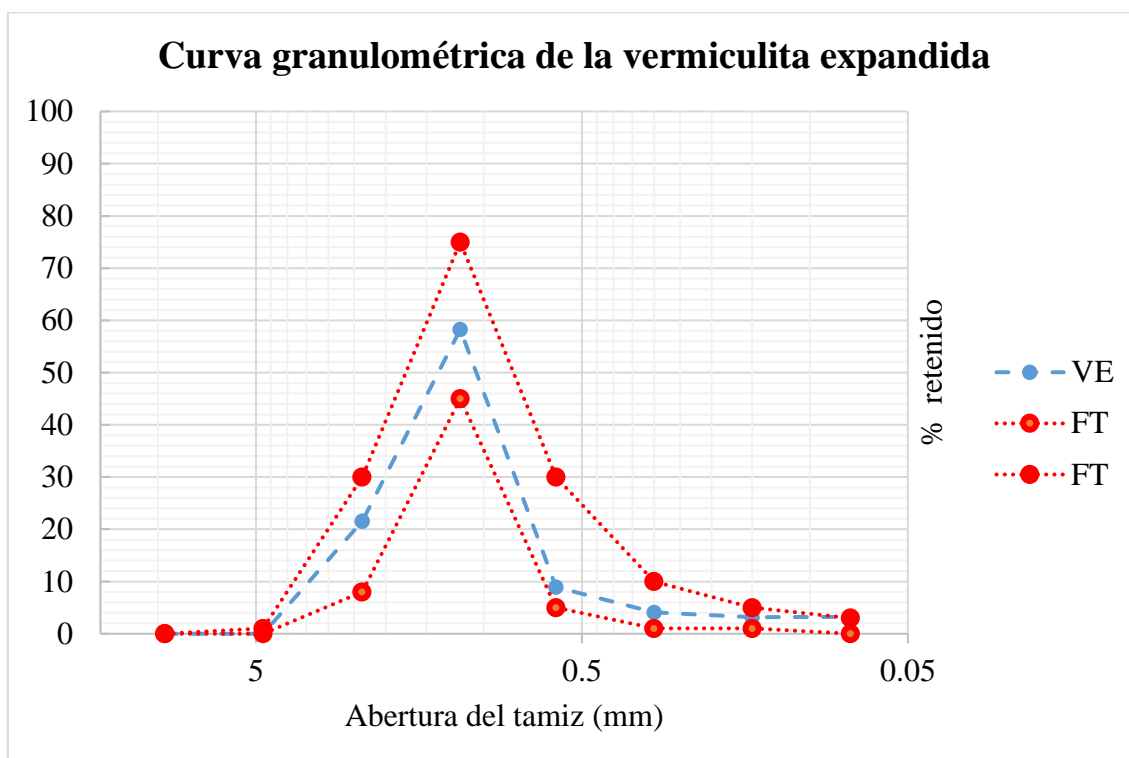


Figura 53: Curva granulométrica de VE.

Contenido de humedad de la vermiculita expandida

Se obtuvo un resultado de 8.61 % para el contenido de humedad de VE a través del ensayo y comparándolo con lo que indica la ficha técnica, se encuentra rondando el porcentaje establecido que es 8%. Los datos trabajados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 24: Datos de la vermiculita expandida del ensayo contenido de humedad.

	M1	M2	
A. Peso de muestra húmeda	100	130.02	gr
B. Peso de muestra seca	92.33	119.37	gr
C. Peso del recipiente	76.84	68.3	gr
D. Contenido de humedad	0.083072	0.089218	
	8.31	8.92	%
Promedio	8.61		%

Fuente: Elaboración propia

Peso específico y absorción de la vermiculita expandida

Se obtuvo como resultado que el peso específico de VE fue de 1.870 g/cm^3 y su absorción de 8.672 %. El peso específico aparente tuvo un resultado de -0.107 g/cm^3 , signo que indica que el material es menos denso que el agua, por lo que flota en ella; además, contrastándolo con lo mostrado en la ficha técnica, se encuentra dentro del parámetro de 0.090 g/cm^3 a 0.130 g/cm^3 establecido en ella para vermiculita expandida de categoría “fina”. Los datos utilizados en los cálculos se registran en la siguiente tabla:

Tabla 25: Datos de la muestra de VE del ensayo de peso específico y porcentaje de absorción

1. Peso de la VE sup. seca	50	gr
2. Peso de la VE sup. seca + peso del frasco + peso del agua	668.06	gr
3. Peso de la VE sup. seca + peso del frasco	192.67	gr
4. Peso del agua	475.39	gr
5. Peso de la VE secada al horno + peso del frasco	188.68	gr
6. Peso del frasco	142.67	gr
7. Peso de la VE secada al horno	46.01	gr
8. Volumen del frasco	500	cm^3

A. Peso específico de la masa	1.870	g/cm^3
B. Peso esp. de masa sat. sup. seco	20.317	g/cm^3
C. Peso específico aparente	-0.107	g/cm^3
D. Porcentaje de absorción	8.672	%

Fuente: Elaboración propia

Densidad de la vermiculita expandida

Para determinar la densidad de la vermiculita expandida se realizó lo estipulado por la NTP 334.005 [41], obteniéndose un resultado de 0.395 gr/cm^3 para la densidad de la vermiculita expandida por el método mencionado.

Tabla 26: Datos del ensayo de densidad de VE

Muestra de VE	8.30	gr
Volumen inicial del Kerosene	50.00	ml
Pesa de vidrio	8.00	cm^3
Volumen del fluido + muestra de VE + pesa de vidrio	79.00	ml
Volumen desplazado	21.00	ml
Densidad	0.395	gr/cm^3

Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla del concreto

El diseño de mezcla del concreto se hizo siguiendo lo regido por el ACI 211, teniendo en consideración los resultados de los ensayos de los agregados y el peso específico del cemento Pacasmayo tipo ICo (2.97 g/cm^3), especificado en su ficha técnica.

El concreto fue diseñado a una resistencia teórica de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, el cual tiene una resistencia requerida de $f'cr = 294 \text{ kg/cm}^2$, calculada mediante la próxima tabla:

Tabla 27: Resistencia a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

f'c especificado	f'cr
< 210	f'c + 70
210 a 350	f'c + 84
> 350	1.1f'c + 50

En cuanto al asentamiento elegido fue de 3" a 4" y, debido a que el TMN fue de 3/4", se determinó que el contenido de aire es 2%, el volumen del agua 205 lt/m^3 , la relación agua/cemento de 0.556. Además, debido al módulo de fineza del AF, se determinó que el peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo) es 0.5984. Con estos datos se procedió a realizar todos los demás cálculos correspondientes para el diseño de mezcla, obteniéndose las cantidades de **materiales por m^3 de concreto en condiciones secas**:

Cemento =	368.71	kg/m^3 de concreto	→	8.68	bls/m^3 de concreto
Agregado Fino =	771.38	kg/m^3 de concreto			
Agregado Grueso =	981.27	kg/m^3 de concreto			
Agua =	205	lt/m^3 de concreto			

Luego se aplicó la corrección por humedad y el aporte de agua de los agregados, obteniéndose las cantidades de **materiales por m^3 de concreto en condiciones húmedas**:

Cemento =	368.71	kg/m^3 de concreto	→	8.68	bls/m^3 de concreto
Agregado Fino =	776.82	kg/m^3 de concreto			
Agregado Grueso =	984.42	kg/m^3 de concreto			
Agua =	211.71	lt/m^3 de concreto			

Finalmente se obtienen las dosificaciones en peso y en volumen:

Tabla 28: Dosificación del concreto en peso

C	AF	AG	Agua
1.00	2.11	2.67	24.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Dosificación del concreto en volumen

C	AF	AG	/	Agua
1.00	1.94	2.74		24.4

Fuente: Elaboración propia

Incorporación de vermiculita expandida en la mezcla

La incorporación de VE dentro de la mezcla se hizo a través de una adición de los porcentajes establecidos en base al volumen del concreto (m^3), utilizando el resultado de la densidad de VE para obtener la dosificación necesaria en peso. Los cálculos se describen a continuación:

$$VE_{5\%} = (1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} * 5\%) * 395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 19.750 \text{ kg}$$

Ecuación 4: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 5% para 1 m^3 .

$$VE_{10\%} = (1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} * 10\%) * 395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 39.500 \text{ kg}$$

Ecuación 5: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 10% para 1 m^3 .

$$VE_{15\%} = (1 \text{ m}^3 \text{ de concreto} * 15\%) * 395 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 59.250 \text{ kg}$$

Ecuación 6: Cálculo en peso de vermiculita expandida al 15% para 1 m^3 .

Así mismo, las dosificaciones se pueden sintetizar en la posterior tabla:

Tabla 30: Cantidad de materiales por volumen del concreto con adiciones.

Materiales por 1 m ³ de concreto	Porcentaje de vermiculita expandida			
	0%	5%	10%	15%
Cemento (kg/m ³ Co)	368.71	368.71	368.71	368.71
Agregado fino (kg/m ³ Co)	776.82	776.82	776.82	776.82
Agregado grueso (kg/m ³ Co)	984.42	984.42	984.42	984.42
Agua (lt/m ³ Co)	211.71	211.71	211.71	211.71
Vermiculita expandida (kg/m ³ Co)	0	19.750	39.500	59.250

Fuente: Elaboración propia

A la Tabla 30 solo será necesario multiplicarle la cantidad de metros cúbicos de concreto solicitados a sus valores para obtener las dosificaciones en peso de cada material, incluyendo la vermiculita expandida.

Resultados de los ensayos realizados al concreto

Resultados del ensayo de asentamiento del concreto en estado fresco

Se llevó a cabo la medición de la trabajabilidad para cada tanda según el porcentaje de adición que contenía. Los resultados son los siguientes:

Tabla 31: Resultados del asentamiento del concreto según porcentaje de adición

Resultados del asentamiento del concreto			
Adición de VE (%)	Tandas	Slump	
		(pulg)	(cm)
0%	Tanda 01	4	10.2
5%	Tanda 02	1.1	2.8
10%	Tanda 03	0.75	1.9
15%	Tanda 04	0	0.0

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 31 señala que el asentamiento fue menor mientras iba aumentando la cantidad de vermiculita expandida, por lo que sí afectó a la trabajabilidad del concreto en todos los porcentajes con adición, siendo el 15% de VE el que afectó de manera más severa a la trabajabilidad.

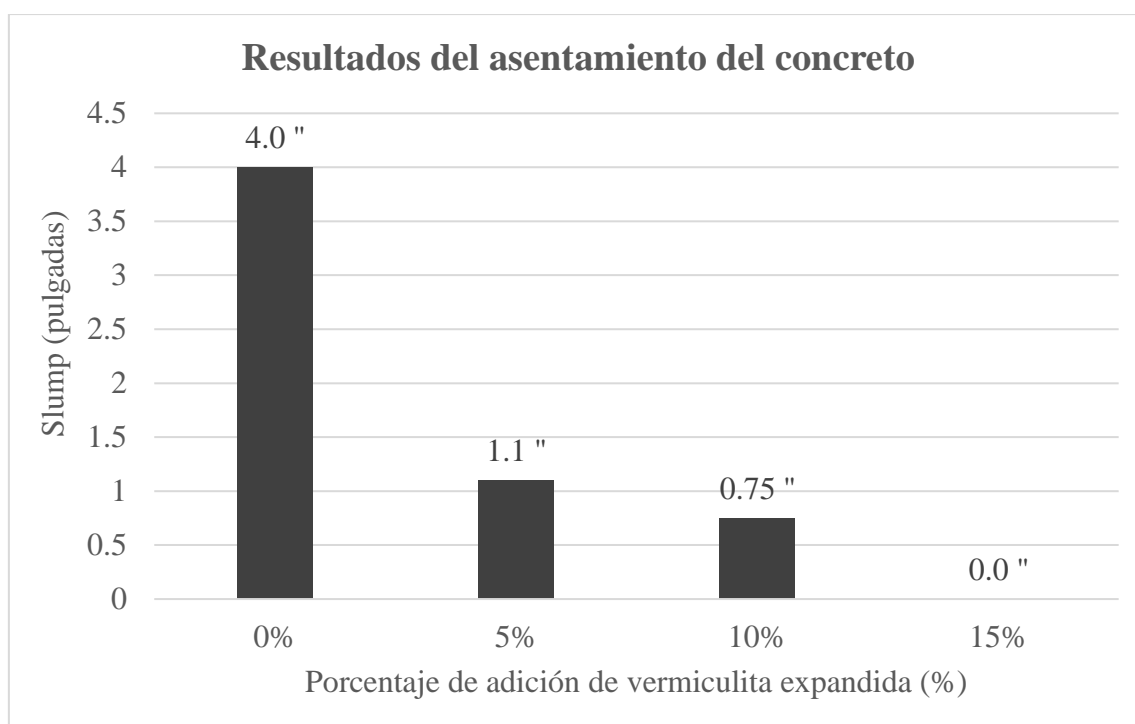


Figura 54: Comparación del asentamiento del concreto según cada porcentaje de VE.

Resultados del ensayo de densidad (peso unitario) del concreto en estado fresco

Se halló la densidad de las muestras de concreto en estado fresco, pesando las muestras elaboradas para cada tanda según su porcentaje de VE. Los resultados se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 32: Resultados de la densidad del concreto patrón (0%VE)

Densidad del concreto en estado fresco para 0% de VE						
Muestra	Altura	Diámetro	Peso del molde	Peso del concreto fresco + molde	Densidad	Densidad promedio
	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(kg/m³)	(kg/m³)
0%VE - 01	20	10	230	4150	2495.55	
0%VE - 02	20	10	230	4030	2419.16	
0%VE - 03	20	10	230	4070	2444.62	
0%VE - 04	20	10	230	4070	2444.62	
0%VE - 05	20	10	230	4060	2438.25	
0%VE - 06	20	10	230	4090	2457.35	
0%VE - 07	20	10	230	4040	2425.52	
0%VE - 08	20	10	230	4100	2463.72	2453.53
0%VE - 09	20	10	230	4090	2457.35	
0%VE - 10	20	10	230	4100	2463.72	
0%VE - 11	20	10	230	4110	2470.08	
0%VE - 12	20	10	230	4090	2457.35	
0%VE - 13	20	10	230	4070	2444.62	
0%VE - 14	20	10	230	4110	2470.08	
0%VE - 15	20	10	230	4080	2450.99	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 32 se observa que la densidad promedio del concreto patrón es de 2453.53 kg/m^3 , el cual será un dato esencial para la comparación de las demás densidades que se hará según corresponda para cada porcentaje de VE.

Tabla 33: Resultados de la densidad del concreto con 5% de VE

Densidad del concreto en estado fresco para 5% de VE						
Muestra	Altura	Diámetro	Peso del molde	Peso del concreto fresco + molde	Densidad	Densidad promedio
	(cm)	(cm)	(gr)	(gr)	(kg/m³)	(kg/m³)
5%VE - 01	20	10	230	3930	2355.49	
5%VE - 02	20	10	230	3900	2336.39	
5%VE - 03	20	10	230	3940	2361.86	
5%VE - 04	20	10	230	3890	2330.03	
5%VE - 05	20	10	230	3880	2323.66	
5%VE - 06	20	10	230	3890	2330.03	
5%VE - 07	20	10	230	3900	2336.39	
5%VE - 08	20	10	230	3920	2349.13	2344.03
5%VE - 09	20	10	230	3900	2336.39	
5%VE - 10	20	10	230	3920	2349.13	
5%VE - 11	20	10	230	3850	2304.56	
5%VE - 12	20	10	230	3940	2361.86	
5%VE - 13	20	10	230	3980	2387.32	
5%VE - 14	20	10	230	3940	2361.86	
5%VE - 15	20	10	230	3900	2336.39	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 33 se logra identificar un descenso de la densidad para el concreto con 5% de adición de VE, siendo en promedio 2344.03 kg/m^3 . Al compararlo con el concreto patrón, este porcentaje de adición disminuyó su densidad en 109.50 kg/m^3 .

Tabla 34: Resultados de la densidad del concreto con 10% de VE

Densidad del concreto en estado fresco para 10% de VE

Muestra	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso del molde (gr)	Peso del concreto fresco + molde (gr)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
10%VE - 01	20	10	230	3840	2298.20	
10%VE - 02	20	10	230	3770	2253.63	
10%VE - 03	20	10	230	3750	2240.90	
10%VE - 04	20	10	230	3810	2279.10	
10%VE - 05	20	10	230	3820	2285.46	
10%VE - 06	20	10	230	3750	2240.90	
10%VE - 07	20	10	230	3730	2228.17	
10%VE - 08	20	10	230	3800	2272.73	2268.49
10%VE - 09	20	10	230	3780	2260.00	
10%VE - 10	20	10	230	3800	2272.73	
10%VE - 11	20	10	230	3780	2260.00	
10%VE - 12	20	10	230	3820	2285.46	
10%VE - 13	20	10	230	3840	2298.20	
10%VE - 14	20	10	230	3790	2266.37	
10%VE - 15	20	10	230	3820	2285.46	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 34 también se logra identificar un descenso de la densidad para el concreto con 10% de adición de VE, siendo en promedio 2268.49 kg/m³. Al compararlo con el concreto patrón, este porcentaje de adición disminuyó su densidad en 185.04 kg/m³.

Tabla 35: Resultados de la densidad del concreto con 15% de VE.

Densidad del concreto en estado fresco para 15% de VE						
Muestra	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso del molde (gr)	Peso del concreto fresco + molde (gr)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
15%VE - 01	20	10	230	3525	2097.66	
15%VE - 02	20	10	230	3610	2151.77	
15%VE - 03	20	10	230	3496	2079.20	
15%VE - 04	20	10	230	3332	1974.79	
15%VE - 05	20	10	230	3522	2095.75	
15%VE - 06	20	10	230	3354	1988.80	
15%VE - 07	20	10	230	3462	2057.56	
15%VE - 08	20	10	230	3509	2087.48	2066.04
15%VE - 09	20	10	230	3414	2027.00	
15%VE - 10	20	10	230	3494	2077.93	
15%VE - 11	20	10	230	3409	2023.81	
15%VE - 12	20	10	230	3536	2104.66	
15%VE - 13	20	10	230	3534	2103.39	
15%VE - 14	20	10	230	3431	2037.82	
15%VE - 15	20	10	230	3502	2083.02	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 35 también se logra identificar un descenso de la densidad para el concreto con 15% de adición de VE, siendo en promedio 2066.04 kg/m³. Al compararlo con el concreto patrón, este porcentaje de adición disminuyó su densidad en 387.49 kg/m³.

Entonces, de las anteriores tablas se evidencia que, con respecto al concreto patrón, las densidades fueron bajando según aumentaba el porcentaje de VE, siendo 109.50 kg/m³, 185.04 kg/m³ y 387.49 kg/m³ la cantidad disminuida para los porcentajes de 5% VE, 10% VE y 15% VE, respectivamente. A continuación, se muestra un gráfico de comparación:

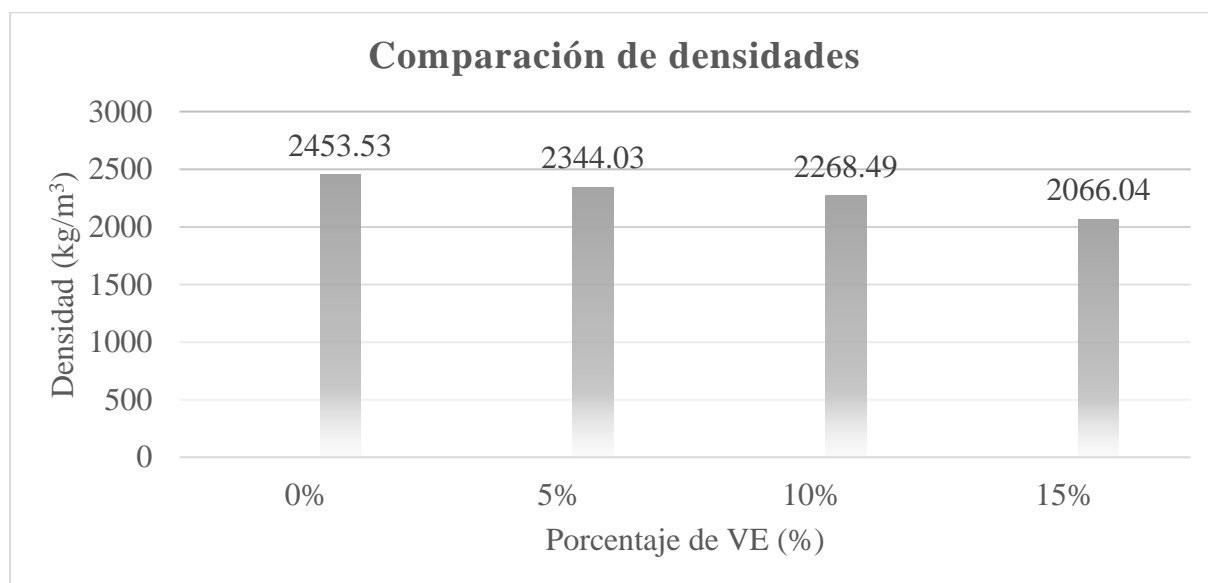


Figura 55: Densidades del concreto según cada porcentaje de adición.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto

Se realizaron para el concreto sin adición y a sus diferentes porcentajes de adición, en las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días para cada porcentaje. Los resultados se agruparán en la siguiente tabla:

Tabla 36: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 0% de VE (patrón).

Resistencia a la compresión del concreto patrón (0%VE)

Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	f'c (kg/cm²)	Tipo de falla	f'c promedio (kg/cm²)
0%VE - 01	3	10	10640	135.47	5	
0%VE - 02	3	10	10430	132.80	5	136.4
0%VE - 03	3	10	11060	140.82	5	
0%VE - 04	7	10	16583.9	211.15	5	
0%VE - 05	7	10	15919.7	202.70	5	213.6
0%VE - 06	7	10	17824.7	226.95	2	
0%VE - 07	14	10	18612.2	236.98	5	
0%VE - 08	14	10	19877.6	253.09	6	245.9
0%VE - 09	14	10	19456.1	247.72	4	
0%VE - 10	21	10	21149.1	269.28	5	
0%VE - 11	21	10	20897.4	266.07	5	274.8
0%VE - 12	21	10	22713.4	289.20	2	
0%VE - 13	28	10	22179.6	282.40	2	
0%VE - 14	28	10	23050.7	293.49	5	296.9
0%VE - 15	28	10	24730.2	314.87	4	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 36 se identifica que la resistencia a compresión promedio del concreto patrón a 28 días de edad fue de 296.9 kg/cm^2 . Este concreto fue diseñado a un $f'c$ requerido de 294 kg/cm^2 y un $f'c$ teórico de 210 kg/cm^2 , el cual, al comparar ambos $f'c$ con el resultado del $f'c$ real obtenido de los ensayos se encuentra al 101% y 141%, respectivamente.

Seguidamente se mostrarán las tablas de los resultados de resistencia a la compresión para las muestras con adición de vermiculita expandida:

Tabla 37: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 5% de VE.

Resistencia a la compresión del concreto para 5% de VE						
Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	f'c (kg/cm²)	Tipo de falla	f'c promedio (kg/cm²)
VE5% - 1	3	10	9722.9	123.80	4	
VE5% - 2	3	10	9710.4	123.64	2	124.4
VE5% - 3	3	10	9888.6	125.91	5	
VE5% - 4	7	10	10587.7	134.81	2	
VE5% - 5	7	10	10109.0	128.71	6	135.2
VE5% - 6	7	10	11148.1	141.94	5	
VE5% - 7	14	10	11623.8	148.00	3	
VE5% - 8	14	10	12008.2	152.89	5	157.6
VE15% - 9	14	10	13494.8	171.82	3	
VE5% - 10	21	10	13751.8	175.09	5	
VE5% - 11	21	10	13592.3	173.06	2	178.5
VE5% - 12	21	10	14720.4	187.43	6	
VE5% - 13	28	10	16337.5	208.02	5	
VE5% - 14	28	10	14966.9	190.56	3	202.0
VE5% - 15	28	10	16284.4	207.34	2	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 37 se observan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión asociados al porcentaje de adición del 5%, tabla que muestra que a los 28 días en promedio se obtuvo una resistencia de 202.0 kg/cm^2 , el cuál ha presentado una disminución de resistencia inicial y comparándola con el f'c patrón, ha disminuido 94.9 kg/cm^2 .

Tabla 38: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de 10% de VE.

Resistencia a la compresión del concreto para 10% de VE						
Muestra	Edad (días)	Diámetro	Carga	f'c	Tipo de falla	f'c promedio
		(cm)	(kg)	(kg/cm²)		(kg/cm²)
VE10% - 1	3	10	4592.9	58.48	2	
VE10% - 2	3	10	4969.6	63.27	2	63.5
VE10% - 3	3	10	5397.8	68.73	6	
VE10% - 4	7	10	6436.5	81.95	2	
VE10% - 5	7	10	6086.5	77.50	3	79.8
VE10% - 6	7	10	6284.9	80.02	5	
VE10% - 7	14	10	6636.3	84.50	2	
VE10% - 8	14	10	7792.7	99.22	3	94.3
VE10% - 9	14	10	7778.5	99.04	2	
VE10% - 10	21	10	8371.4	106.59	5	
VE10% - 11	21	10	9342.7	118.95	5	114.6
VE10% - 12	21	10	9283.6	118.20	3	
VE10% - 13	28	10	10268.4	130.74	2	
VE10% - 14	28	10	10283.8	130.94	2	127.6
VE10% - 15	28	10	9504.0	121.01	6	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 38 se observan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión asociados al porcentaje de adición del 10%, tabla que muestra que a los 28 días en promedio se obtuvo una resistencia de 127.6 kg/cm^2 , el cuál ha presentado una disminución mayor de la resistencia inicial y comparándola con el f'c patrón, ha disminuido 169.4 kg/cm^2 .

Tabla 39: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras al 15% de adición.

Resistencia a la compresión del concreto para 15% de VE

Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	f'c promedio (kg/cm ²)
VE15% - 1	3	10	1106.6	14.09	2	
VE15% - 2	3	10	1364.6	17.37	2	16.6
VE15% - 3	3	10	1443.2	18.38	2	
VE15% - 4	7	10	1975.2	25.15	3	
VE15% - 5	7	10	1929.9	24.57	2	28.0
VE15% - 6	7	10	2689.2	34.24	3	
VE15% - 7	14	10	3018.3	38.43	2	
VE15% - 8	14	10	3751.0	47.76	5	39.9
VE15% - 9	14	10	2636.3	33.57	3	
VE15% - 10	21	10	5050.3	64.30	2	
VE15% - 11	21	10	4873.7	62.05	5	63.5
VE15% - 12	21	10	5026.3	64.00	2	
VE15% - 13	28	10	7891.7	100.48	5	
VE15% - 14	28	10	7601.6	96.79	6	90.5
VE15% - 15	28	10	5820.1	74.10	3	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 39 se observan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión asociados al porcentaje de adición del 15%, tabla que muestra que a los 28 días en promedio se obtuvo una resistencia de 90.5 kg/cm^2 , el cuál ha presentado una disminución mayor de la resistencia inicial y comparándola con el f'c patrón, ha disminuido 206.5 kg/cm^2 , perdiendo una considerable cantidad de resistencia inicial.

En la Figura 56 se aprecia la comparativa de los mencionados resultados de las muestras en sus diferentes edades según las variaciones de porcentaje de adición empleado.

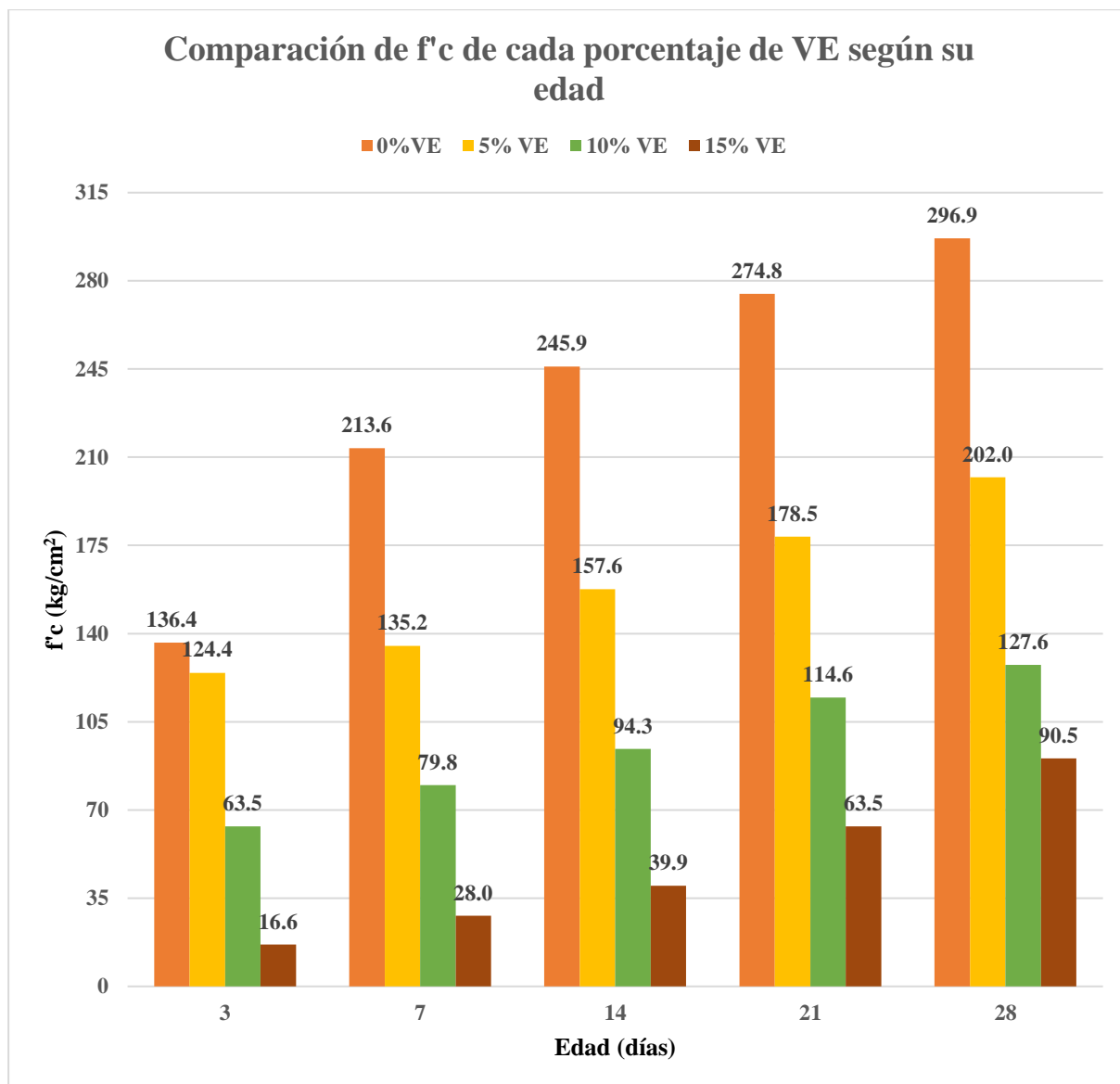


Figura 56: Comparación de los $f'c$ de los concretos al 0%VE, 5%VE, 10%VE y 15%VE según su edad.

Para fines comparativos que se realizarán más adelante, se condensarán en una tabla los resultados promedio alcanzada a los 28 días, siendo estas resistencias las consideradas al 100% de la resistencia para cada variación de adición de vermiculita expandida y llamadas resistencias a compresión inicial ($f'c$ inicial) que servirán de base para contrastar los resultados que se verán más adelante.

Tabla 40: Resistencia a la compresión inicial del concreto en todas sus variaciones con vermiculita expandida

Resistencia a la compresión inicial del concreto en todas sus variaciones de adición de VE

Adición de VE	Edad	f'c inicial
(%)	(días)	(kg/cm²)
0%	28	296.9
5%	28	202.0
10%	28	127.6
15%	28	90.5

Fuente: Elaboración propia

Los valores del f'c inicial de la Tabla 40 también serán considerados como los valores para la resistencia a compresión de las muestras sin exposición a fuego, es decir, a temperatura ambiente (0 minutos de exposición y 0 grados de temperatura de fuego expuesto). Esto servirá para entender más adelante las comparaciones que se realizarán a las muestras que sí tendrán exposición a fuego en diferentes tiempos y temperaturas.

Resultados de la exposición a fuego

Resultados de las temperaturas de exposición a fuego

Se realizó la medición de las temperaturas correspondientes a cada tiempo de quemado propuesto: 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas, esperándose tener temperaturas que logren acercarse a los 600°C, 750°C, 900°C y 1000°C, respectivamente según el tiempo y tratando de asemejarse a la curva tiempo – temperatura de la ASTM E119 [1]. Se realizaron varias tomas de temperatura que se agrupan en el inmediato cuadro presentado:

Tabla 41: Resumen de lecturas de temperatura de exposición

Lecturas de temperaturas de exposición a fuego tomadas

Tiempos de exposición (min / horas)	Temperaturas esperadas (°C)	Temperaturas tomadas (°C)	Temperaturas tomadas promedio (°C)	Variación entre temperatura esperada y tomada promedio (%)
15 minutos	600	575.3	599.4	0.10%
		586.2		
		610.8		
		625.2		
30 minutos	750	747.2	749.6	0.05%
		745.9		
		750.6		
		754.7		
1 hora	900	882.1	902.4	0.27%
		910.8		
		901.2		
		915.5		
2 horas	1000	997.4	995.9	0.41%
		999.8		
		993.0		
		993.5		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 41 se identifica que se consideró 4 lecturas de temperatura para cada tiempo de exposición y se hizo un promedio para obtener un solo valor numérico de temperatura de exposición tomada. Así mismo se logra distinguir que en algunas lecturas de forma independiente se obtuvo temperaturas más aproximadas a la esperada que en otras, sin embargo, se ha considerado el promedio para finalmente compararlas con la temperatura esperada. En seguida, se expone una gráfica de comparación entre la temperatura esperada y la temperatura promedio obtenida.

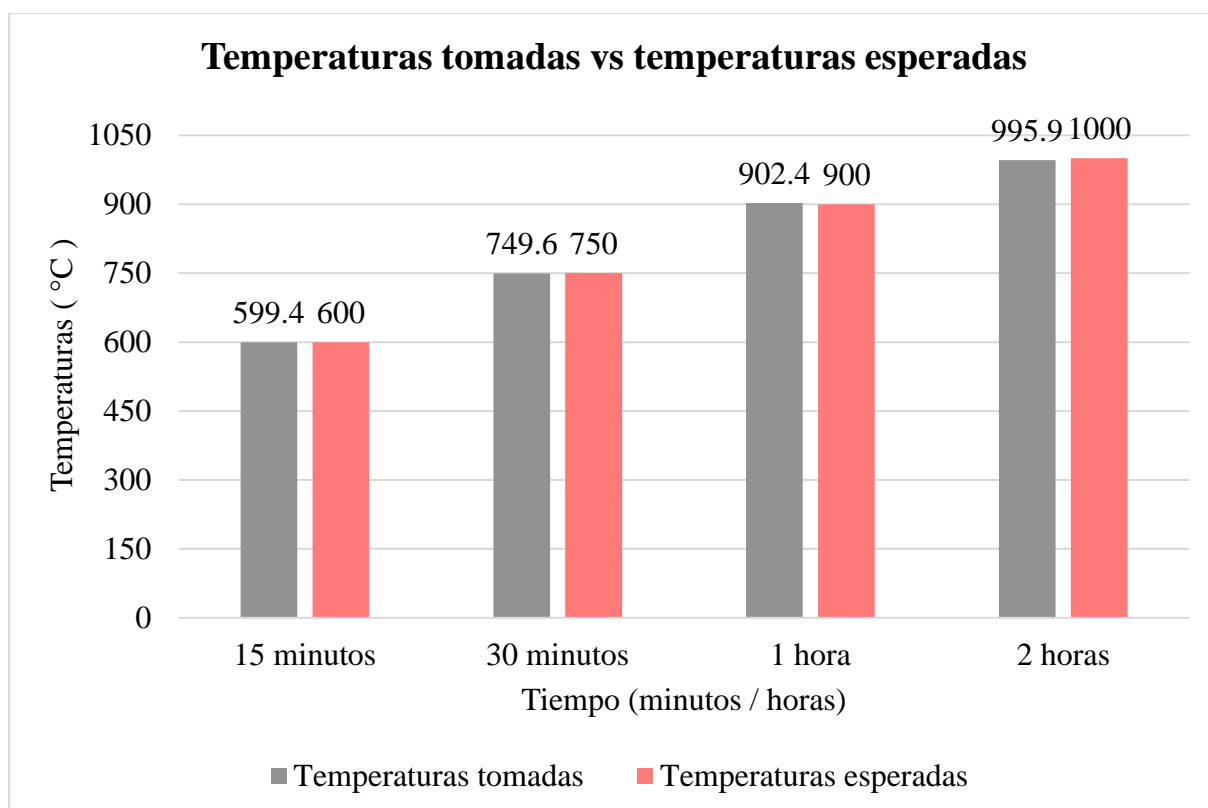


Figura 57: Comparación de temperaturas tomadas vs temperaturas esperadas.

En la Figura 57 se puede ver que la variación entre temperaturas tomadas y esperadas es bastante pequeña. El porcentaje de variación máximo se da en la comparación de 1000°C esperados contra los 995.9°C obtenidos, teniendo una variación entre temperaturas del 0.41%, siendo un valor muy pequeño, por lo cual se despreciarán las variaciones y se hablará de las temperaturas como 600°C para los 15 minutos, 750°C para los 30 minutos, 900°C para 1 hora y 1000°C para 2 horas.

Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del concreto expuesto a fuego

Se realizaron los ensayos para el concreto sin adición y a sus diferentes porcentajes de adición a la edad de 28 días según sus diferentes tiempos y temperaturas de exposición propuestos. Constó de 4 grupos de probetas ensayadas, cada grupo expuestos a fuego por cada variación de tiempo / temperatura:

- Grupo 1: 15 minutos logrando rondar los 600°C
- Grupo 2: 30 minutos logrando rondar los 750°C
- Grupo 3: 1 hora logrando rondar los 900°C
- Grupo 4: 2 horas logrando temperaturas cercanas a los 1000°C

Además, cada grupo constó de 12 probetas, de las cuales se dividen en una cantidad de 3 probetas por cada porcentaje de variación de VE (0% VE, 5% VE, 10% VE y 15% VE). Acto seguido, se muestran agrupados los resultados del primer grupo.

Tabla 42: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C.

Resistencia a la compresión del concreto de muestras expuestas a fuego por 15 minutos - 600°C

Porcentaje de adición de VE (%)	Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	f'c (kg/cm ²)	Tipo de falla	f'c promedio (kg/cm ²)
0%	Q1 – 0%VE	28	10	23248.0	296.00	1	316.0
	Q2 – 0%VE	28	10	24009.4	305.70	2	
	Q3 – 0%VE	28	10	27204.4	346.38	1	
5%	Q4 – 5%VE	28	10	15700.8	199.91	1	199.3
	Q5 – 5%VE	28	10	14072.8	179.18	2	
	Q6 – 5%VE	28	10	17177.1	218.71	2	
10%	Q7 – 10%VE	28	10	12916.7	164.46	3	162.8
	Q8 – 10%VE	28	10	11470.4	146.05	4	
	Q9 – 10%VE	28	10	13968.0	177.85	2	
15%	Q10 – 15%VE	28	10	7854.0	100.00	3	104.3
	Q11 – 15%VE	28	10	8181.9	104.18	3	
	Q12 – 15%VE	28	10	8528.6	108.59	3	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 42 se identifican los resultados del concreto después de haber sido expuesto a fuego, en este caso, por 15 minutos teniendo aproximadamente 600°C. Si nos fijamos en los resultados del f'c inicial (Tabla 40) (muestras sin exposición a fuego) y hacemos una comparación con los valores de la Tabla 42, que son las muestras expuestas, nos fijaremos que la resistencia a compresión se ha elevado en la casi todas las muestras expuestas a fuego de manera independiente, sin embargo, al promediar estos resultados, se observará que solo el f'c promedio del concreto con 5% de VE ha tenido una disminución de resistencia. A continuación, se muestra un cuadro que agrupa esta comparación, recalando también que los valores comparados son de muestras con 28 días de edad.

Tabla 43: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego con las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C

Comparación de las muestras sin exposición a fuego con las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C				
Porcentaje de adición de VE	Sin exposición	Exposición a fuego: 15 minutos - 600°C		
	f'c inicial	f'c muestra expuesta	Porcentaje en relación con el f'c inicial	Porcentaje de resistencia que aumentó o redujo
(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(%)
0%	296.9	316.0	106.4%	+6.4%
5%	202.0	199.3	98.7%	-1.3%
10%	127.6	162.8	127.6%	+27.6%
15%	90.5	104.3	115.3%	+15.3%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 43 apreciamos la comparación antes mencionada, en la cual se denota que el concreto aumentó su resistencia a compresión en 6.4% para la muestra con 0% de VE (patrón), en 27.6% para la muestra con 10% de VE, en 15.3% para la muestra de 15% de VE, pero en la muestra del 5% de VE se redujo en un 1.3% al ser comparado con la resistencia de muestras sin exposición a fuego (f'c inicial). En la Figura 58 se aprecia de manera gráfica la comparación de las resistencias de las muestras sin exposición (f'c inicial) y de las muestras expuestas (f'c muestra expuesta).

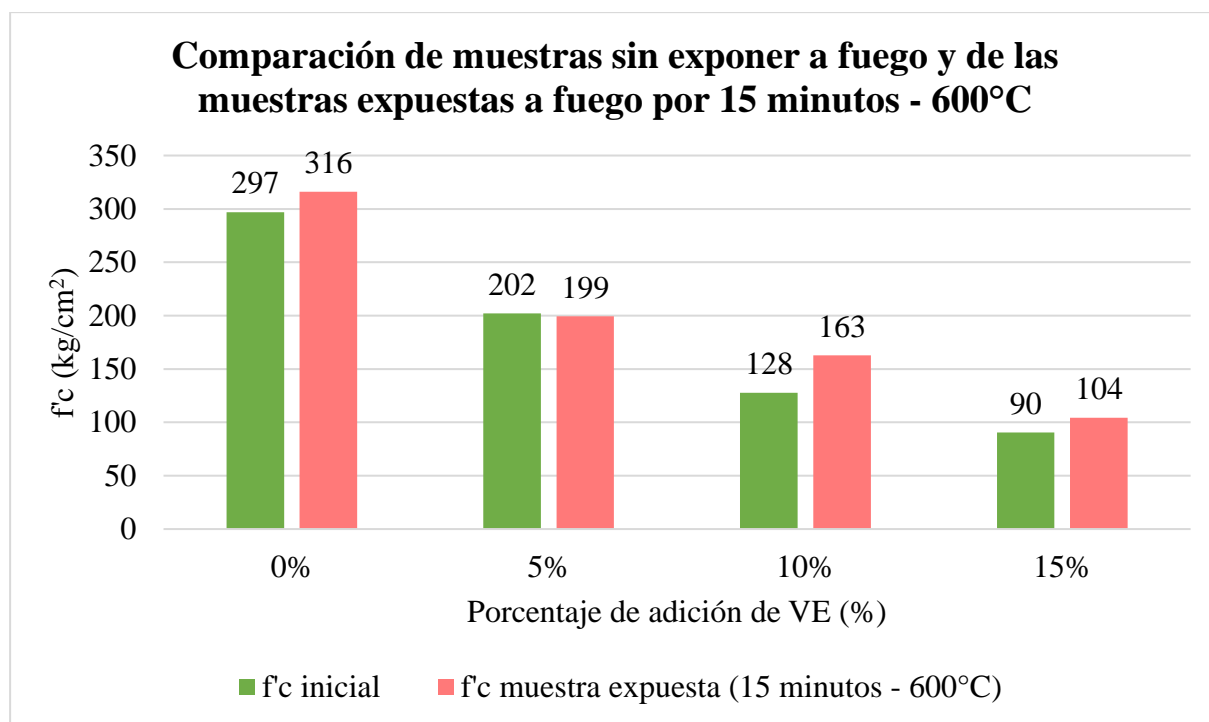


Figura 58: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 15 minutos – 600°C.

Seguidamente se muestran agrupados los resultados del segundo grupo ensayado, también mostrando su respectiva comparación con el $f'c$ inicial sin exposición.

Tabla 44: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C.

Resistencia a la compresión del concreto de muestras expuestas a fuego por 30 minutos - 750°C

Porcentaje de adición de VE (%)	Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)	Tipo de falla	$f'c$ promedio (kg/cm ²)
0%	Q1 – 0%VE	28	10	21215.4	270.12	3	279.0
	Q2 – 0%VE	28	10	23885.3	304.12	2	
	Q3 – 0%VE	28	10	20633.6	262.72	3	
5%	Q4 – 5%VE	28	10	9458.5	120.43	3	159.1
	Q5 – 5%VE	28	10	16452.5	209.48	3	
	Q6 – 5%VE	28	10	11580.2	147.44	2	
10%	Q7 – 10%VE	28	10	10087.1	128.43	3	118.5
	Q8 – 10%VE	28	10	11366.9	144.73	3	
	Q9 – 10%VE	28	10	6472.6	82.41	3	
15%	Q10 – 15%VE	28	10	5612.4	71.46	3	74.6
	Q11 – 15%VE	28	10	7204.3	91.73	3	
	Q12 – 15%VE	28	10	4770.3	60.74	4	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 44 se identifican los resultados del concreto después de haber sido expuesto a fuego, en este caso, por 30 minutos teniendo aproximadamente 750°C. Si nos fijamos en los resultados del $f'c$ inicial (Tabla 40) (muestras sin exposición a fuego) y hacemos una comparación con los valores de la Tabla 44, que son las muestras expuestas, nos fijaremos que la resistencia a compresión ha disminuido en todas las muestras expuestas a fuego. A continuación, se muestra un cuadro que agrupa esta comparación para los $f'c$ promediados.

Tabla 45: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C

Comparación de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C				
Porcentaje de adición de VE (%)	Sin exposición	Exposición a fuego: 30 minutos - 750°C		
	f'c inicial (kg/cm ²)	f'c muestra expuesta (kg/cm ²)	Porcentaje en relación con el f'c inicial (%)	Porcentaje de resistencia que aumentó o redujo (%)
0%	296.9	279.0	94.0%	-6.0%
5%	202.0	159.1	78.8%	-21.2%
10%	127.6	118.5	92.9%	-7.1%
15%	90.5	74.6	82.5%	-17.5%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 45 apreciamos la comparación antes mencionada, en la cual se denota que el concreto disminuyó su resistencia a compresión en 6.0% para la muestra con 0% de VE (patrón), en 21.2% para la muestra con 5% de VE, en 7.1% para la muestra con 10% de VE y en 17.5% para la muestra de 15% de VE al ser comparados con la resistencia de muestras sin exposición a fuego (f'c inicial). En la Figura 59 se aprecia gráficamente la comparación de las resistencias de las muestras sin exposición (f'c inicial) y de las muestras expuestas (f'c muestra expuesta) para el segundo grupo ensayado.

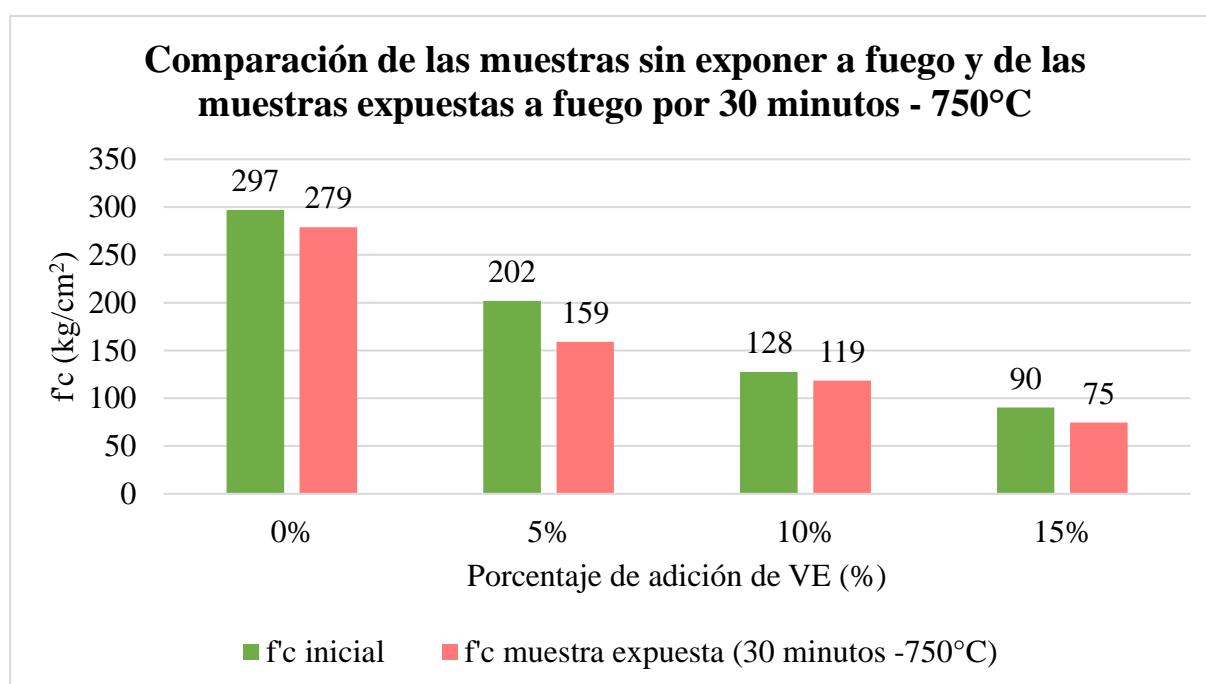


Figura 59: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 30 minutos – 750°C.

Seguidamente se muestran agrupados los resultados del tercer grupo ensayado, también mostrando su respectiva comparación con el $f'c$ inicial sin exposición.

Tabla 46: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 1 hora – 900°C

Resistencia a la compresión del concreto de muestras expuestas a fuego por 1 hora – 900°C

Porcentaje de adición de VE (%)	Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm²)	Tipo de falla	$f'c$ promedio (kg/cm²)
0%	Q1 – 0%VE	28	10	16382.0	208.58	3	184.7
	Q2 – 0%VE	28	10	18865.2	240.20	2	
	Q3 – 0%VE	28	10	8273.3	105.34	3	
5%	Q4 – 5%VE	28	10	10465.2	133.25	1	147.6
	Q5 – 5%VE	28	10	17510.4	222.95	3	
	Q6 – 5%VE	28	10	6808.4	86.69	3	
10%	Q7 – 10%VE	28	10	6788.2	86.43	2	99.7
	Q8 – 10%VE	28	10	9679.1	123.24	3	
	Q9 – 10%VE	28	10	7031.3	89.53	3	
15%	Q10 – 15%VE	28	10	6039.6	76.90	3	71.8
	Q11 – 15%VE	28	10	5074.4	64.61	3	
	Q12 – 15%VE	28	10	5814.1	74.03	1	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 46 se identifican los resultados de resistencia a compresión del concreto después de haber sido expuesto a fuego, en este caso, por 1 hora teniendo aproximadamente 900°C. Si nos fijamos en los resultados del $f'c$ inicial (Tabla 40) (muestras sin exposición a fuego) y hacemos una comparación con los valores de la Tabla 46, que son las muestras expuestas, nos fijaremos que la resistencia a compresión ha disminuido en todas las muestras expuestas a fuego. A continuación, se muestra un cuadro que agrupa esta comparación para los $f'c$ promediados.

Tabla 47: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 1 hora – 900°C.

Comparación de las muestras sin exponer a fuego y de las muestras expuestas a fuego por 1 hora - 900°C				
Porcentaje de adición de VE	Sin exposición		Exposición a fuego: 1 hora - 900°C	
	f'c inicial	f'c muestra expuesta	Porcentaje en relación con el f'c inicial	Porcentaje de resistencia que aumentó o redujo
(%)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	(%)
0%	296.9	184.7	62.2%	-37.8%
5%	202.0	147.6	73.1%	-26.9%
10%	127.6	99.7	78.2%	-21.8%
15%	90.5	71.8	79.4%	-20.6%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 47 apreciamos la comparación antes mencionada, en la cual se denota que el concreto disminuyó su resistencia a compresión en 37.8% para la muestra con 0% de VE (patrón), en 26.9% para la muestra con 5% de VE, en 21.8% para la muestra con 10% de VE y en 20.6% para la muestra de 15% de VE al ser comparados con la resistencia de muestras sin exposición a fuego (f'c inicial). En la Figura 60 se aprecia gráficamente la comparación de las resistencias de las muestras sin exposición (f'c inicial) y de las muestras expuestas (f'c muestra expuesta) para el tercer grupo ensayado.

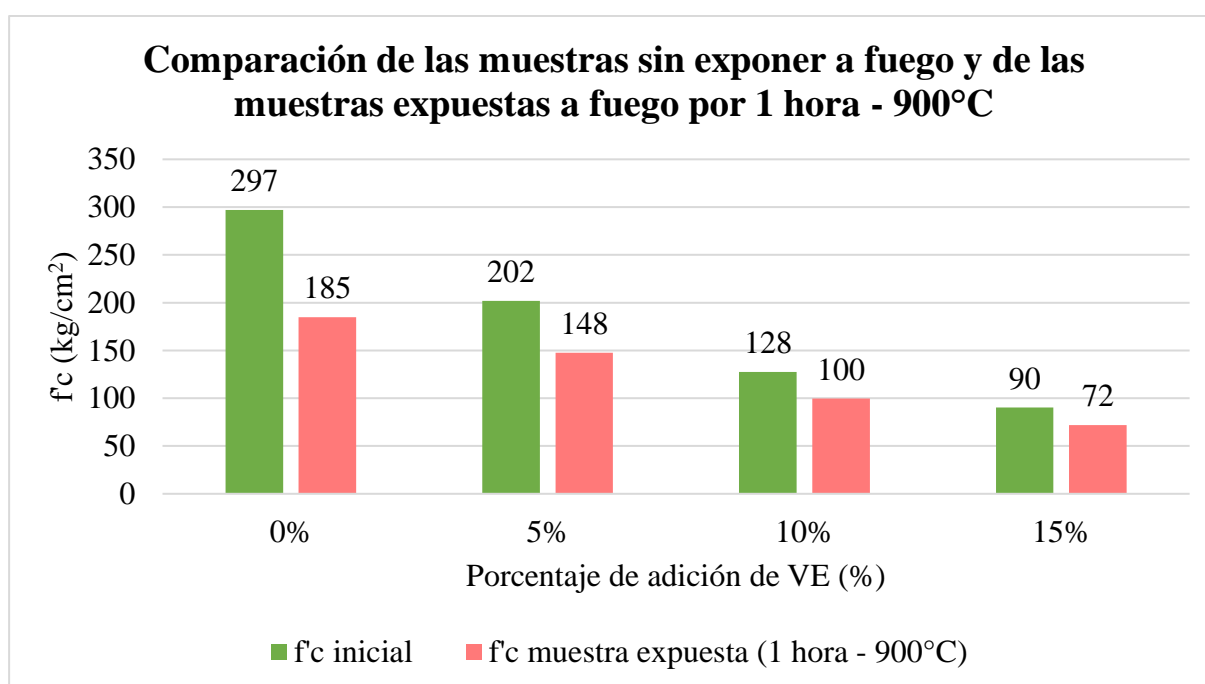


Figura 60: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 1 hora – 900°C.

Finalmente, se muestran agrupados los resultados del cuarto grupo ensayado, también mostrando su respectiva comparación con el $f'c$ inicial sin exposición.

Tabla 48: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C

Resistencia a la compresión del concreto de muestras expuestas a fuego por 2 horas - 1000°C

Porcentaje de adición de VE (%)	Muestra	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga (kg)	$f'c$ (kg/cm ²)	Tipo de falla	$f'c$ promedio (kg/cm ²)
0%	Q1 – 0%VE	28	10	12189.1	155.20	2	151.7
	Q2 – 0%VE	28	10	10443.0	132.96	3	
	Q3 – 0%VE	28	10	13112.6	166.95	3	
5%	Q4 – 5%VE	28	10	4590.5	58.45	2	52.2
	Q5 – 5%VE	28	10	3834.1	48.82	3	
	Q6 – 5%VE	28	10	3869.2	49.26	2	
10%	Q7 – 10%VE	28	10	6478.1	82.48	3	76.0
	Q8 – 10%VE	28	10	4760.1	60.61	3	
	Q9 – 10%VE	28	10	6669.5	84.92	3	
15%	Q10 – 15%VE	28	10	4262.1	54.27	2	60.7
	Q11 – 15%VE	28	10	5716.7	72.79	2	
	Q12 – 15%VE	28	10	4316.7	54.96	3	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 48 se identifican los resultados de resistencia a compresión del concreto después de haber sido expuesto a fuego, en este caso, por 2 horas teniendo aproximadamente 1000°C. Si nos fijamos en los resultados del $f'c$ inicial (Tabla 40) (muestras sin exposición a fuego) y hacemos una comparación con los valores de la Tabla 48, que son las muestras expuestas, nos fijaremos que la resistencia a compresión ha disminuido en la todas las muestras expuestas a fuego. A continuación, se muestra un cuadro que agrupa esta comparación para los $f'c$ promediados.

Tabla 49: Comparación de resistencias a compresión de las muestras sin exposición a fuego y las muestras expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C.

Comparación de las muestras sin exponer a fuego y de las muestras expuestas a fuego por 2 horas - 1000°C				
Porcentaje de adición de VE	Sin exposición	Exposición a fuego: 2 horas - 1000°C		
	f'c inicial	f'c muestra expuesta	Porcentaje en relación con el f'c inicial	Porcentaje de resistencia que aumentó o redujo
(%)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(%)	(%)
0%	296.9	151.7	51.1%	-48.9%
5%	202.0	52.2	25.8%	-74.2%
10%	127.6	76.0	59.6%	-40.4%
15%	90.5	60.7	67.1%	-32.9%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 apreciamos la comparación antes mencionada, en la cual se denota que el concreto disminuyó su resistencia a compresión en 48.9% para la muestra con 0% de VE (patrón), en 74.2% para la muestra con 5% de VE, en 40.4% para la muestra con 10% de VE y en 32.9% para la muestra de 15% de VE al ser comparados con la resistencia de muestras sin exposición a fuego (f'c inicial). En la Figura 61 se aprecia de manera gráfica la comparación de las resistencias de las muestras sin exposición (f'c inicial) y de las muestras expuestas (f'c muestra expuesta) para el tercer grupo ensayado.

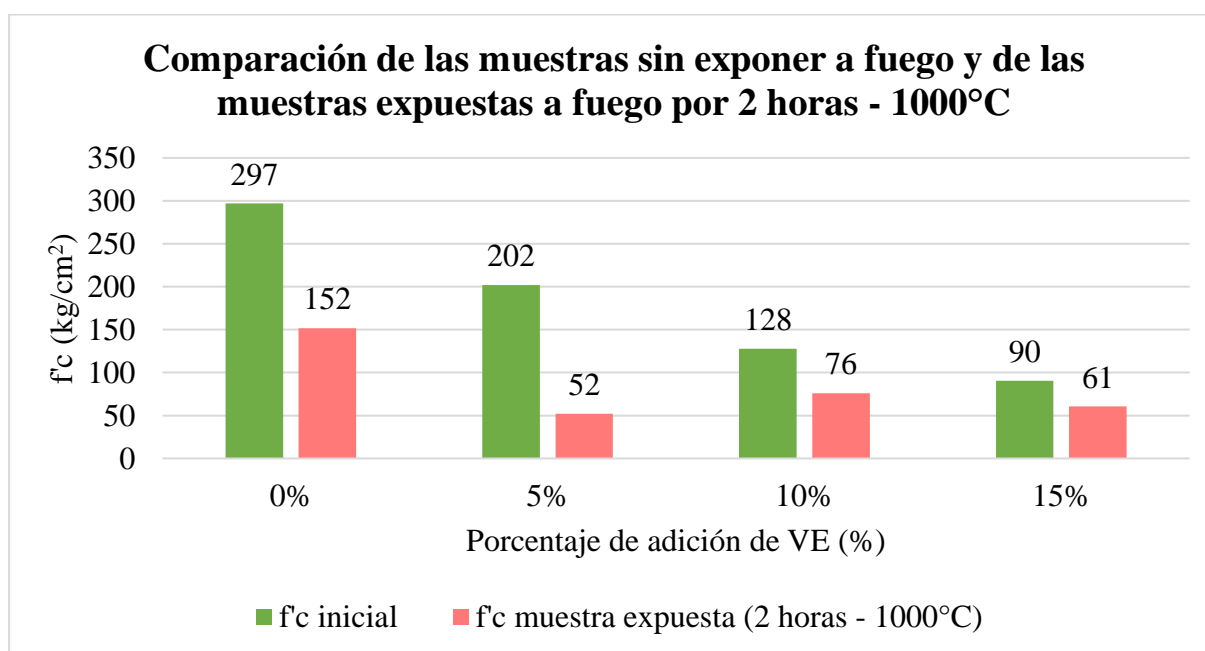


Figura 61: Comparación de resistencias a la compresión de muestras sin someter a fuego y de muestras sometidas a fuego por 2 horas – 1000°C.

A modo de comparación, se muestra el resumen agrupado de todas las resistencias a compresión promedio evaluadas, sin exposición a fuego (f^c inicial = 0 minutos) y con exposición a fuego, con el fin de tener un panorama más claro al momento de contrastar los resultados.

Tabla 50: Resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego y muestras sin exposición a fuego.

Resistencia a compresión de muestras con exposición a fuego y sin exposición a fuego					
Porcentaje de adición (%)	0 minutos (kg/cm²)	15 minutos (kg/cm²)	30 minutos (kg/cm²)	1 hora (kg/cm²)	2 horas (kg/cm²)
0%	296.92	316.03	278.99	184.71	151.71
5%	201.97	199.26	159.12	147.63	52.18
10%	127.56	162.78	118.52	99.73	76.00
15%	90.46	104.25	74.64	71.85	60.67

Fuente: Elaboración propia

Ahora se expone el siguiente gráfico en el cual se podrá identificar mejor la variación de la resistencia a compresión según el tiempo de exposición a fuego realizado para cada porcentaje de adición de manera independiente.

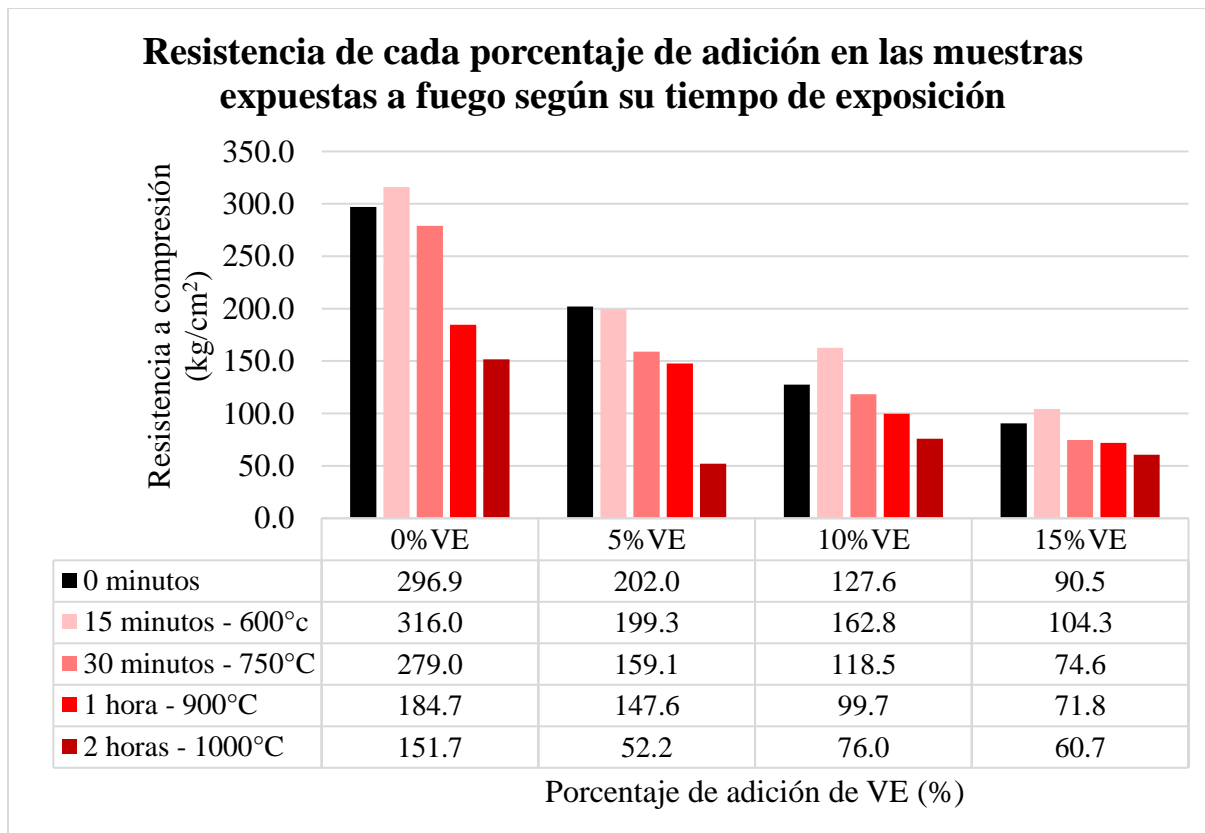


Figura 62: Resistencias a compresión promedio de las muestras de concreto según sus tiempos de quemado y sus porcentajes de adición.

Al igual que en la Tabla 50, en la Figura 62 se podrá apreciar que en casi todos los porcentajes de adición la resistencia aumenta levemente cuando es expuesto a 15 minutos, pero pasa todo lo contrario cuando el tiempo de exposición comienza a ser mayor, es decir, desde los 30 minutos de exposición ya la resistencia comienza a bajar y mientras mayor sea el tiempo de exposición, seguirá bajando aún más la resistencia.

Tabla 51: Porcentaje de variación de las resistencias a la compresión de las muestras expuestas a fuego comparadas con el $f'c$ de las muestras sin exponer ($f'c$ inicial)

Porcentaje de resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego en relación con el $f'c$ inicial

Porcentaje de adición (%)	15 minutos (kg/cm²)	30 minutos (kg/cm²)	1 hora (kg/cm²)	2 horas (kg/cm²)
0%	106.4%	94.0%	62.2%	51.1%
5%	98.7%	78.8%	73.1%	25.8%
10%	127.6%	92.9%	78.2%	59.6%
15%	115.3%	82.5%	79.4%	67.1%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 51 se puede ver en forma de porcentaje lo mencionado anteriormente. Estos porcentajes han sido relacionados tomando en cuenta como 100% de resistencia a compresión lo alcanzado de manera inicial en las muestras sin exponer a fuego ($f'c$ inicial), es decir, los resultados de la Tabla 40. En base a ello, se determinó el porcentaje en el que se encuentran las muestras que sí fueron expuestas a fuego. Se demuestra que a partir de 30 minutos de exposición de quemado comienza a reducir la resistencia del concreto, siendo la mayor reducción en las muestras sometidas a 2 horas de fuego. En la siguiente figura se mostrará de manera más gráfica los resultados mencionados, lográndose apreciar de manera más visible la variación de la resistencia en porcentajes respecto a la resistencia a compresión inicial.

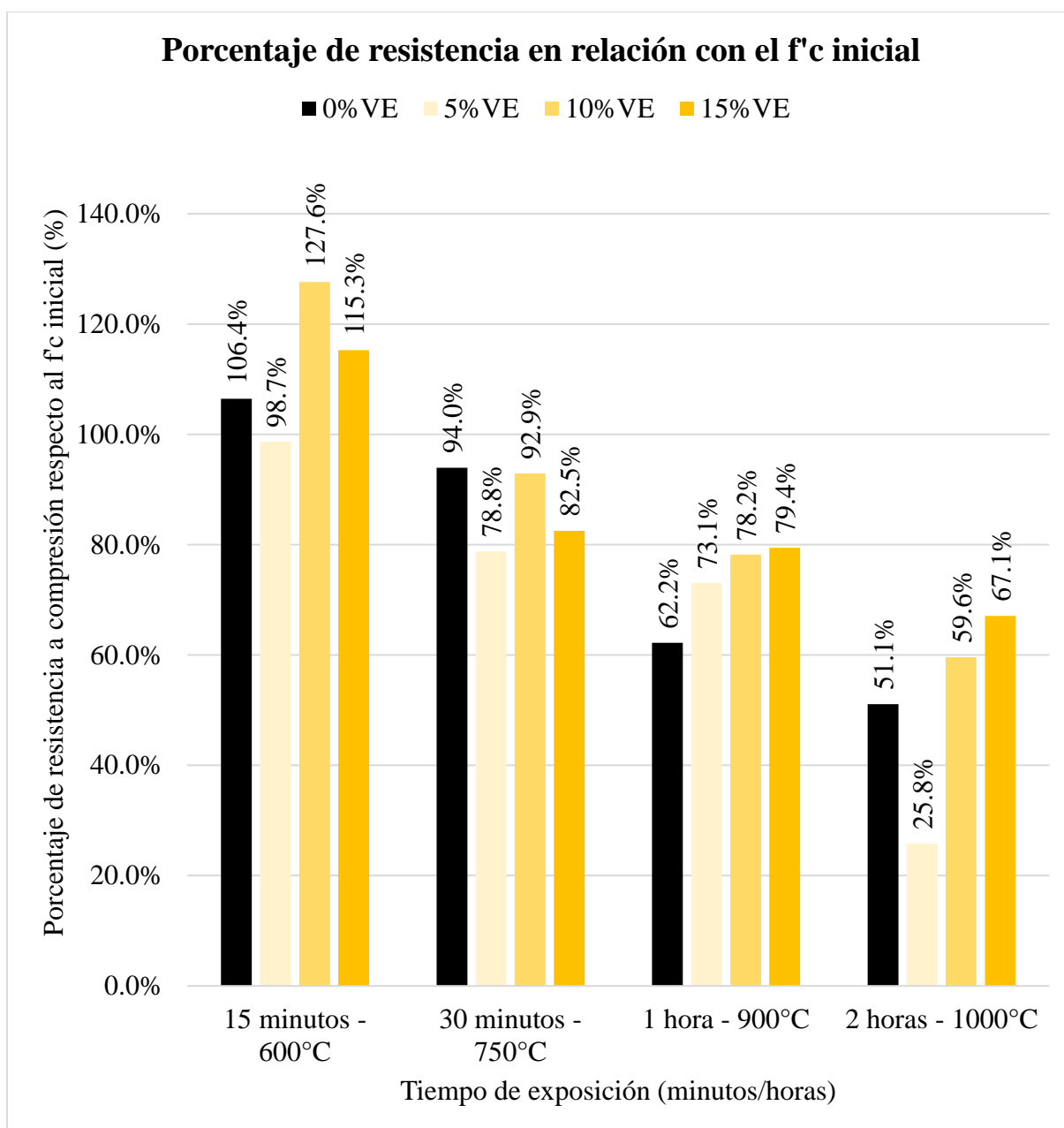


Figura 63: Porcentaje de resistencia a la compresión a la que se encuentran las muestras sometidas a fuego en relación con las muestras sin exposición a fuego.

En ese contexto, se rescata que a 15 minutos las muestras que respondieron mejor fueron las del concreto con 10% de VE, a 30 minutos fueron las de 0% de VE, a 1 hora las de 15% de VE y a 2 horas las de 15% de VE. Además, de ello se puede obtener el dato de la variación porcentual exacta para ver cuánto aumentó o cuánto se redujo la resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego, que serán examinadas en la discusión de la presente investigación.

Resultados de la evaluación económica entre el concreto común y el concreto con vermiculita expandida

Para hacer la comparación y evaluar la diferencia económica entre el concreto común y el concreto con adición de vermiculita expandida se realizó un análisis de precio unitario (APU), los cuales están basados en una partida de concreto para columnas de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ del libro de CAPECO. Para el preparado y vaciado, en cuanto a mano de obra, se tuvo en cuenta una cuadrilla de 2 operarios, 2 oficiales y 10 peones con un rendimiento de $10 \text{ m}^3/\text{día}$, considerando los precios unitarios del [Suplemento Técnico de la Revista Costos \(Ed. 334.1 – Febrero 2025\), sección 03, pág. 33](#) (Anexo N° 48, en la página 193), siendo la fuente de costos más actual a la fecha de la presente investigación. En cuanto a equipos, se consideró una mezcladora de 9 p^3 y un vibrador a gasolina de 4 HP , teniendo en cuenta los precios unitarios del [Suplemento Técnico de la Revista Costos \(Ed. 334.1 – Febrero 2025\), sección 03, pág. 35](#) (Anexo N° 49, en la página 193). En lo que concierne a los materiales, se consideraron las cantidades en bolsas por m^3 para el cemento y m^3 de material por m^3 de concreto resultante del diseño de mezcla en condiciones húmedas, añadiéndole un 15% más a todos ellos en concepto de desperdicios; así mismo, los precios unitarios de los materiales fueron los vigentes en el mercado local en la ciudad de Chiclayo a la fecha de elaboración de los ensayos.

Seguidamente se muestran los resultados del APU para el concreto patrón de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (0%VE), es decir, un concreto convencional de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 52: APU del concreto patrón (0%VE)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA	:	Concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				
RENDIMIENTO	:	10	$\text{m}^3/\text{día}$	Precio Total Por m^3: S/ 559.99		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
1. Mano de obra						S/ 242.91
Operario	hh	2	1.600	S/ 28.39	S/ 45.42	
Oficial	hh	2	1.600	S/ 22.33	S/ 35.73	
Peón	hh	10	8.000	S/ 20.22	S/ 161.76	
2. Materiales						S/ 300.25
Cemento Portland tipo Ico (42.5 kg)	bolsa	-	9.977	S/ 23.78	S/ 237.25	
Arena gruesa	m^3	-	0.547	S/ 36.90	S/ 20.18	
Piedra chancada de 1/2"	m^3	-	0.775	S/ 53.30	S/ 41.33	
Agua	m^3	-	0.243	S/ 6.14	S/ 1.49	
3. Equipos y herramientas						S/ 16.83
Mezcladora de concreto 9 p^3	hm	1	0.800	S/ 4.49	S/ 3.59	
Vibrador de concreto 4 HP	hm	1	0.800	S/ 7.44	S/ 5.95	
Herramientas manuales	% MO		3%	S/ 242.91	S/ 7.29	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 52 se reconoce que el resultado del costo por m³ del concreto patrón (0% VE) siendo S/ 559.99, el cual en su mayoría está siendo abarcado por el costo de los materiales y mano de obra, representando juntos un 97% del costo total de 1 m³ de concreto en el presente análisis.

Para poder hacer el APU del concreto con adición en sus diferentes variaciones se hizo el cálculo para obtener la cantidad de bolsas por m³ que se usarán para cada porcentaje de VE, que está descrito a más adelante. Inicialmente se usaron los datos de la cantidad de VE en kg/m³ de concreto obtenidas con la densidad, incluidas en el diseño de mezcla (Anexo N° 18, en la [página 157](#)) y mostradas a continuación. Luego se hizo la conversión a bolsas por m³ de concreto, teniendo en cuenta que el peso de la bolsa de vermiculita expandida ronda los 12 kg.

$$\begin{aligned} \text{Densidad de VE} &= 0.395 \text{ gr/cm}^3 = 395 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Volumen de concreto evaluado} &= 1.00 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Cálculo de VE en peso por m³ de concreto:

5%VE = 1 m ³ Concreto	·	5%	·	395	kg/m ³	=	19.75 kg de VE/m ³ Co
10%VE = 1 m ³ Concreto	·	10%	·	395	kg/m ³	=	39.50 kg de VE/m ³ Co
15%VE = 1 m ³ Concreto	·	15%	·	395	kg/m ³	=	59.25 kg de VE/m ³ Co

Peso de bolsa de VE = 12.00 kg/bolsa

Conversión a bolsas de VE por m³ de concreto:

5%VE = 19.75 kg/m ³ Co	÷	12.00 kg/bolsa	=	1.646 bolsas/m ³ de concreto
10%VE = 39.50 kg/m ³ Co	÷	12.00 kg/bolsa	=	3.292 bolsas/m ³ de concreto
15%VE = 59.25 kg/m ³ Co	÷	12.00 kg/bolsa	=	4.938 bolsas/m ³ de concreto

De esta forma se obtuvo la cantidad de bolsas para los APU del concreto con 5% VE, 10% VE y 15% VE, siendo las cantidades de 1.646 bolsas/m³ de concreto, 3.292 bolsas/m³ de concreto y 4.938 bolsas/m³ de concreto, respectivamente. Adicionalmente es necesario mencionar que el costo de cada saco de vermiculita expandida de categoría fina en su presentación de bolsa de 100 lt tiene un costo de S/ 182.00 dada por el distribuidor [Maruplast](#) a la fecha de ejecución de la presente investigación. Sin embargo, al quitarle la inclusión del IGV, el costo final es de S/ 149.24 por bolsa, el cuál será el precio unitario utilizado para el presente análisis económico.

A continuación, se mostrarán los resultados de los precios unitarios para 1 m³ de concreto con adición de vermiculita expandida en 5%, 10% y 15%, respectivamente.

Tabla 53: Análisis de precios unitarios del concreto con 5%VE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA :		Concreto f'c = 210 kg/cm² + 5% de Vermiculita Expandida				
RENDIMIENTO :		10	m ³ /día	Precio Total Por m³: S/ 805.62		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
1. Mano de obra						S/ 242.91
Operario	hh	2	1.600	S/ 28.39	S/ 45.42	
Oficial	hh	2	1.600	S/ 22.33	S/ 35.73	
Peón	hh	10	8.000	S/ 20.22	S/ 161.76	
2. Materiales						S/ 545.87
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bolsa	-	9.977	S/ 23.78	S/ 237.25	
Arena gruesa	m ³	-	0.547	S/ 36.90	S/ 20.18	
Piedra chancada de 1/2"	m ³	-	0.775	S/ 53.30	S/ 41.33	
Agua	m ³	-	0.243	S/ 6.14	S/ 1.49	
Vermiculita expandida (5%)	bolsa	-	1.646	S/ 149.24	S/ 245.62	
3. Equipos y herramientas						S/ 16.83
Mezcladora de concreto 9 p ³	hm	1	0.800	S/ 4.49	S/ 3.59	
Vibrador de concreto 4 HP	hm	1	0.800	S/ 7.44	S/ 5.95	
Herramientas manuales	% MO		3%	S/ 242.91	S/ 7.29	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 53 se logra reconocer la evaluación del costo por m³ del concreto con 5% de adición de vermiculita expandida, teniendo un costo final de S/ 805.62. Si lo comparamos con el precio del concreto patrón, que fue de S/ 559.99, notaremos una diferencia económica de S/ 245.62, el cual representa un adicional de 43.86% más de costo debido a esa adición del 5% de VE.

Tabla 54: APU del concreto con 10%VE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA	:	Concreto f'c = 210 kg/cm² + 10% de Vermiculita Expandida				
RENDIMIENTO	:	10	m ³ /día	Precio Total Por m³: S/ 1,051.24		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
1. Mano de obra						S/ 242.91
Operario	hh	2	1.600	S/ 28.39	S/ 45.42	
Oficial	hh	2	1.600	S/ 22.33	S/ 35.73	
Peón	hh	10	8.000	S/ 20.22	S/ 161.76	
2. Materiales						S/ 791.50
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bolsa	-	9.977	S/ 23.78	S/ 237.25	
Arena gruesa	m ³	-	0.547	S/ 36.90	S/ 20.18	
Piedra chancada de 1/2"	m ³	-	0.775	S/ 53.30	S/ 41.33	
Agua	m ³	-	0.243	S/ 6.14	S/ 1.49	
Vermiculita expandida (10%)	bolsa	-	3.292	S/ 149.24	S/ 491.25	
3. Equipos y herramientas						S/ 16.83
Mezcladora de concreto 9 p ³	hm	1	0.800	S/ 4.49	S/ 3.59	
Vibrador de concreto 4 HP	hm	1	0.800	S/ 7.44	S/ 5.95	
Herramientas manuales	% MO		3%	S/ 242.91	S/ 7.29	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 54 se logra reconocer la evaluación del costo por m³ del concreto con 10% de adición de vermiculita expandida, teniendo un costo final de S/ 1,051.24. Si lo comparamos con el precio del concreto patrón, que fue de S/ 559.99, notaremos una diferencia económica de S/ 491.25, el cual representa un adicional de 87.72% más de costo debido a esa adición del 10% de VE.

Tabla 55: APU del concreto con 15% de VE

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
PARTIDA	:	Concreto f'c = 210 kg/cm² + 15% de Vermiculita Expandida				
RENDIMIENTO	:	10	m ³ /día	Precio Total Por m³: S/ 1,296.86		
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio		
				Unitario	Parcial	Total
1. Mano de obra						S/ 242.91
Operario	hh	2	1.600	S/ 28.39	S/ 45.42	
Oficial	hh	2	1.600	S/ 22.33	S/ 35.73	
Peón	hh	10	8.000	S/ 20.22	S/ 161.76	
2. Materiales						S/ 1,037.12
Cemento Portland tipo ICo (42.5 kg)	bolsa	-	9.977	S/ 23.78	S/ 237.25	
Arena gruesa	m ³	-	0.547	S/ 36.90	S/ 20.18	
Piedra chancada de 1/2"	m ³	-	0.775	S/ 53.30	S/ 41.33	
Agua	m ³	-	0.243	S/ 6.14	S/ 1.49	
Vermiculita expandida (15%)	bolsa	-	4.938	S/ 149.24	S/ 736.87	
3. Equipos y herramientas						S/ 16.83
Mezcladora de concreto 9 p ³	hm	1	0.800	S/ 4.49	S/ 3.59	
Vibrador de concreto 4 HP	hm	1	0.800	S/ 7.44	S/ 5.95	
Herramientas manuales	% MO		3%	S/ 242.91	S/ 7.29	

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 55 se logra reconocer la evaluación del costo por m³ del concreto con 15% de adición de vermiculita expandida, teniendo un costo final de S/ 1,296.86. Si lo comparamos con el precio del concreto patrón, que fue de S/ 559.99, notaremos que existe una diferencia económica de S/ 736.87, el cual representa un adicional de 131.59% más de costo debido a esa adición del 15% de VE.

Todos los datos de las diferencias económicas mencionadas se agrupan en el siguiente cuadro:

Tabla 56: Comparación de la diferencia económica de los concretos

Variación económica					
Cantidad de VE adicionada (%)	Costo por m ³ (S/)		Diferencias de costo respecto al costo patrón (S/)		Diferencias de costo respecto al costo patrón (%)
0%	S/	559.99	-	-	-
5%	S/	805.62	S/	245.62	43.86%
10%	S/	1,051.24	S/	491.25	87.72%
15%	S/	1,296.86	S/	736.87	131.59%

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla 56 se puede apreciar de manera resumida los costos finales por m^3 de los concretos según su variación en cuanto a la adición, pudiendo observarse una relación directamente proporcional entre el costo y la cantidad de vermiculita expandida adicionada, por lo que se apunta a que mientras mayor sea la cantidad de vermiculita expandida, más caro será el costo unitario del concreto. Posteriormente se muestra la siguiente figura para evidenciar de manera más gráfica la diferencia de costos.

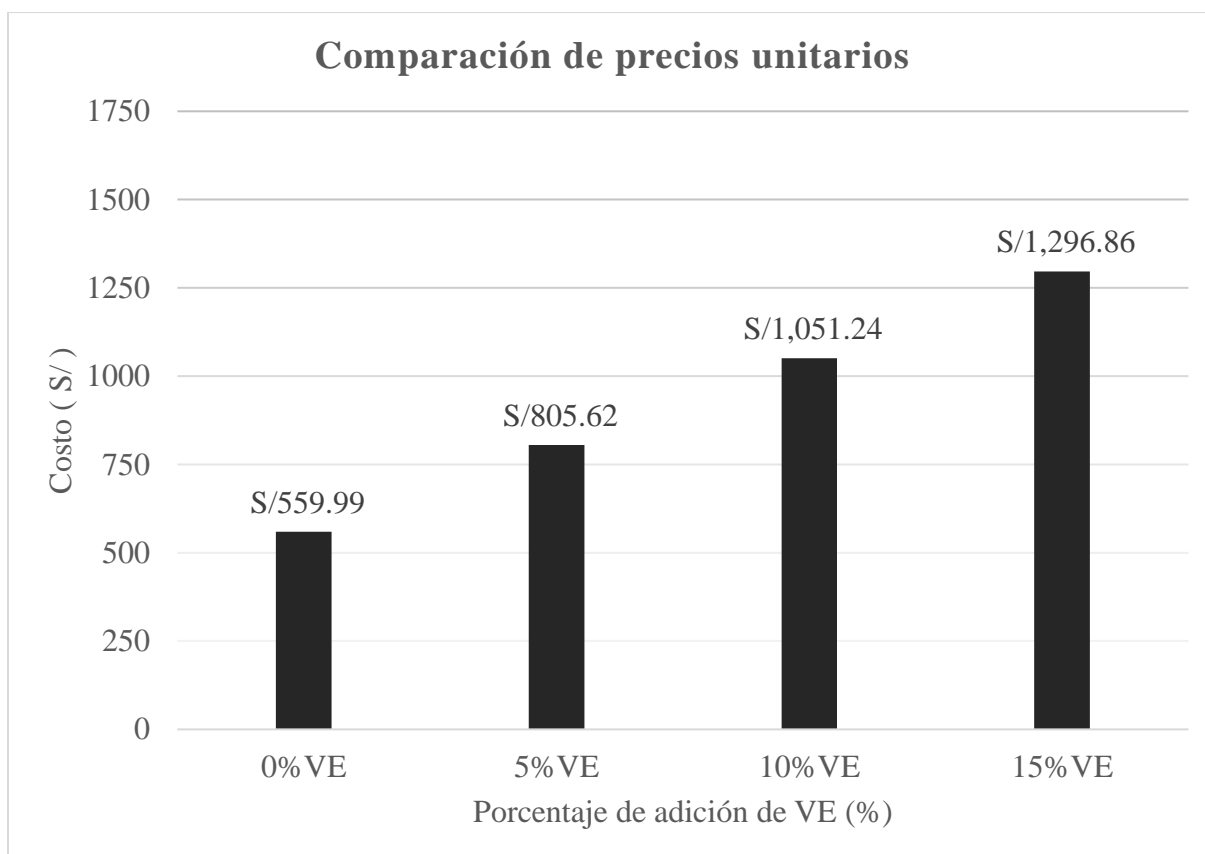


Figura 64: Comparación de precios unitarios del concreto sin adición y del concreto con adición.

Discusiones

Discusión de las propiedades físicas de la vermiculita expandida

Las propiedades físicas de la VE de categoría “fina” se contrastaron con su ficha técnica (Anexo N° 1) dada por el fabricante y que indica que es de origen brasileño. Se analizó el contenido de humedad, a lo cual la FT establece un valor máximo del 8% y el resultado al ensayarlo fue de 8.61%, resultado que está muy próximo a ese valor, sin embargo, está por encima. Esta variación puede deberse a la absorción de humedad del mismo ambiente, ya que la vermiculita cuenta con un resultado de absorción de 8.67% (Tabla 25).

Con respecto al peso específico aparente, la FT indica que este debe encontrarse en un rango de 90 kg/m^3 a 130 kg/m^3 y el resultado ensayado fue de 107.45 kg/m^3 , por lo cual se comprueba que está dentro de lo estipulado en la FT; además, se acerca bastante a los valores de VE de depósitos de extracción originarios de Turquía y China [32], con valores de 91 kg/m^3 y 125 kg/m^3 , respectivamente. Este mismo autor especifica que la variación se debe al origen del depósito de extracción de la VE [32].

Otro resultado fue el de la granulometría, para lo cual se usan los porcentajes retenidos simples de cada tamiz que se comparan con los límites establecidos en la FT, hallándose que efectivamente la muestra analizada se encontró dentro de los parámetros (Figura 53).

Tabla 57: Comparación de las características de la vermiculita expandida

Comparación de ficha técnica con los ensayos físicos de la vermiculita expandida				
Propiedades	Unidad	FT	VE	
Granulometría (cantidad de retenidos simples por cada tamiz)	%	3/8 "	0 - 0	0
		N° 4	0 - 1	0
		N° 8	8 - 30	21.6
		N° 16	45 - 75	58.3
		N° 30	5 - 30	8.9
		N° 50	1 - 10	4.1
		N° 100	1 - 5	3.2
		N° 200	0 - 3	3.2
Contenido de humedad	%	8.0	8.6	
Densidad aparente	kg/m³	90 - 130	107.2	

Fuente: Elaboración propia

También se compararon las granulometrías de la VE con la del agregado fino (AF), encontrándose inicialmente que los porcentajes que pasan son similares, sin embargo, en la malla N° 16 (1.18 mm) se muestra que hay un bajo porcentaje que pasa para la VE, es decir, gran parte de la muestra de VE se queda retenido en esa malla, denotándose que los granos tienen en su mayoría un tamaño de 1.18 mm a 2.36 mm. Este rango también se puede contrastar con la ficha técnica que especifica un rango promedio de tamaño de 1.0 mm a 2.0 mm, comprobándose que se encuentran coincidiendo en su mayoría.

Tabla 58: Comparación de granulometría de la vermiculita expandida con el agregado fino

Comparación de granulometrías de agregado fino y vermiculita expandida				
Propiedades	N° malla	Abertura tamiz (mm)	Porcentaje que pasa de AF (%)	Porcentaje que pasa de VE (%)
Granulometría (cantidad de retenidos simples por cada tamiz)	3/8 "	9.50	100.0	100.0
	N° 4	4.75	95.9	100.0
	N° 8	2.36	80.9	78.4
	N° 16	1.18	61.6	20.2
	N° 30	0.60	37.4	11.2
	N° 50	0.30	16.2	7.2
	N° 100	0.15	6.4	4.0
	N° 200	0.075	0.3	0.7

Fuente: Elaboración propia

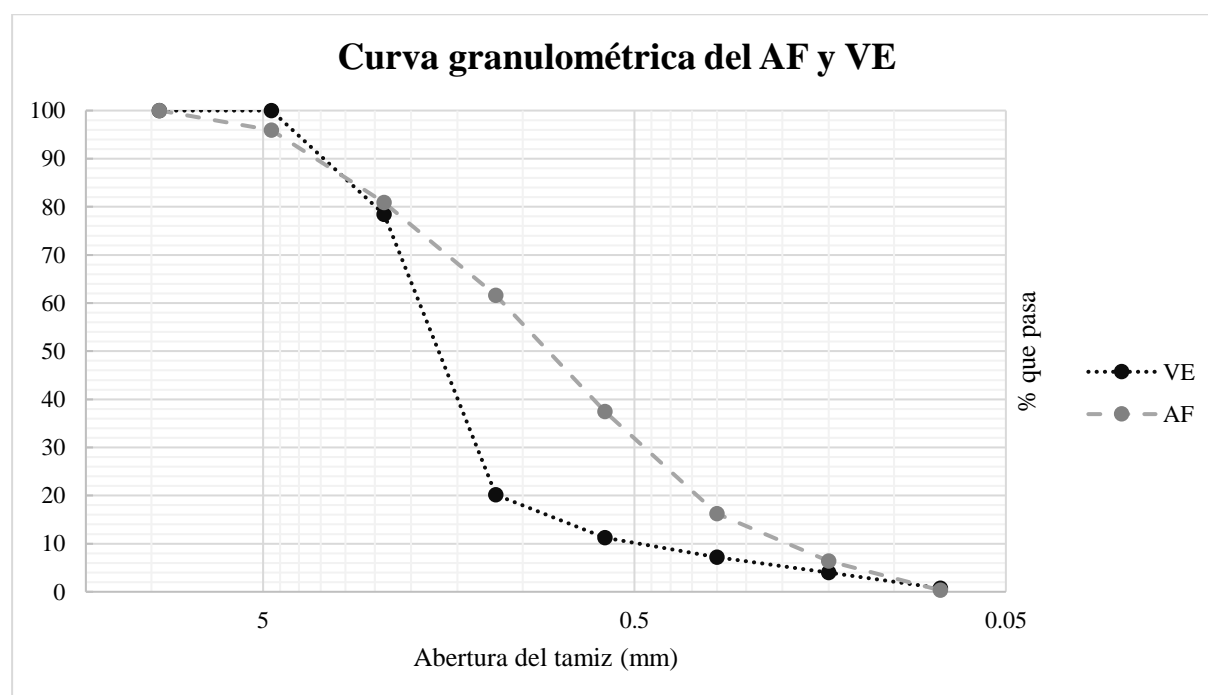


Figura 65: Comparación de curvas granulométricas del AF y la VE.

Otra propiedad física analizada fue el peso específico, que al ser evaluado se obtuvo un resultado de 1.870 g/cm^3 . Cabe recalcar que la procedencia de la VE usada es de origen brasileño, por lo cual se contrastó con la VE de origen ucraniano que tuvo un peso específico de 1.68 g/cm^3 [9], variación que podría deberse al origen. Si lo comparamos con el peso específico del AF que fue de 2.55 g/cm^3 (Tabla 20), se denota un valor de 0.68 g/cm^3 de diferencia, por lo cual se muestra como un material más ligero que la arena.

Discusión de la trabajabilidad del concreto

El diseño de mezcla (DM) fue elaborado para tener un asentamiento de 3" a 4", obteniéndose experimentalmente 4" para el concreto sin adiciones y bajo ese mismo DM se realizaron las adiciones que luego fueron comparadas con el DM sin adiciones. El resultado de la trabajabilidad fue negativo, ya que se vio afectado cuando mayor era el porcentaje de adición de VE (Tabla 31). Esta observación coincide con lo examinado en otras mezclas de concreto que contenían mayores porcentajes de VE, las cuales van hasta 20% de VE [14], 25% y 65% [15] y también en mezclas de morteros [12]. En este caso el concreto con VE al 15% fue el más afectado, ya que la trabajabilidad se redujo de manera significativa, afectando también en cierta medida a la cohesión de la mezcla en general. Esto se debe a que el porcentaje de absorción de la VE es alto [12], por lo que se obtiene una mezcla más seca debido a los mayores requisitos de agua [15], así que mientras mayor sea la cantidad de VE adicionada, mayor será la absorción de agua. Algunas investigaciones realizaron un tratamiento previo de inmersión en agua de la VE durante 24 horas [16] o llevando la VE a un estado saturado superficialmente seco [17] para mezclas de morteros, lo cual fue beneficioso para la trabajabilidad, teniendo el efecto contrario a lo mencionado anteriormente ya que produjo asentamientos más fluidos; sin embargo, para el presente caso, este procedimiento podría haber afectar más a la resistencia inicial, ya que al realizar ese proceso se estaría cambiando la relación de agua/cemento (a/c), teniendo una mezcla más pobre en cuanto a resistencia esperada.

Discusión de la resistencia a compresión inicial

La resistencia teórica fue de 210 kg/cm^2 con una resistencia requerida de 294 kg/cm^2 . Para corroborar el diseño se realizaron las probetas cilíndricas, obteniéndose inicialmente los resultados a 3, 7, 14, 21 y 28 días de las muestras patrón, es decir, sin adición (Tabla 36). El resultado promedio final de las muestras patrón a 28 días fue de 296.9 kg/cm^2 , lo cual es un 141% de la resistencia teórica y un 101% de la resistencia requerida, exhibiendo un correcto comportamiento. Posteriormente se muestra la gráfica comparativa de las resistencias a la compresión del concreto con 0% de VE.

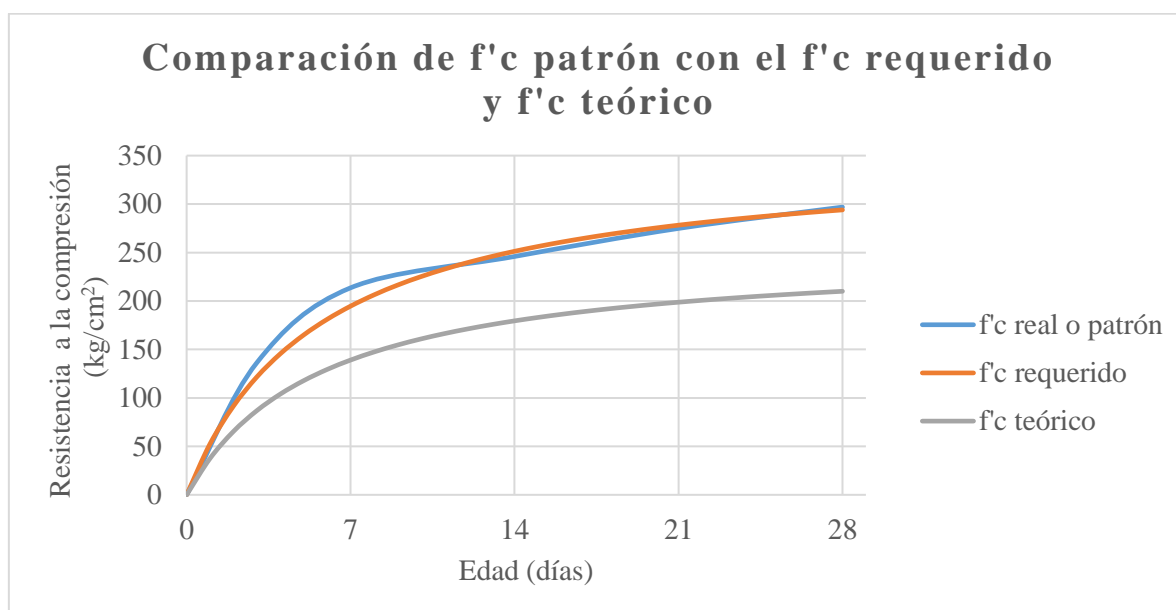


Figura 66: Comparación del f'c real o patrón con el f'c requerido y f'c teórico del concreto.

Estos resultados de resistencias a compresión patrón fue la base para realizar la comparación con las muestras que contienen adición de VE, evaluándose la misma cantidad de muestras a las mismas edades (Tabla 37, Tabla 38 y Tabla 39) a temperatura ambiente. Los resultados demostraron que a medida que aumenta la cantidad de VE se redujo la resistencia a compresión (Figura 56), es decir, la muestra patrón demostró mayor resistencia, tal como lo esperaba [9] en su investigación con morteros y encajando con lo evaluado por otros autores en investigaciones de concreto con VE en porcentajes diferentes a temperatura ambiente [14], [15]. El hecho de esta relación proporcionalmente inversa podría deberse a la estructura blanda y porosa de la vermiculita expandida, ya que se presenta como un agregado más débil oponiendo menor resistencia al crecimiento de las grietas, reduciendo su capacidad de carga [2]. A continuación, se muestra la gráfica comparando el f'c del concreto patrón con los concretos con adición de VE según sus edades.

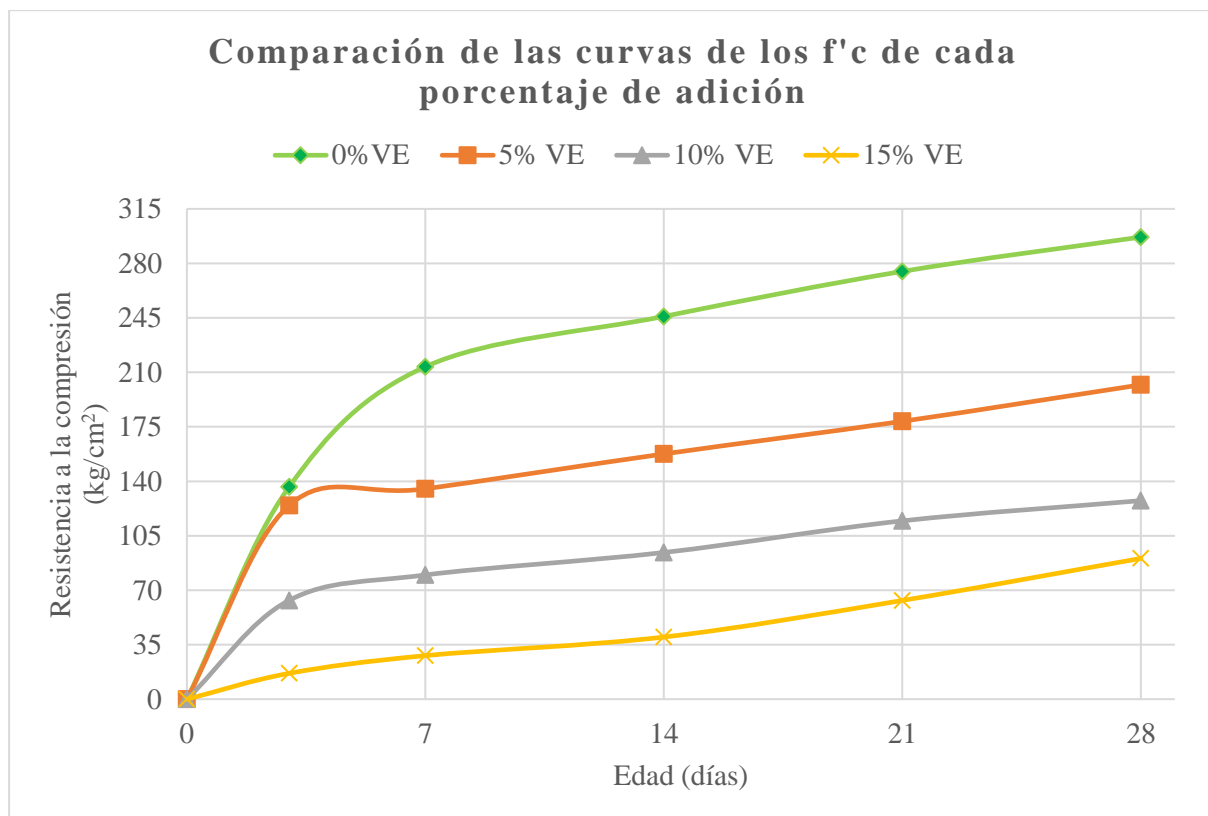


Figura 67: Curvas de los f'_c de los concretos al 0%, 5%, 10% y 15% de adición de vermiculita expandida.

Comparando los resultados de las muestras con adición a 28 días con los resultados de 0% de VE, se aprecia un decrecimiento de $94.9 kg/cm^2$, $169.4 kg/cm^2$ y $206.5 kg/cm^2$ para las muestras con VE al 5%, 10% y 15%, respectivamente, representando en el mismo orden un decrecimiento porcentual del 32%, 57% y 70% con respecto al concreto patrón (Tabla 59), siendo 1.5, 2.3 y 3.3 veces menores que él, respectivamente. Otras investigaciones exhibieron que, en un porcentaje de VE del 65%, puede ser hasta 6 veces menor que el concreto sin VE a temperatura ambiente [15]. Esta alta disminución de la resistencia que puede llegar a ser hasta del 70% puede verse también influenciada por la estructura porosa de la vermiculita expandida [14], produciendo concreto más ligero, ya que mientras mayor sea la cantidad adicionada, menor será la densidad resultante del concreto (Figura 55). Esta disminución de la densidad conlleva a una menor resistencia en concretos y morteros [2]. Otro motivo podría ser a la disminución de la adherencia entre las partículas de los agregados con la pasta de cemento [16] y esto puede ser a causa de la alta absorción de la VE provocando la reducción de agua necesaria para la correcta hidratación del cemento en la mezcla [18].

Tabla 59: Variación de la resistencia a compresión de las muestras con adición en comparación con la muestra patrón

Variación de las muestras con adición en comparación la muestra patrón				
Porcentaje de adición (%)	Edad (días)	f'c (kg/cm ²)	Variación (%)	Disminución (%)
0%	28	296.9	-	-
5%	28	202.0	68%	-32%
10%	28	127.6	43%	-57%
15%	28	90.5	30%	-70%

Fuente: Elaboración propia

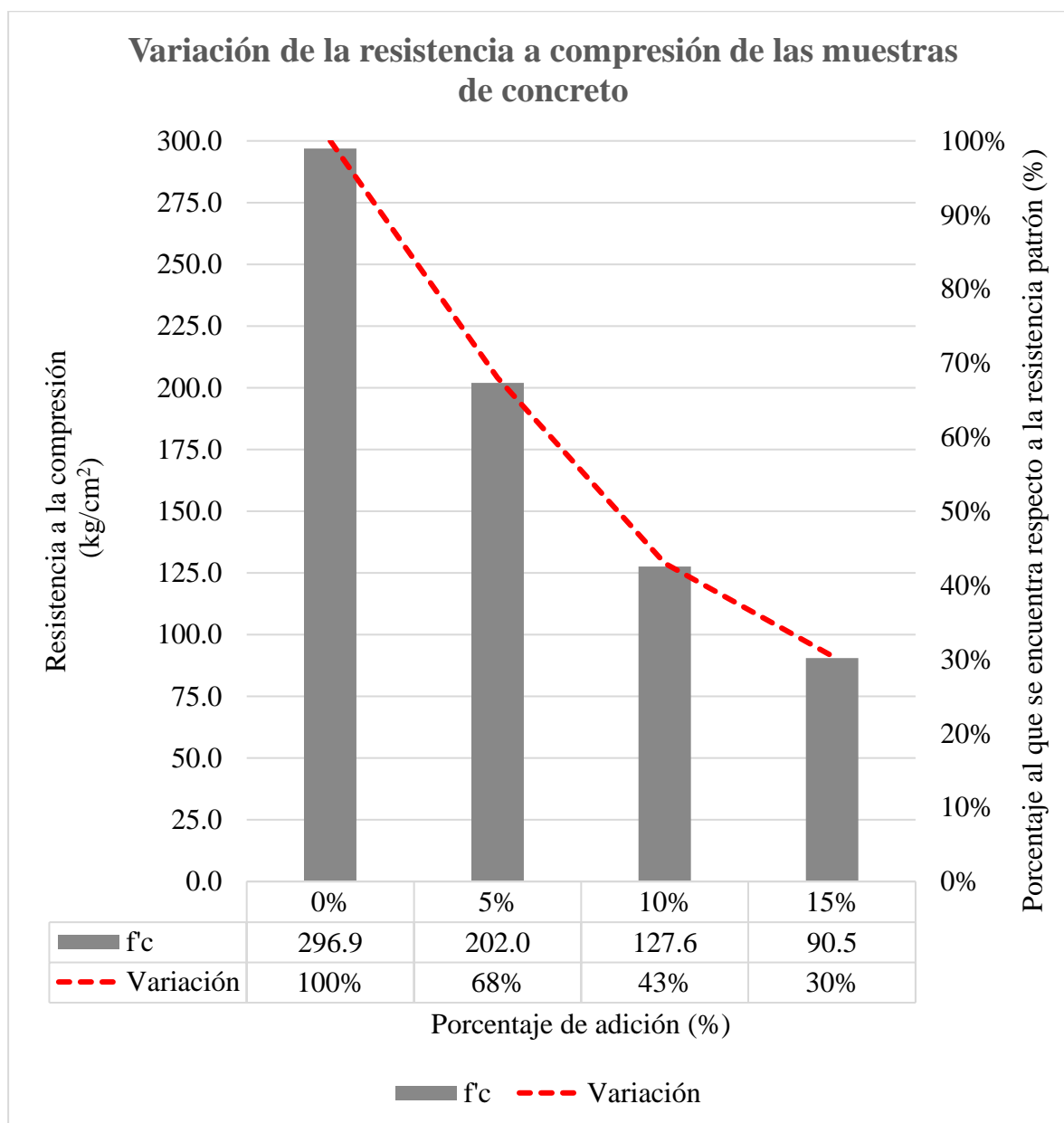


Figura 68: Variación de las resistencias a compresión de las muestras de concreto

Discusión de la resistencia a compresión después de ser expuesto a fuego

Se expusieron las muestras de concreto a fuego por 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas logrando llegar, en promedio, a temperaturas de 599.4°C, 749.6°C, 902.4°C y 995.9°C, respectivamente (Tabla 41). Las temperaturas esperadas eran de 600°C, 750°C, 900°C y 1000°C, sin embargo, el promedio de las lecturas tomadas resultó en valores bastante cercanos, con variaciones de menos del 0.5%, considerándose una variación que puede despreciarse, por lo que más adelante se colocarán los valores esperados para hablar sobre las temperaturas de exposición. Como referencia a las temperaturas según su tiempo se tiene a la Norma ASTM E119 [1], en la cual algunas las temperaturas obtenidas se acercan más que otras, sin embargo, esta variación puede deberse a la potencia del gas usado para la generación del fuego.

En los resultados de la resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C se tuvo un incremento de la resistencia en la todas las muestras (Tabla 43), excepto en la del 5% de VE, ya que su resistencia disminuyó un 1.3%. De las demás muestras (0%, 10% y 15% de VE), la del 10% de VE fue la que mejor respuesta tuvo con un incremento del 27.6% por encima de su f'_c inicial, seguida de 10% de VE con 15.3% de incremento y 0% de VE con 6.4% de incremento. Lo esperado era que la resistencia a compresión disminuya por la temperatura alcanzada, sin embargo, no se pasó eso. Esto pudo ser debido al corto tiempo de quemado, ya que podría ser que el concreto no logró entrar en un estado de deterioro en ese rango de tiempo y, al contrario de lo esperado, aumentó su resistencia. Sin embargo, desde ya, se puede ir evidenciando que las muestras con adición de VE presentan mejor respuesta ante estímulos de fuego (10% y 15% de VE). El hecho de que las muestras con adición de VE hayan tenido un mejor rendimiento contra la alta temperatura puede atribuirse que los granos de VE tuvieron una mayor retención de agua [14], así como también a la estructura porosa de la VE que proporciona una mejor circulación de vapor o líquido [9].

No obstante, la situación cambio para las demás exposiciones a fuego, ya que a medida que fue aumentando el tiempo de exposición y temperatura, las resistencias a compresión resultantes fueron decayendo, denotando deterioro en el concreto. Esto concuerda con las investigaciones de exposición a altas temperaturas de concretos [14], [15] y morteros [2], [9], [12], [17], los cuales afirman que mientras mayor sea la temperatura a la que someten las muestras, mayor será la reducción de resistencia. En cuanto a los resultados de las muestras expuestas a 30 minutos – 750°C se obtuvieron reducciones del 6.0%, 21.2%, 7.1% y 17.5% para al concreto con 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente (Tabla 45). Así mismo, con las muestras expuestas a 1 hora – 900°C se obtuvieron reducciones del 37.8%, 26.9%, 21.8% y

20.6% para el concreto con 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente (Tabla 47), revelando un deterioro más elevado en todas las variaciones de adición encajando con lo expresado por [14]. Finalmente, para las muestras expuestas a 2 horas – 1000°C se obtuvieron reducciones del 48.9%, 74.2%, 40.4% y 32.9% para el concreto con 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente (Tabla 49), siendo resultados de reducción aún mayores. Esto puede estar relacionado con la completa degradación de las partículas de hidratación a partir de 750°C [14]. Los resultados confirman con mayor claridad que la resistencia a compresión cae de manera más severa mientras mayor temperatura y tiempo de exposición.

Tabla 60: Porcentaje de reducción de las muestras expuestas a fuego en relación con el f'c inicial

Porcentaje de reducción de la resistencia de las muestras expuestas a fuego en relación con el f'c inicial				
Porcentaje de VE (%)	15 minutos (kg/cm²)	30 minutos (kg/cm²)	1 hora (kg/cm²)	2 horas (kg/cm²)
0%	+6.4%	-6.0%	-37.8%	-48.9%
5%	-1.3%	-21.2%	-26.9%	-74.2%
10%	+27.6%	-7.1%	-21.8%	-40.4%
15%	+15.3%	-17.5%	-20.6%	-32.9%

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, analizando todo ello se puede ver que el mejor desempeño o menor descenso de resistencia fue con las muestras con 10%, 0%, 15% y 15% de VE para las exposiciones a 15 minutos, 30 minutos, 1 hora y 2 horas, respectivamente (Tabla 60). Es necesario recalcar que, aunque 0% de VE a 30 minutos – 750°C resultó mejor, esto fue por muy poca variación del 10% de VE. Con este panorama se puede manifestar que mientras mayor sea el porcentaje de adición de VE, el concreto responde mejor ante quemaduras o exposiciones de fuego, correspondiendo a [2], [9], [12], [14], [15], [17], quienes afirman que efectivamente sí se mejora el rendimiento contra el altas temperaturas. Además, una observación adicional es que la respuesta del 10% de VE se encuentra en segundo lugar en 30 minutos, 1 hora y 2 horas de exposición. Este buen comportamiento ante el proceso de exposición se puede atribuir a la buena estabilidad térmica de la VE, ya que estaría limitando las contracciones y expansiones que se puedan generar y, así mismo, la VE actuaría con un efecto de relleno para las microfisuras [14]. Otra justificación es la presencia de vacíos dentro, desenvolviéndose como aislante térmico evitando la generando de presiones internas [17].

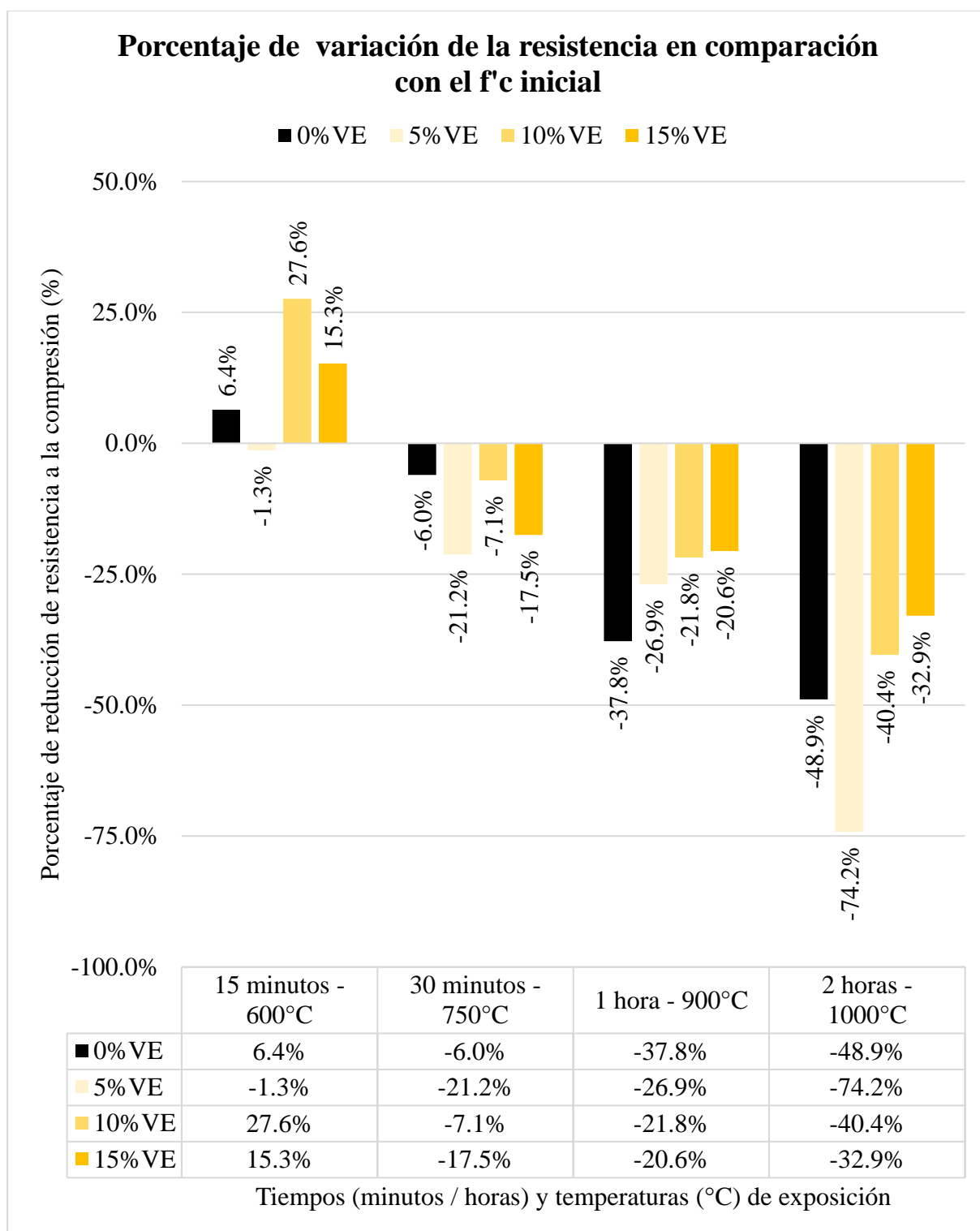


Figura 69: Porcentaje de variación de resistencia a compresión de las muestras expuestas a fuego en relación con las muestras sin exponer a fuego.

Discusión de la densidad del concreto

La densidad promedio del concreto en estado fresco fue de 2453.53 kg/m^3 , 2344.03 kg/m^3 , 2268.49 kg/m^3 y 2066.04 kg/m^3 para 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente (Figura 70). Así mismo, la diferencia de densidades es de 109.50 kg/m^3 , 185.04 kg/m^3 y 387.49 kg/m^3 para el concreto con 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente, comparados con el concreto con 0% de VE. En la variación porcentual encontramos que las densidades se reducen en 4.5%, 7.5% y 15.8% para 5%, 10% y 15% de VE teniendo de base el 0% de VE. Con ello se coincide con la tendencia decreciente de la densidad en relación al aumento de VE, ya sea en concreto [14], [15] o en morteros [12], [16]. Además, en la investigación de [15] se lograron obtener concretos con densidades menores a 1900 kg/m^3 con adiciones de 25% y 65% de VE. Todos estos resultados de reducción se pueden responsabilizar a la porosidad de la VE [17] y a su baja densidad que conlleva a la disminución del peso [12].

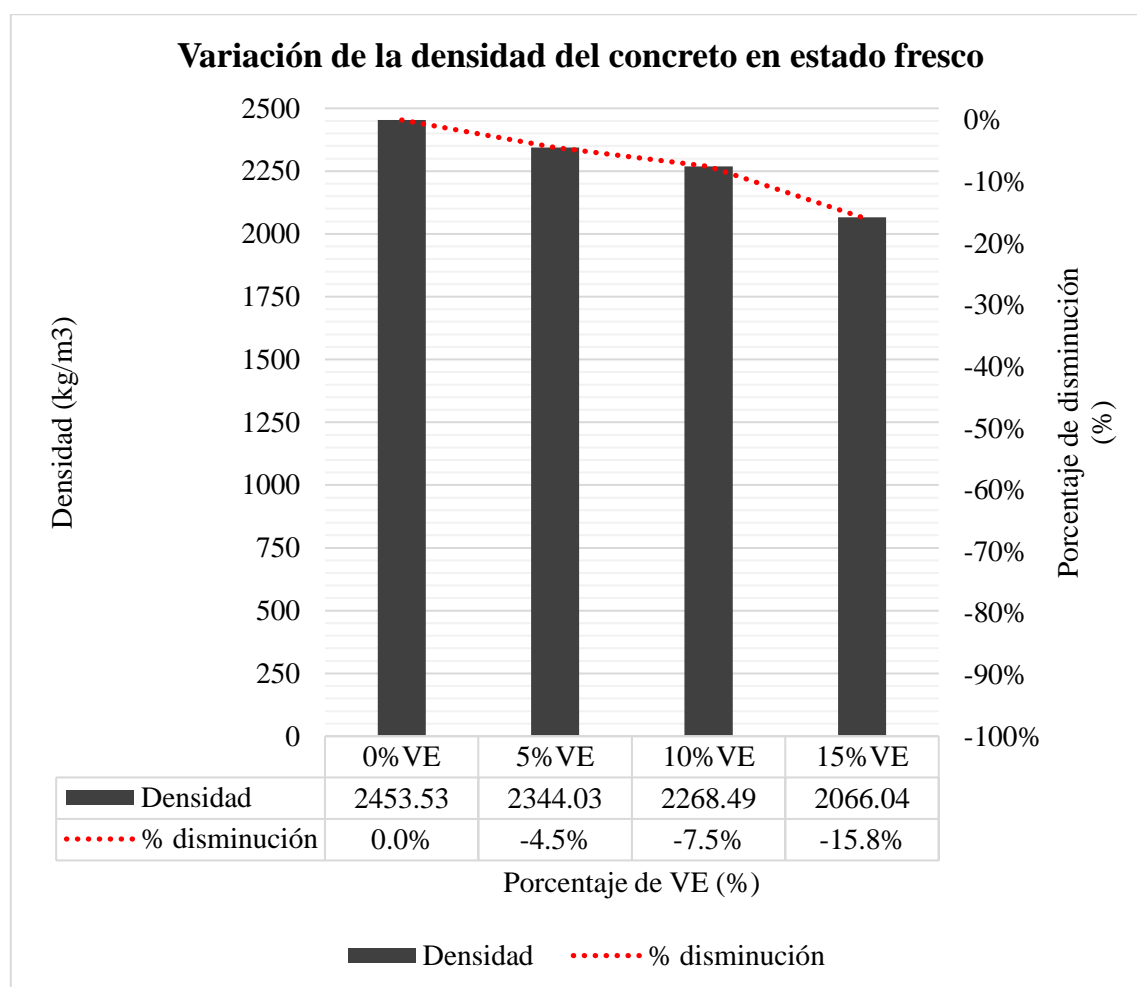


Figura 70: Variación de las densidades del concreto según cada porcentaje de adición.

Si relacionamos la densidad del concreto con su resistencia a compresión, encontraremos una relación de disminución de resistencia mientras haya disminución de densidad de las muestras. El coeficiente de correlación es de 0.928, lo cual significa que estas dos variables tienen una correlación positiva muy fuerte. La tendencia apunta a la disminución de ambas variables a medida que aumente la cantidad de vermiculita expandida.

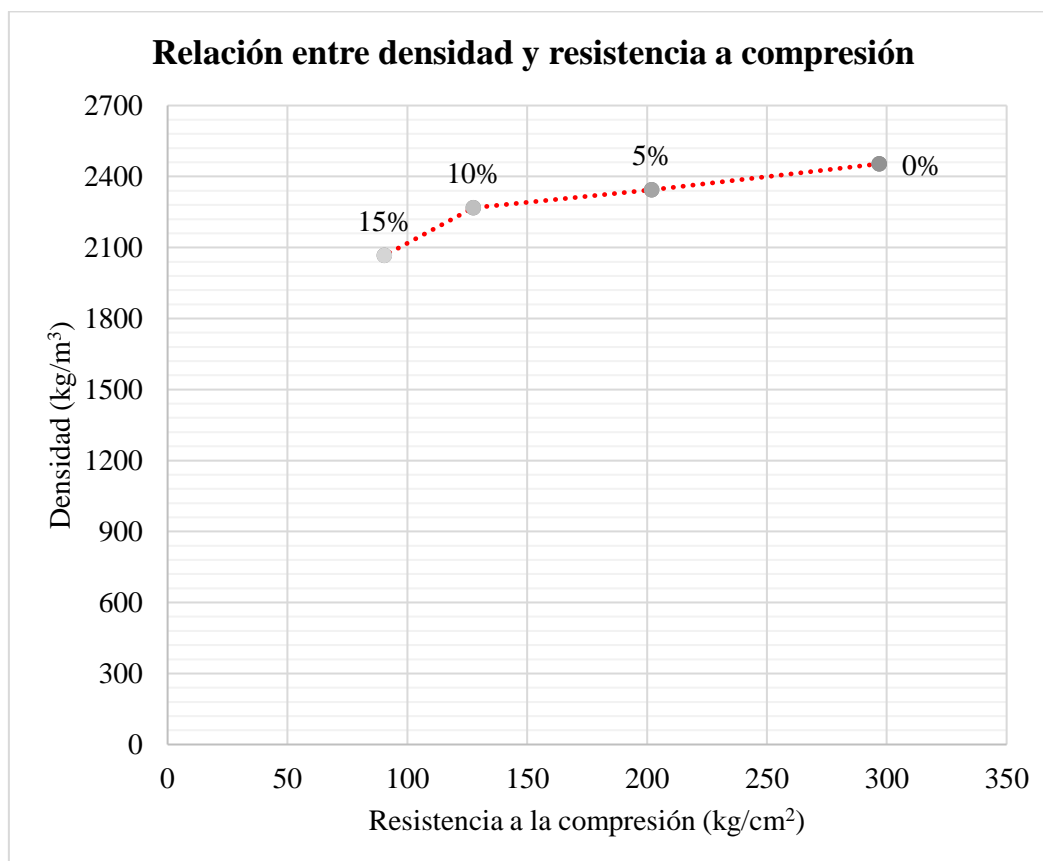


Figura 71: Relación entre la densidad y la resistencia a compresión.

Discusión de la evaluación económica

El costo analizado del concreto con 0% de VE por metro cúbico fue de S/ 559.99 (Tabla 52). Este precio se contrasta con el precio unitario de un concreto $f'c$ 210 kg/cm^2 para columnas del [Suplemento Técnico de la Revista Costos \(Ed. 334.1 – Febrero 2025\)](#), sección 01, pág. 06, el cual tiene un monto de S/ 652.93 por m³ de concreto, con el cual existe una diferencia de S/ 92.94. Es decir, el concreto común de la presente investigación tiene un costo ligeramente menor.

Tabla 61: Comparación de precios unitarios del concreto patrón (0%VE)

Comparación de APU propio con APU de Revista Costos Febrero 2025				
Descripción	APU propio		Revista Costos Febrero 2025	
	(S/)		(S/)	
Mano de obra	S/	242.91	S/	310.22
Materiales	S/	300.25	S/	300.08
Equipo	S/	16.83	S/	42.63
Precio Unitario Total	S/	559.99	S/	652.93
Diferencia de PU				S/ 92.94

Fuente: Elaboración propia

Con respecto al costo del concreto con sus variaciones de adición de VE se encontró un incremento en los precios, siendo S/ 805.62, S/ 1051.24 y S/ 1296.86 el precio unitario para 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente (Tabla 53, Tabla 54 y Tabla 55). Al compararlo con el costo del concreto con 0% VE, se encuentra un incremento en el costo de S/ 245.62, S/ 491.25 y S/ 736.87 para el concreto con 5%, 10% y 15% de VE, obteniéndose un aumento en porcentaje de 43.86%, 87.72% y 131.59% sobre el costo del concreto de 0% de VE (Tabla 56). Esto exhibe un aumento en el costo a medida que mayor sea la cantidad de VE a añadir, que puede superar en más del 100% del costo patrón, evidenciándose que el costo es elevado para las proporciones elaboradas en esta investigación, sobre todo para la adición de 15% de VE.

Conclusiones

- En esta investigación se demostró la respuesta de la resistencia mecánica del concreto con adiciones de vermiculita expandida antes y después de ser sometido a fuego en determinados tiempos y temperaturas de exposición (15 minutos – 600°C, 30 minutos – 750°C, 1 hora – 900°C y 2 horas – 1000°C). Los comportamientos se han comparado con concreto convencional bajo el mismo diseño de mezcla.
- La vermiculita expandida usada en esta investigación presenta propiedades físicas tales como un tamaño de partículas en su mayoría de 1.18 mm a 2.36 mm, peso específico de 1.87 gr/cm³, humedad del 8.61%, absorción de 8.67%, densidad de 0.395 gr/cm³.
- Antes de la exposición a fuego, es decir a temperatura ambiente, la resistencia a compresión del concreto disminuyó con la adición de VE de forma proporcionalmente directa a la cantidad de adición de VE. En todas las edades analizadas en esta etapa fue el concreto patrón quien tuvo mayor resistencia con un valor promedio de 296.9 kg/cm². Por otro lado, de los concretos con adición, el que contenía 5% de VE fue el que se mostró con un mejor comportamiento en estas condiciones ya que alcanzó una resistencia promedio de 202 kg/cm², acercándose bastante a la resistencia mínima de diseño 210 kg/cm²; sin embargo, los concretos con 10% de VE y 15% de VE tuvieron una baja de resistencia significativa ya que, siendo diseñadas para alcanzar resistencia de 210 kg/cm², solamente alcanzaron resistencias de 127.6 kg/cm² y 90.5 kg/cm².
- En la exposición de fuego a 15 minutos – 600°C no se produjo un deterioro del concreto y, al contrario de lo esperado, las resistencias a compresión aumentaron en las muestras, excepto en la del 5% de VE que fue la única que decayó su resistencia a la compresión en 1.3%. Los demás concretos aumentaron en 6.4%, 27.6% y 15.3% para 0%, 10% y 15% de VE, respectivamente, siendo 10% de VE el que mejor respuesta mostró, comprobándose la influencia positiva de VE en altas temperaturas.
- A partir de la exposición de fuego a 30 minutos – 750°C sí se observó deterioro del concreto en todas las muestras, ya que las resistencias a compresión disminuyeron en 6.0%, 21.2%, 7.1% y 17.5% para 0%, 5%, 10% y 15% de VE, demostrándose una degradación en todas las muestras.
- En la exposición de fuego a 1 hora – 900°C se notó aún más el deterioro del concreto en todas las muestras, ya que las resistencias a compresión disminuyeron en 37.8%, 26.9%, 21.8% y 20.6% para 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente, siendo 15% de VE el que mejor respuesta mostró, comprobándose la influencia positiva de VE en altas temperaturas.

- En la exposición de fuego a 2 horas – 1000°C se registraron los mayores deterioros del concreto en todas las muestras, ya que las resistencias a compresión disminuyeron en 48.9%, 74.2%, 40.4% y 32.9% para 0%, 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente, siendo 15% de VE el que mejor respuesta mostró, corroborándose la influencia positiva de VE en altas temperaturas.
- Las densidades del concreto comenzaron a ser menores mientras mayor era la adición de VE, siendo el concreto patrón la base con 2453.53 kg/m^3 y los concretos con adición con 2344.03 kg/m^3 , 2268.49 kg/m^3 y 2066.04 kg/m^3 para 5% VE, 10% VE y 15% VE, respectivamente. Así mismo se evidencia la disminución de las densidades en 109.50 kg/m^3 , 185.04 kg/m^3 y 387.49 kg/m^3 para 5%, 10% y 15% de VE, respectivamente, al considerar la densidad de 0% VE como base.
- Los costos del concreto comenzaron a crecer a medida que aumentaba la cantidad de adición de VE, siendo la base el concreto patrón con un precio unitario de S/ 559.99. Los concretos con adición del 5% VE, 10% VE y 15% VE tuvieron precios unitarios de S/ 805.62, S/ 1051.24 y S/ 1296.86, respectivamente, lo cual demuestra un incremento del costo base en S/ 245.62, S/ 491.25 y S/ 736.87, respectivamente. Esto lo posiciona como una opción poco viable para la elaboración de grandes cantidades de concreto, ya que el costo aumentaría de manera considerable.

Recomendaciones

- Realizar más ensayos de caracterización para la vermiculita expandida, en especial para determinar el porcentaje de absorción y su densidad con muchos más detalles.
- Analizar una preparación inicial de la vermiculita expandida a fin de combatir la pérdida de trabajabilidad. Se podría evaluar una preparación adicional en la VE para aumentar su humedad antes de la mezcla con el fin de evitar la disminución de la trabajabilidad por la alta absorción de agua de VE, pudiendo ser una saturación por un tiempo controlado para encontrar un nivel óptimo de humedad dependiendo de la cantidad a usar. También se podría calcular un diseño de mezcla con corrección por humedad y absorción de la vermiculita expandida para encontrar un punto óptimo en el que la trabajabilidad no se vea comprometida negativamente manteniendo la misma relación a/c. Por otro lado, se puede estudiar el uso de algún aditivo en la mezcla del concreto con las adiciones de VE para evitar perder trabajabilidad, pudiendo probar con plastificantes o reductores de agua.
- Trabajar con porcentajes de adición más bajos teniendo en cuenta resistencias a la compresión de diseño más elevadas para observar cómo afectará la adición de vermiculita expandida.
- Se recomienda investigar más a detalle el aumento de resistencia a compresión ocurrido en cortos tiempos de exposición a fuego con alta temperatura.
- Se recomienda evaluar otros aspectos de resistencia del concreto expuesto a fuego con adición de vermiculita.
- Se recomienda hacer estudios de la adición de vermiculita expandida para aportar mayor ligereza a otros usos afines al concreto, como podrían ser en morteros o bloques estructurales.
- Se recomienda estudiar la vermiculita expandida en usos afines que requieran menores cantidades para evitar el excesivo incremento del costo de fabricación de concreto con adición de VE.

Referencias

- [1] American Society for Testing and Materials, *ASTM E119: Standard Test Methods for Fire Teste of Building Construction and Materials*. 2022.
- [2] M. Karatas, A. Benli, y H. A. Toprak, “Effect of incorporation of raw vermiculite as partial sand replacement on the properties of self-compacting mortars at elevated temperature”, *Construction and Building Materials*, vol. 221, pp. 163–176, oct. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.06.077.
- [3] A. A. Khan *et al.*, “Fire modelling framework for investigating tall building fire: A case study of the Plasco Building”, *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 45, p. 103018, may 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103018.
- [4] F. R. Ruvalcaba-Ayala y M. Covarrubias-Navarro, “La Ingeniería Estructural de Fuego un enfoque nacional y ejemplo de aplicación”, *IIT*, vol. 18, núm. 3, pp. 253–264, jul. 2017, doi: 10.22201/fi.25940732e.2017.18n3.023.
- [5] C. J. Simensen, “A theory for the collapse of the World Trade Center”, *Engineering Failure Analysis*, vol. 41, pp. 39–47, jun. 2014, doi: 10.1016/j.engfailanal.2013.07.032.
- [6] V. Pachta, S. Triantafyllaki, y M. Stefanidou, “Performance of lime-based mortars at elevated temperatures”, *Construction and Building Materials*, vol. 189, pp. 576–584, nov. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.09.027.
- [7] CENEPRED, “Escenario de riesgo por incendio urbano del cercado de Lima”, dic. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/2020/12/Escenario-de-Riesgo-por-Incendio-Urbano-del-Cercado-de-Lima-CENEPRED-MML.pdf>
- [8] Cuerpo General de Bomberos Voluntarios del Perú, “Estadísticas de emergencias a nivel nacional del CGBVP”. Consultado: el 1 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: http://www.bomberosperu.gob.pe/portal/net_estadistica.aspx
- [9] F. Koksall, T. Nazlı, A. Benli, O. Gencil, y G. Kaplan, “The effects of cement type and expanded vermiculite powder on the thermo- mechanical characteristics and durability of lightweight mortars at high temperature and RSM modelling”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 15, p. e00709, dic. 2021, doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00709.
- [10] Y. K. Guruprasad y C. N. Yashwanth, “Response of reinforced concrete structural members exposed to high temperature fire and retrofitting of fire damaged structural members adopting R.C jacketing”, *Materials Today: Proceedings*, p. S2214785323026652, may 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.041.
- [11] Z. Xing, A.-L. Beaucour, R. Hebert, A. Noumowe, y B. Ledesert, “Influence of the nature of aggregates on the behaviour of concrete subjected to elevated temperature”, *Cement and Concrete Research*, vol. 41, núm. 4, pp. 392–402, abr. 2011, doi: 10.1016/j.cemconres.2011.01.005.
- [12] A. Benli, M. Karatas, y H. Anil Toprak, “Mechanical characteristics of self-compacting mortars with raw and expanded vermiculite as partial cement replacement at elevated temperatures”, *Construction and Building Materials*, vol. 239, p. 117895, abr. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117895.
- [13] Y. Miao *et al.*, “Micro/meso-scale damage analysis of recycled aggregate concrete mixed with glazed hollow beads after high temperatures based on 2D CT images”, *Construction and Building Materials*, vol. 365, p. 130063, feb. 2023, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.130063.
- [14] J. Liu *et al.*, “Physical and mechanical properties of expanded vermiculite (EV) embedded foam concrete subjected to elevated temperatures”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, p. e01038, jun. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01038.

- [15] A. Terzic, J. Stojanovic, L. Andric, L. Milicic, y Z. Radojevic, “Performances of vermiculite and perlite based thermal insulation lightweight concretes”, *Sci Sintering*, vol. 52, núm. 2, pp. 149–162, 2020, doi: 10.2298/SOS2002149T.
- [16] P. F. Bergmann Becker, C. Effting, y A. Schackow, “Lightweight thermal insulating coating mortars with aerogel, EPS, and vermiculite for energy conservation in buildings”, *Cement and Concrete Composites*, vol. 125, p. 104283, ene. 2022, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2021.104283.
- [17] K. H. Mo, H. J. Lee, M. Y. J. Liu, y T.-C. Ling, “Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar”, *Construction and Building Materials*, vol. 179, pp. 302–306, ago. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219.
- [18] Z. Çelik, “Investigation of the use of ground raw vermiculite as a supplementary cement materials in self-compacting mortars: Comparison with class C fly ash”, *Journal of Building Engineering*, vol. 65, p. 105745, abr. 2023, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.105745.
- [19] K. Naveenkumar, P. A. Suriya, R. Divahar, S. P. Sangeetha, y M. Jayakumar, “Experimental investigation flexural behavior of reinforced concrete beam with partial replacement of vermiculite”, *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 5885–5888, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.02.743.
- [20] L. Hao, J. Sun, M. Zeng, y C. Wang, “Development of effective expanded vermiculite flocculant for enhanced primary treatment of swine wastewater: Lab-scale investigations”, *Applied Clay Science*, vol. 232, p. 106759, feb. 2023, doi: 10.1016/j.clay.2022.106759.
- [21] SENCICO, *Norma E. 060 Concreto armado*. 2020.
- [22] E. Pasquel Carbajal, *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*, 2a ed. Lima (Perú): Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.
- [23] INACAL, *NTP 334.009. Cementos. Cemento Portland. Requisitos*. 2005.
- [24] INDECOPI, *NTP 334.001. CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura*. 2011.
- [25] INDECOPI, *NTP 400.037. AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. 2014.
- [26] INACAL, *NTP 339.088. CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento portland. Requisitos*. 2019.
- [27] American Society for Testing and Materials, *ASTM C125: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*. 2021.
- [28] D. Sánchez De Guzmán, *Tecnología del concreto y del mortero*, 5a ed. Bogotá (Colombia): Bhandar Editores, 2001.
- [29] C. Forero Osorio y C. C. Culma Rodriguez, “Guía metodológica para el reconocimiento in situ de patologías del concreto”, ene. 2021, [En línea]. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/38026>
- [30] J. Calavera Ruiz, *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*, 2. Ed. Madrid: INTEMAC, 19.
- [31] F. Koksall, E. Mutluay, y O. Gencel, “Characteristics of isolation mortars produced with expanded vermiculite and waste expanded polystyrene”, *Construction and Building Materials*, vol. 236, p. 117789, mar. 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117789.
- [32] R. R. Petersen, M. B. Olesen, J. König, y Y. Yue, “Expansion and shrinkage of lightweight vermiculite material at high temperatures”, *Ceramics International*, vol. 49, núm. 14, pp. 23605–23611, jul. 2023, doi: 10.1016/j.ceramint.2023.04.195.
- [33] INACAL, *NTP 339.034. CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. 2015.
- [34] INDECOPI, *NTP 339.035. CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. 2009.

- [35] INDECOPI, *NTP 339.046. CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.* 2008.
- [36] INACAL, *NTP 400.012. AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.* 2018.
- [37] INDECOPI, *NTP 400.017. AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado.* 1999.
- [38] INACAL, *NTP 400.021. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.* 2018.
- [39] INDECOPI, *NTP 400.022. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.* 2013.
- [40] INDECOPI, *NTP 339.185. AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.* 2002.
- [41] INDECOPI, *NTP 334.005. CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland.* 2011.
- [42] INACAL, *NTP 339.033. CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.* 2015.
- [43] National Fire Protection Association, *NFPA 51B. Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work.* 2024.
- [44] EN ISO 11611, *Ropa de protección utilizada durante el soldeo y procesos afines.* 2008.

Anexos

Panel de datos de vermiculita expandida

Ficha técnica de la vermiculita expandida

Anexo N° 1: Ficha técnica de la vermiculita expandida



FICHA TÉCNICA

VERMITEK

Vermiculita agrícola

Revisado: 17/07/2023

IMPORTANCIA:

La vermiculita agrícola *VERMITEK* ofrece una alta absorción y retención de agua, incluyendo el intercambio de cationes. Proporciona las mejores condiciones para el rápido crecimiento de raíces fuertes y saludables, homogeniza el crecimiento y se obtiene plantas de alto rendimiento.

DESCRIPCIÓN:

Es un mineral micáceo que comprende de silicatos de aluminio hidratados de magnesio y hierro que, sometido a temperaturas entre 650-1050°C, se expande hasta 4 veces su volumen. Es resistente a los agentes de descomposición, no se modifican por la exposición al aire o humedad. Provee de una excelente ventilación al sustrato y buen drenaje.

APLICACIONES:

En la horticultura, jardinería, semi leñosas o arbóreas. Puede mezclarse con fibra de coco, turba, humus, etc.

CARACTERÍSTICAS		DETALLES			MÉTODO DE PRUEBA
Procedencia		BRASIL			
Composición química	SiO ₂	30-45%		Fusión con piro sulfito de potasio y determinación por EAA	
	Al ₂ O ₃	5-15%			
	Fe ₂ O ₃	4-17%			
	TiO	Max 2%			
	CaO	0-1.5%			
	MgO	15-30%			
	NaO	1-1.5%			
	K ₂ O	0-0.4%			
Apariencia	Gránulos en estado sólido, de color beige a dorado.				
Densidad aparente (kg/m ³)	SUPER-FINO	FINO	MEDIO	TVA 107-99	
	100- 140	90-130	90-110		
Humedad límite a 110°C	Max. 8%			TVA 114-00	
Granulometría	Tamices (mm)	% Retenido simples			TVA 105-99
	Promedio	0.5- 1.0 mm	1.0 - 2.0 mm	2.0 - 4.0 mm	
	8.0	0	0	0-1	
	4.0	0	0-1	5-30	
	2.4	0-1	8-30	40-65	
	1.2	20-60	45-75	10-35	
	0.6	35-65	5-30	1-10	
	0.3	5-18	1-10	1-5	
	<0.3/ 0.15	1-5	1-5	0.5	
<0.15	0-3	0-3	-		
pH	7				
Salinidad	No salino				
Solubilidad	No soluble en disolventes orgánicos.				
Presencia de asbestos	No presenta asbestos				
Perdida de ignición	Max. 10% de su peso				
Combustibilidad	Incombustible				
Presentación	Saco 100L				

* EAA: Espectroscopia por Absorción Atómica.

Recomendaciones: Esta información se suministra de buena fe, es precisa y confiable según mejor conocimiento, pero debe considerarse solo como una guía en la selección del producto no como garantía de funcionamiento. • MARUPLAST INTERNACIONAL E.I.R.L. declina toda responsabilidad por resultados obtenidos mediante el uso de esta información.

MARUPLAST INTERNACIONAL EIRLTDA
Departamento Técnico

Panel fotográfico de la vermiculita expandida

Anexo N° 2: Fotografía de la vermiculita



Anexo N° 3: Fotografías de los granos de la vermiculita expandida



Anexo N° 4: Fotografía de la vermiculita expandida con una regla de referencia



Panel de ensayos de laboratorio

Anexo N° 5: Ficha de validación de ensayos de laboratorio



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS

INFORME N° LEM USAT 015-2024-I

FECHA: 18 de Mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Cesar David Perez Silva

TITULO DE LA TESIS: Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Granulometría de agregado fino y agregado grueso
- Granulometría de vermiculita expandida
- Peso unitario de agregado fino y agregado grueso
- Peso específico y porcentaje de absorción de agregado fino y agregado grueso
- Peso específico y porcentaje de absorción de vermiculita expandida
- Contenido de humedad de agregado fino y agregado grueso
- Contenido de humedad de vermiculita expandida
- Densidad de vermiculita expandida
- Asentamiento del concreto
- Densidad (peso unitario) del concreto
- Resistencia a compresión del concreto



Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto

Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Panel de ensayos de laboratorio del agregado fino y agregado grueso

Anexo N° 6: Ficha de ensayo de granulometría del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



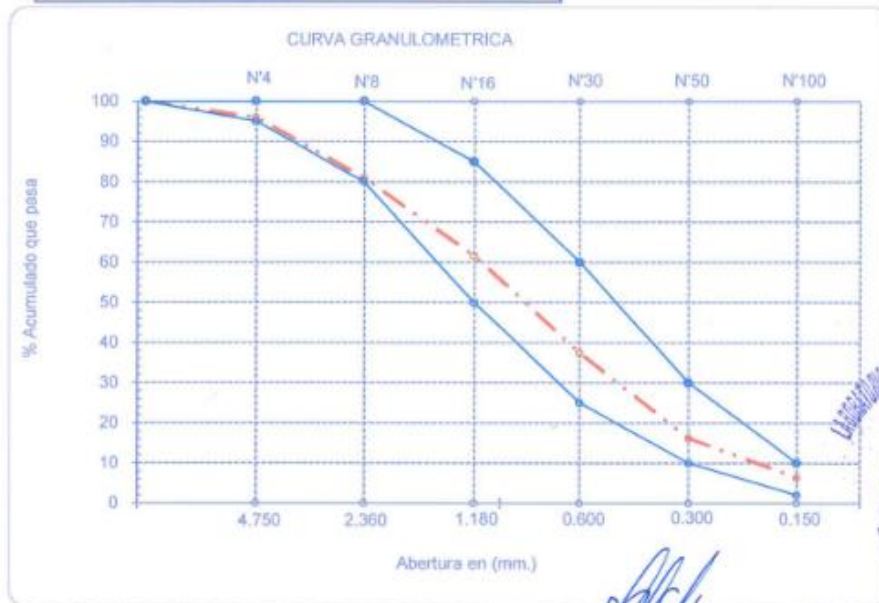
Tesista : Perez Silva, Cesar David
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

P. Inicial S. 477.6

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)					100	100
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	19.37	4.1	4.1	95.9	95	100
N° 08	2.360	71.77	15.0	19.1	80.9	80	100
N° 16	1.180	92.26	19.3	38.4	61.6	50	85
N° 30	0.600	115.45	24.2	62.6	37.4	25	60
N° 50	0.300	101.35	21.2	83.8	16.2	10	30
N° 100	0.150	47.0	9.8	93.6	6.4	2	10
Fondo		30.39	6.4	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				3.016			
Abertura de malla de referencia				9.500			



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo N° 7: Ficha de ensayo de granulometría del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

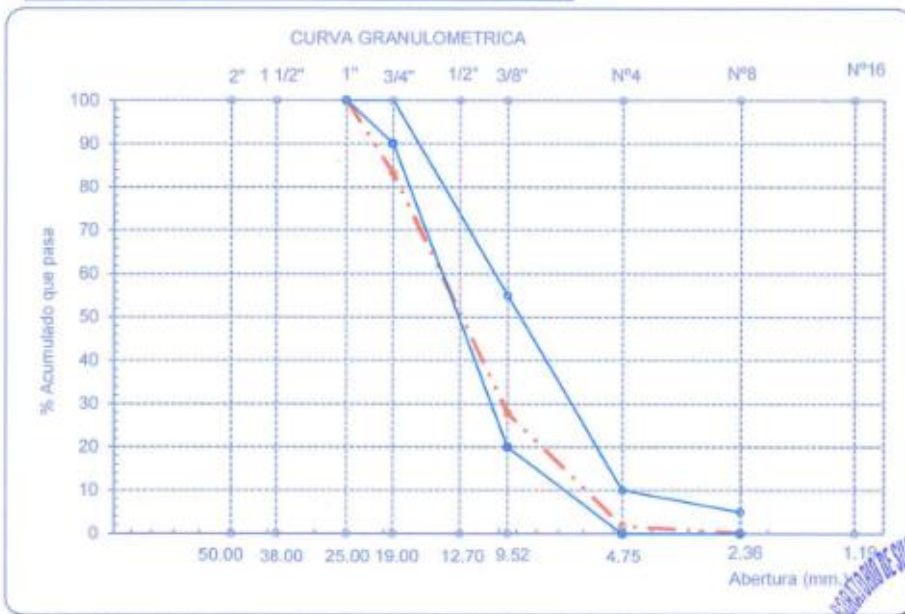


Tesista : Perez Silva, Cesar David
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera La Victoria-Pítapo.

P. Inicial S. 2656.84

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones USO 67	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	-	-
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	446.0	16.8	16.8	83.2	90.0	100.0
1/2"	12.70	922.0	34.7	51.5	48.5	-	-
3/8"	9.52	550.0	20.7	72.2	27.8	20.0	55.0
N° 04	4.75	692.0	26.0	98.2	1.8	0.0	10.0
N° 08	2.36	44.0	1.7	99.9	0.1	0.0	5.0
N° 16	1.19	1.2	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		1.6	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	25.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 8: Ficha de ensayo de pesos unitarios del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8974	8980
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8974	8980
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1621	1623
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1622	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9970	9975
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9970	9975
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1801	1802
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1802	


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



 USAT
 Laboratorio de Suelos, Concreto y Ensayos de Materiales
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 9: Ficha de ensayo de pesos unitarios del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8060	8050
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8060	8050
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1456	1455
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1455	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9090	9060
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9090.0	9060.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00553	0.00553
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1642	1637
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1640	


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTA TERESITA DE MOGROVEJO
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 10: Ficha de ensayo de pesos específico y absorción del agregado fino y agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso de	(g)	947.8	947.8
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	643.23	643.23
3.- Peso del Agua	(g)	304.52	304.52
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	639.68	639.68
5.- Peso del Frasco	(g)	140.43	140.43
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	499	499
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.554
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.558
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.564
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.71

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	1490	1520
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	1510	1530
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	1860	1870
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	980	990

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.813
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.841
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.894
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.00


Henry Rivadeneiro Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



*Anexo N° 11: Ficha de ensayo de contenido de humedad del agregado fino
y agregado grueso*



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1000	1000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	993	993
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.70	0.70
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.70	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4984	4984
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.3	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.32	

Observaciones :


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Panel de ensayos de laboratorio de la vermiculita expandida

Anexo N° 12: Ficha de ensayo de granulometría de la vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

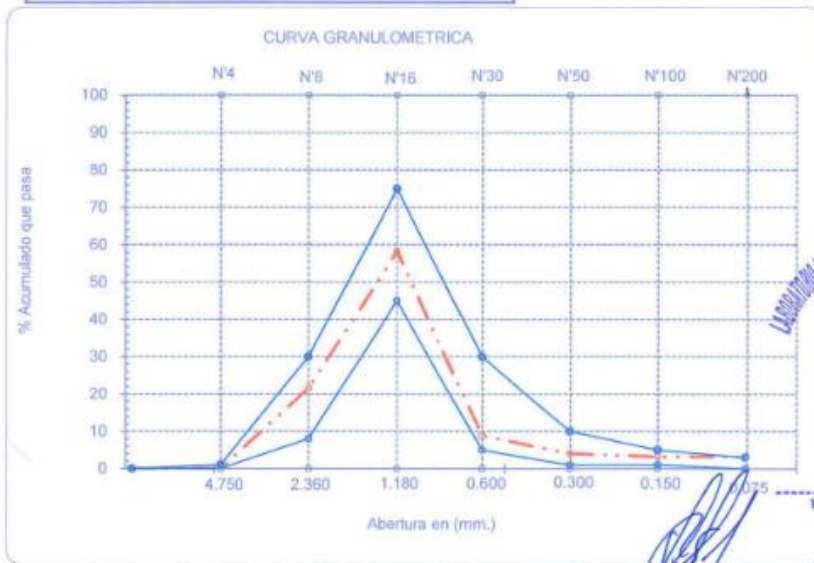
Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado de la vermiculita expandida
 Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Proveedor Maruplast

P. Inicial S. 198.9

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	Especificaciones Ficha Técnica (% retenidos simples)		
						Pulg.	(mm.)	Ret.	Que Pasa
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	0	0
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	0	0
N° 04	4.750	0	0.0	0.0	100.0	0	1
N° 08	2.360	42.91	21.6	21.6	78.4	8	30
N° 16	1.180	115.87	58.3	79.8	20.2	45	75
N° 30	0.600	17.72	8.9	88.8	11.2	5	30
N° 50	0.300	8.08	4.1	92.8	7.2	1	10
N° 100	0.150	6.4	3.2	96.0	4.0	1	5
N° 200	0.0750	6.5	3.2	99.3	0.7	0	3
Fondo		30.39	15.3	111.3	-11.3		

Módulo de Fineza 3.790
 Abertura de malla de referencia 9.500



Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT

Anexo N° 13: Ficha de ensayo de peso específico y absorción de la vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Peso específico y Absorción de la Vermiculita Expandida

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera Maruplast

I.- Datos.

1.- Peso de la VE Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del A	(g)	668.1	668.1
2.- Peso de la VE Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	192.67	192.67
3.- Peso del Agua	(g)	475.39	475.39
4.- Peso de la VE Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	188.68	188.68
5.- Peso del Frasco	(g)	142.67	142.67
6.- Peso de la VE Secada al Horno	(g)	46	46
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.870
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	20.317
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm ³)	-0.107
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	8.67


Henry Rivasneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo


LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 14: Ficha de ensayo de contenido de humedad de la vermiculita
expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera Maruplast

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	100	130.02
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	92.33	119.37
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	8.31	8.92
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	8.61	

Observaciones :


Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo N° 15: Carta de autorización del ensayo de densidad de la vermiculita expandida



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: lemswyceirl@gmail.com

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA EL RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Chiclayo, 28 de marzo del 2024

Quien suscribe:

Sr. Wilson Arturo Olaya Aguilar

**Representante Legal – LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS
W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L.**

AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado **“Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida”**.

Por el presente, el que suscribe, Wilson Arturo Olaya Aguilar representante legal de la empresa LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS W & C E.I.R.L. - LEMS W & C E.I.R.L. AUTORIZO al estudiante César David Pérez Silva identificado con DNI N° 72805279 estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Ambiental de la UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO y autor del trabajo de investigación denominado **“Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida”** para el uso de laboratorio técnico y formatos de procesamiento de datos y cálculo para obtención de resultados de control de calidad en efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Ensayos realizados:

- MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND (1)

Atentamente.



Anexo N° 16: Ficha de ensayo de densidad de la vermiculita expandida



Prolongación Bolognesi Km. 3.5

Pimentel – Lambayeque

R.U.C. 20480781334

Email: servicios@lemswyceir.com

INFORME

Solicitud de Ensayo : **2809A-23/ LEMS W&C**
 Solicitante : César David Pérez Silva

Proyecto / Obra : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida

Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque
 Fecha de Apertura : Miércoles, 27 de setiembre del 2023
 Inicio de ensayo : Miércoles, 27 de setiembre del 2023
 Fin de ensayo : Miércoles, 27 de setiembre del 2023

NORMA : MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND

REFERENCIA : N.T.P. 334.005-2011

INSTRUMENTOS : Botella de Le Chatelier
 Termómetro digital
 Balanza digital

MATERIAL : Vermiculita Expandida

1.- PESO ESPECÍFICO DE MASA	(gr/cm ³)	0.395
-----------------------------	-----------------------	-------

OBSERVACIONES :

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.
- El líquido utilizado es Kerosene.
- Se realizó ciclos de baño maría con agua regulada a temperatura de 20°C .
- La lectura inicial se tomó luego de estabilizar el volumen del líquido .

LEMS W&C EIRL.
 WILSON ARTURO OLAYA AGUILAR
 TEC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS



LEMS W&C EIRL.
 MIGUEL ANGEL RUIZ PERALES
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 240593

Henry Rivas
 Rivas Rivas
 Odilina
 Tec. Laboratorio
 USAT

Panel del diseño de mezcla del concreto

Anexo N° 17: Ficha de diseño de mezcla del concreto



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag. 1 de 2

Tesista : Perez Silva, Cesar David
Solicitante : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

$F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

CEMENTO:

- 1.- Tipo de cemento : Cemento Pórtland Ico
2.- Peso específico : 2970 Kg/m³

AGREGADOS :

Agregado fino :

- Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.
- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| 1.- Peso específico de masa | 2.554 gr/cm ³ |
| 2.- Peso específico de masa S.S.S. | 2.5578 gr/cm ³ |
| 3.- Peso unitario suelto | 1622 Kg/m ³ |
| 4.- Peso unitario compactado | 1802 Kg/m ³ |
| 5.- % de absorción | 0.7 % |
| 6.- Contenido de humedad | 0.7 % |
| 7.- Módulo de fineza | 3.016 |

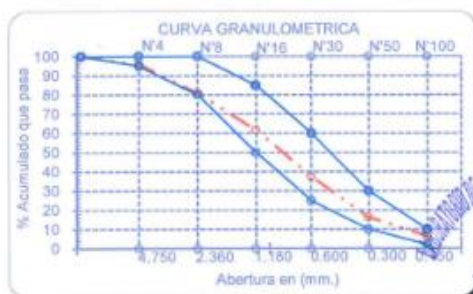
Agregado grueso :

- Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.
- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| 1.- Peso específico de masa | 2.813 gr/cm ³ |
| 2.- Peso específico de masa S.S.S. | 2.841 gr/cm ³ |
| 3.- Peso unitario suelto | 1455 Kg/m ³ |
| 4.- Peso unitario compactado | 1640 Kg/m ³ |
| 5.- % de absorción | 1.0 % |
| 6.- Contenido de humedad | 0.3 % |
| 7.- Tamaño máximo | 1" Pulg. |
| 8.- Tamaño máximo nominal | 3/4" Pulg. |

Granulometría :

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
3/8"	0.0	100.0
N° 04	4.1	95.9
N° 08	15.0	80.9
N° 16	19.3	61.6
N° 30	24.2	37.4
N° 50	21.2	16.2
N° 100	9.8	6.4
Fondo	6.4	0.0

Malla	% Retenido	% Acumulado que pasa
2"	0.0	100.0
1 1/2"	0.0	100.0
1"	0.0	100.0
3/4"	16.8	83.2
1/2"	34.7	48.5
3/8"	20.7	27.8
N° 04	26.0	1.8
N° 08	1.7	0.1
N° 16	0.0	0.1
Fondo	0.1	0.0



USAT
TÉCNICO DE LABORATORIO

Henry Riudenebra Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Pag. 2 de 2

Expediente N° : Parez Silva, Cesar David
 Peticionario : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Obra : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
 Ubicación : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

DISEÑO DE MEZCLA FINAL

F'c = 210 kg/cm²Resultados del diseño de mezcla :

Asentamiento obtenido	:	4 Pulgadas
Peso unitario del concreto fresco	:	2365 Kg/m ³
Resistencia promedio a los 3 días	:	136 Kg/cm ²
Porcentaje promedio a los 3 días	:	65 %
Resistencia promedio a los 7 días	:	214 Kg/cm ²
Porcentaje promedio a los 7 días	:	102 %
Factor cemento por M ³ de concreto	:	8.5 bolsas/m ³
Relación agua cemento de diseño	:	0.556

Cantidad de materiales por metro cúbico :

Cemento	369 Kg/m ³	: Cemento Pórtland Ico
Agua	212 L	: Agua Potable de la Zona.
Agregado fino	777 Kg/m ³	: Cantera La Victoria-Pátapo.
Agregado grueso	984 Kg/m ³	: Cantera La Victoria-Pátapo.

	Cemento	Arena	Piedra	Agua	
Proporción en peso :	1.00	2.11	2.67	24.4	Lts/pie ³
Proporción en volumen :	1.00	1.95	2.75	24.4	Lts/pie ³



Anexo N° 18: Fichas de cálculo del diseño de mezcla del concreto



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

DISEÑO DE MEZCLA

DATOS:

a. Concreto:

f_c especificado

$$f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

b. Agregados:

Especificaciones de los agregados			
Especificación	Piedra	Arena	Unid.
TMN	3/4	-	pulg
Módulo de Fineza	6.87	3.02	-
Peso Unitario Seco Suelto	1455	1622	kg/m ³ de
Peso Unitario Seco Compactado	1640	1802	kg/m ³
Peso Especifico Agregados	2.81	2.55	tn/m ³
	2813	2554	kg/m ³
Cont. De humedad (% H)	0.32	0.70	%
	0.003	0.007	-
% de absorción (% A)	1.00	0.71	%
	0.010	0.007	-
Peso Especifico del cemento	2.97		gr/cm ³
	2970		kg/m ³
Peso Especifico del agua	1000		kg/m ³
Densidad de aditivo	-		

DISEÑO:

1. Resistencia requerida (f'_{cr})

f_c especificado	f'_{cr}
< 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
> 350	$1.1f_c + 50$

$$f'_{cr} = 210 + 84$$

$$f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso (TMN)

$$TMN = 3/4 \text{ pulg}$$



Henry Rivadeneyra
Cibillas
Tuc. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



Tesista : Pérez Silva, César David
 Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

3. Selección del asentamiento (Slump)

Asentamientos recomendados para estructuras		
Tipo de estructura	Slump	
	Máximo (pulg)	Mínimo (pulg)
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3	1
Cimentaciones simples y calzaduras	3	1
Vigas y muros armados	4	1
Columnas	4	1
Muros y pavimentos	3	1
Concreto ciclópeo	2	1

Tipo de estructura elegida:

Columnas

Máximo = 4 pulg
 Mínimo = 1 pulg

Slump = 4 pulg

4. Determinación del contenido de aire

Contenido de aire atrapado		
TMN - Agregado grueso		Aire atrapado
pulg	mm	%
3/8	9.5	3
1/2	12.5	2.5
3/4	19.0	2
1	25.0	1.5
1 1/2	37.5	1
2	50.0	0.5
3	75.0	0.3
6	150.0	0.2

Aire atrapado = 2.0 %

5. Determinación del contenido de agua

Volumen de agua por m ³ (en lt)								
Asentamiento	Tamaño máximo nominal del agregado grueso (pulg)							
Concreto sin aire incorporado								
1" = 25 mm	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
5 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-

Asentamiento = 4 pulg
 TMN = 3/4 pulg

Volumen de agua = 205 lt/m³ de concreto



Henry Rivas
 Obatas
 Tec. Laboratorio
 USAT



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

6. Selección de la relación agua - material cementante (a/mc)

Relación a/mc por resistencia (f'cr)		
f'cr	Relación agua cemento en peso	
kg/cm ²	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
140	0.82	0.74
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4

f'cr = 294 kg/cm²

	f'cr	Relación a/cm
Interpolación	280	0.57
	300	0.55

Relación a/cm por resistencia = 0.5560

7. Cálculo de contenido de cemento

Cemento = Contenido de agua / Relación a/cm

Contenido de agua: 205 lt/m³ de concreto Peso de la bolsa de cemento: 42.5 kg
Relación a/cm: 0.5560

Cemento = 368.71 kg/m³ de concreto = 8.68 bts/m³ de concreto

8. Determinación del volumen de agregados por el Método del comité 211 del ACI - Volúmenes absolutos

Tabla : Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Volúmen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volúmen de concreto para diversos Módulos de finura del fino (b/bc)

TMN del	Módulo de Finura del Agregado				
		2.4	2.6	2.8	3
3/8	9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	19.0	0.66	0.64	0.62	0.60
1	25.0	0.71	0.69	0.67	0.65

TMN = 3/4 pulg
MF del AF = 3.02

Modulo de finura		
2.8	3	3.02
0.62	0.60	x
↓		
0.598		

b/bc = 0.5984

b = 1640 x 0.5984

b = 981.27 kg/m³ de concreto



Henry Rivadeneira Oñivas
Téc. Laboratorio USAT



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Volúmenes absolutos

$V_{ABS} = (kg/m^3Co) / \text{Peso unitario}$

Cemento:	$\frac{368.71}{2970}$	$\frac{kg/m^3 \text{ de concreto}}{kg/m^3}$	=	0.1241	=	12.4%
Agua:	$\frac{205.00}{1000}$	$\frac{litro/m^3 \text{ de concreto}}{litro/m^3}$	=	0.2050	=	20.5%
Aire:	$\frac{2.00}{100}$	%	=	0.0200	=	2.0%
Agregado grueso (AG):	$\frac{981.27}{2813}$	$\frac{kg/m^3 \text{ de concreto}}{kg/m^3}$	=	0.3488	=	34.9%
SUMATORIA			=	0.6980	=	69.8%
Agregado fino (AF):	1.00	-	0.6980	=	0.3020	= 30.2%
Agregado fino (AF):	0.3020	x	2554	=	771.38	kg/m ³ de concreto

9. Diseño en condiciones secas

Cemento =	368.71	kg/m ³ de concreto	→	8.68	bls/m ³ de concreto
Agregado Fino =	771.38	kg/m ³ de concreto			
Agregado Grueso =	981.27	kg/m ³ de concreto			
Agua =	205	litro/m ³ de concreto			

10. Corrección por humedad del agregado

Peso agregado húmedo = Peso agregado seco * (1 + % Cont. De humedad del agregado)

% Cont. Humedad AF: 0.007 = 0.70 %

Peso húmedo de agregado fino: PH_{AF} = 776.82 kg/m³ de concreto

% Cont. Humedad AG: 0.003 = 0.32 %

Peso húmedo de agregado grueso: PH_{AG} = 984.42 kg/m³ de concreto



Henry Rindoneyna Obinas
Téc. Laboratorio
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

11. Agua efectiva

Aporte de humedad

Aporte de humedad de los agregados = Peso agregado seco * (% Cont. Humedad agregado - % Absorción)

% Cont. Humedad AF: 0.007 = 0.705 %
% de absorción AF: 0.007 = 0.711 %

Aporte de humedad del agregado fino: $AP_{AF} = -0.047 \text{ kg/m}^3$ de concreto

% Cont. Humedad AG: 0.003 = 0.32 %
% de absorción AG: 0.010 = 1.00 %

Aporte de humedad del agregado grueso: $AP_{AG} = -6.66 \text{ kg/m}^3$ de concreto

Aporte total = $(AP_{AF}) + (AP_{AG})$

Aporte total = -6.71 lit/m^3 de concreto

Agua efectiva (AEF)

Agua efectiva = Agua de diseño - Aporte de humedad de los agregados

Agua de diseño = 205 lit/m^3 de concreto
Aporte total = -6.71 lit/m^3 de concreto

Agua efectiva (AEf) = 211.71 lit/m^3 de concreto

12. Diseño en condiciones húmedas

Cemento = 368.71 kg/m^3 de concreto → 8.68 bis/m^3 de concreto
Agregado Fino = 776.82 kg/m^3 de concreto
Agregado Grueso = 984.42 kg/m^3 de concreto
Agua = 211.71 lit/m^3 de concreto

$\Sigma = 2341.7 \text{ kg/m}^3$ de concreto

13. Dosificación en peso

C	AF	AG	/	AGUA
1.00 kg	2.11 kg	2.67 kg	/	24.40 lit por bolsa



Henry
Rivadeneira
Oblitas
Top. Laboratorio
USAT





Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

14. Conversión de peso a volumen

Materiales por tanda (bolsa de cemento) 1 bolsa de cemento (42.5 kg = 93.70 lb = 1 pie³ en volumen).

Cemento = 42.50 kg por bolsa
Agregado Fino = 89.54 kg por bolsa
Agregado Grueso = 113.47 kg por bolsa
Agua = 24.40 lt por bolsa

Pesos unitarios húmedos

Peso unitario seco suelto AF: 1622 kg/m³ de agregado
% Cont. Humedad: 0.007

PUSH-AF = 1633.4 kg/m³ de agregado
PUSH-AF = 46.25 kg/pie³

Peso unitario seco suelto AG: 1455 kg/m³ de agregado
% Cont. Humedad: 0.003

PUSH-AG = 1460.1 kg/m³ de agregado
PUSH-AG = 41.35 kg/pie³

15. Dosificación en volumen

	C	AF	AG	/	AGUA
Pie ³	1.90	1.94	2.74	/	24.40 lt por bolsa
	pie ³	pie ³	pie ³		

1 bolsa de cemento (42.5 kg = 93.70 lb = 1 pie³ en volumen).

	C	AF	AG	/	AGUA
m ³	8.68	0.48	0.67	/	211.71 lt por m ³
	bolsas	m ³	m ³		

16. Cantidad de kg de materiales por m³ de concreto (Condiciones húmedas)

Cemento = 368.71 kg/m³ de concreto → 8.68 bls/m³ de concreto
Agregado Fino = 776.82 kg de AF/m³ de concreto
Agregado Grueso = 984.42 kg de AG/m³ de concreto
Agua = 211.71 lt/m³ de concreto

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

TECNICO DE LABORATORIO

Henry Rivas Mayra
Oftitas
Tuc. Laboratorio
USAT

USAT
UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO



Tesista : Pérez Silva, César David

Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental

Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

17. Cantidad de m³ materiales por m³ de concreto

Cemento = 368.71	kg/m ³ de concreto	→	8.68	bls/m ³ de concreto
Agregado Fino = 0.48	m ³ de agregado/m ³ de concreto			
Agregado Grueso = 0.67	m ³ de agregado/m ³ de concreto			
Agua = 211.71	lt/m ³ de concreto	→	0.21	m ³ de agua/m ³ de concreto

18. Cantidad de vermiculita expandida por m³ de concreto

$$\text{Densidad de la Vermiculita Expandida} = 0.395 \text{ gr/cm}^3 = 395 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen de concreto evaluado} = 1 \text{ m}^3$$

Cálculo:

Cálculo:						Para 1 m ³ de Concreto				
VE _{0%}	=	1	m ³ Co	x	0%	x	395 kg/m ³	=	0.000	kg
VE _{5%}	=	1	m ³ Co	x	5%	x	395 kg/m ³	=	19.750	kg
VE _{10%}	=	1	m ³ Co	x	10%	x	395 kg/m ³	=	39.500	kg
VE _{15%}	=	1	m ³ Co	x	15%	x	395 kg/m ³	=	59.250	kg

Materiales por 1 m ³ de concreto	Porcentajes de vermiculita expandida			
	0%	5%	10%	15%
Cemento (kg/m ³ Co)	368.7	368.7	368.7	368.7
Agregado fino (kg/m ³ Co)	776.8	776.8	776.8	776.8
Agregado grueso (kg/m ³ Co)	984.4	984.4	984.4	984.4
Agua (lt/m ³ Co)	211.7	211.7	211.7	211.7
Vermiculita expandida (kg/m ³ Co)	0.0	19.8	39.5	59.3



Henry Rondero Obayas
Téc. Laboratorio
USAT
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Panel de ensayos de laboratorio del concreto en estado fresco

Anexo N° 19: Ficha de ensayo de asentamiento del concreto



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



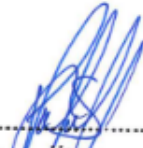
Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.035 - 2009 / ASTM C-143/C143 - 2008
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Ensayo	Asentamiento	
			pulg	mm
01	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	4.00	102
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	04/10/2023	1.10	28
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	11/10/2023	0.75	19
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	17/10/2023	0.00	0

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Ripadenegra Oblitas
 Tec. Laboratorio
 USAT



Anexo N° 20: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 0% de VE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.046 - 2008 / ASTM C-138/C138M - 08

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Ensayo	Molde			Peso del concreto + molde (gr)	Densidad kg/m ³
			Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)		
01	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4150	2495.5
02	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4030	2419.2
03	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4070	2444.6
04	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4070	2444.6
05	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4060	2438.3
06	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4090	2457.4
07	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4040	2425.5
08	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4100	2463.7
09	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4090	2457.4
10	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4100	2463.7
11	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4110	2470.1
12	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4090	2457.4
13	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4070	2444.6
14	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4110	2470.1
15	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	20	10	230	4080	2451.0

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry
Rivadeneira
Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo N° 21: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 5% de VE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.046 - 2008 / ASTM C-138/C138M - 08

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Ensayo	Molde			Peso del concreto + molde (gr)	Densidad kg/m ³
			Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)		
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3930	2355.5
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3900	2336.4
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3940	2361.9
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3890	2330.0
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3880	2323.7
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3890	2330.0
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3900	2336.4
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3920	2349.1
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3900	2336.4
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3920	2349.1
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3850	2304.6
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3940	2361.9
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3980	2387.3
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3940	2361.9
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	20	10	230	3900	2336.4

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Fac. Laboratorio
 USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo N° 22: Ficha de ensayo densidad del concreto con 10% de VE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.046 - 2008 / ASTM C-138/C138M - 08

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Ensayo	Molde			Peso del concreto + molde (gr)	Densidad kg/m ³
			Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)		
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3840	2298.2
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3770	2253.6
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3750	2240.9
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3810	2279.1
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3820	2285.5
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3750	2240.9
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3730	2228.2
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3800	2272.7
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3780	2260.0
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3800	2272.7
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3780	2260.0
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3820	2285.5
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3840	2298.2
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3790	2266.4
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	20	10	230	3820	2285.5

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT





Anexo N° 23: Ficha de ensayo de densidad del concreto con 15% de VE



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.046 - 2008 / ASTM C-138/C138M - 08

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Ensayo	Molde			Peso del concreto + molde (gr)	Densidad kg/m ³
			Altura (cm)	Diámetro (cm)	Peso (gr)		
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3525	2097.7
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3610	2151.8
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3496	2079.2
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3332	1974.8
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3522	2095.8
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3354	1988.8
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3462	2057.6
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3509	2087.5
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3414	2027.0
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3494	2077.9
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3409	2023.8
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3536	2104.7
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3534	2103.4
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3431	2037.8
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	20	10	230	3502	2083.0

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Henry Rivas
Rivas
Chilias
Téc. Laboratorio
USAT

Panel de ensayos de laboratorio del concreto en estado endurecido

Anexo N° 24: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 0% de vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	23/09/2023	3	135
02	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	23/09/2023	3	133
03	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	23/09/2023	3	141
04	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	27/09/2023	7	211
05	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	27/09/2023	7	203
06	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	27/09/2023	7	227
07	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	04/10/2023	14	237
08	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	04/10/2023	14	253
09	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	04/10/2023	14	248
10	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	11/10/2023	21	269
11	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	11/10/2023	21	266
12	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	11/10/2023	21	289
13	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	18/10/2023	28	282
14	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	18/10/2023	28	293
15	CONCRETO 210 kg/cm ²	20/09/2023	18/10/2023	28	315

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.



Anexo N° 25: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con
5% de vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	08/10/2023	3	124
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	08/10/2023	3	124
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	08/10/2023	3	126
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	12/10/2023	7	135
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	12/10/2023	7	129
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	12/10/2023	7	142
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	19/10/2023	14	148
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	19/10/2023	14	153
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	19/10/2023	14	172
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	26/10/2023	21	175
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	26/10/2023	21	173
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	26/10/2023	21	187
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	02/11/2023	28	208
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	02/11/2023	28	191
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA	05/10/2023	02/11/2023	28	207

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivadeneira Obllitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 26: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con
10% de vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f _c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	15/10/2023	3	58
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	15/10/2023	3	63
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	15/10/2023	3	69
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	19/10/2023	7	82
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	19/10/2023	7	77
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	19/10/2023	7	80
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	26/10/2023	14	84
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	26/10/2023	14	99
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	26/10/2023	14	99
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	02/11/2023	21	107
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	02/11/2023	21	119
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	02/11/2023	21	118
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	09/11/2023	28	131
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	09/11/2023	28	131
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA	12/10/2023	09/11/2023	28	121

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivas Obilias
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo N° 27: Ficha de ensayo de resistencia a compresión del concreto con
15% de vermiculita expandida



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	21/10/2023	3	14
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	21/10/2023	3	17
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	21/10/2023	3	18
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	25/10/2023	7	25
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	25/10/2023	7	25
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	25/10/2023	7	34
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	01/11/2023	14	38
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	01/11/2023	14	48
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	01/11/2023	14	34
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	08/11/2023	21	64
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	08/11/2023	21	62
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	08/11/2023	21	64
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	15/11/2023	28	100
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	15/11/2023	28	97
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA	18/10/2023	15/11/2023	28	74

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

Henry Rivañeneyra Oblitas
Tec. Laboratorio
USAT



Anexo N° 28: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 15 minutos – 600°C



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	296
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	306
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	346
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	200
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	179
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	219
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	164
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	146
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	178
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	100
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	104
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 15 MINUTOS	28/10/2023	25/11/2023	28	109

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 29: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras
de concreto expuestas a fuego por 30 minutos – 750°C



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	270
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	304
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	263
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	120
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	209
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	147
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	128
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	145
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	82
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	71
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	92
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 30 MINUTOS	21/10/2023	18/11/2023	28	61

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Rivadeneira Obitas
Tec. Laboratorio
USAT




Anexo N° 30: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 1 hora – 900°C



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	209
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	240
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	105
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	133
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	223
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	87
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	86
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	123
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	90
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	77
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	65
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 1 HORA	08/11/2023	06/12/2023	28	74

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



Anexo N° 31: Ficha de ensayo de resistencia a compresión de las muestras de concreto expuestas a fuego por 2 horas – 1000°C



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Pérez Silva, César David
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Respuesta de la resistencia mecánica del concreto simple sometido a fuego incorporando vermiculita expandida
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 17 de Mayo del 2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Dias	f'c kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	155
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	133
03	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	167
04	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	58
05	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	49
06	CONCRETO 210 kg/cm ² + 5% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	49
07	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	82
08	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	61
09	CONCRETO 210 kg/cm ² + 10% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	85
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	54
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	73
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 15% DE VERMICULITA EXPANDIDA CON EXPOSICIÓN A FUEGO POR 2 HORAS	09/11/2023	07/12/2023	28	55

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.


Henry Rivadeneira Obilias
Téc. Laboratorio USAT



Panel fotográfico de resultados de resistencia a compresión

Anexo N° 32: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto patrón según sus edades

- 3 días:



- 7 días:



- 14 días



▪ 21 días



▪ 28 días:



Anexo N° 33: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto con 5% de adición de vermiculita expandida

▪ 3 días:



▪ 7 días:



▪ 14 días:



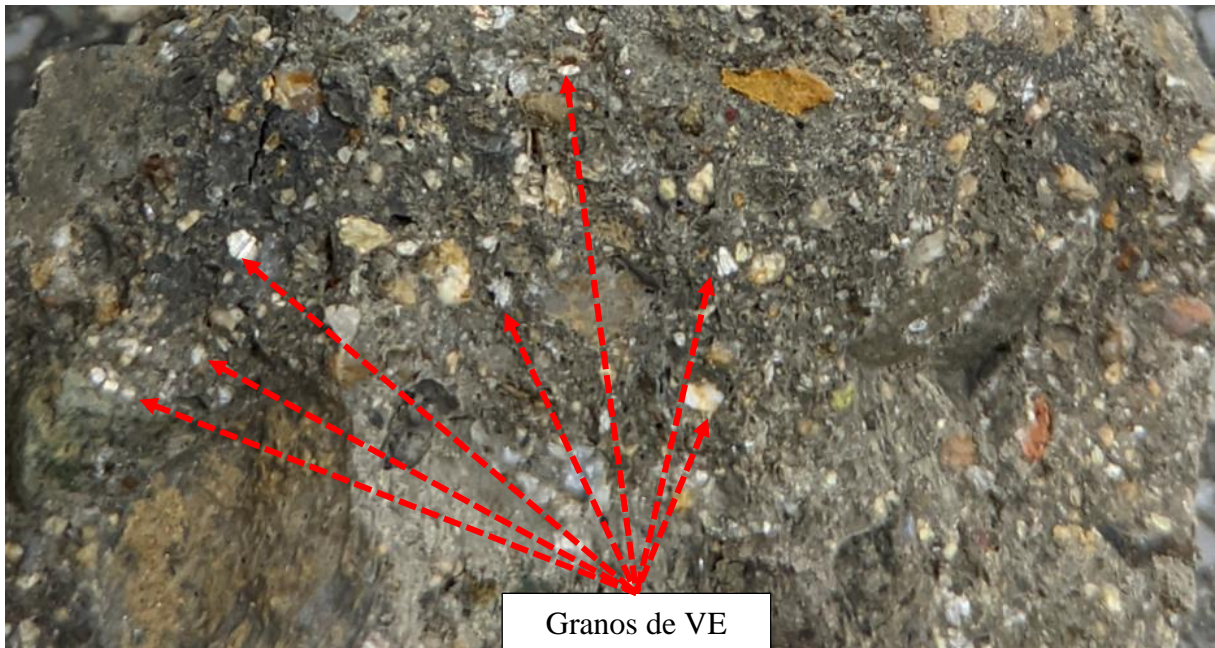
▪ 21 días



▪ 28 días:



Anexo N° 34: Panel fotográfico de la estructura del concreto con 5% de adición de vermiculita expandida



Anexo N° 35: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto con 10% de adición de vermiculita expandida

▪ 3 días:



▪ 7 días:



▪ 14 días



- 21 días



- 28 días:



Anexo N° 36: Panel fotográfico de la estructura del concreto con 10% de adición de vermiculita expandida



Anexo N° 37: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión del concreto con 15% de adición de vermiculita expandida

▪ 3 días:



▪ 7 días:



▪ 14 días



- 21 días



- 28 días:



Anexo N° 38: Estructura interna del concreto con 15% de adición de vermiculita expandida





Panel fotográfico de exposición a fuego

Anexo N° 39: Panel fotográfico de lecturas de temperatura según el tiempo de exposición

- Lecturas de exposición a fuego por 15 minutos – 600°C



- Lecturas de exposición a fuego por 30 minutos – 750°C



- Lecturas de exposición a fuego por 1 hora – 900°C



- Lecturas de exposición a fuego por 2 horas – 1000°C



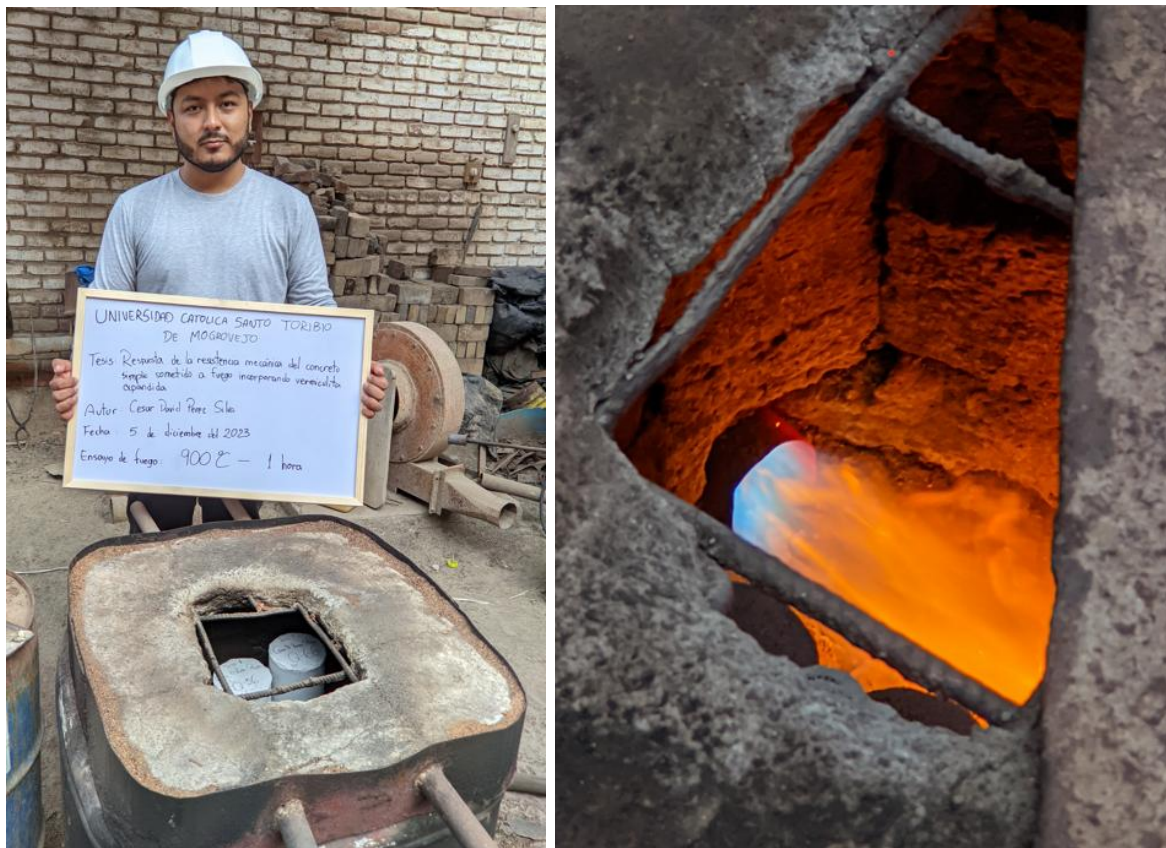
Anexo N° 40: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 15 minutos – 600°C



Anexo N° 41: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 30 minutos – 750°C



Anexo N° 42: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 1 hora – 750°C





Anexo N° 43: Panel fotográfico de uso del horno artesanal para 2 horas – 1000°C



Panel fotográfico de los resultados de resistencia a la compresión de muestras expuestas a fuego

Anexo N° 44: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 15 minutos – 600 °C

- Concreto con 0% de adición de vermiculita expandida expuesto a 15 min – 600°C:



- Concreto con 5% de adición de vermiculita expandida expuesto a 15 min – 600°C:



- Concreto con 10% de adición de vermiculita expandida expuesto a 15 min – 600°C:



- Concreto con 15% de adición de vermiculita expuesto a 15 min – 600°C:



Anexo N° 45: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 30 minutos – 750 °C

- Concreto con 0% de adición de vermiculita expuesta a 30 min – 750°C:



- Concreto con 5% de adición de vermiculita expuesta a 30 min – 750°C:



- Concreto con 10% de adición de vermiculita expuesta a 30 min – 750°C:



- Concreto con 15% de adición de vermiculita expuesto a 30 min – 750°C:



Anexo N° 46: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 1 hora – 900 °C

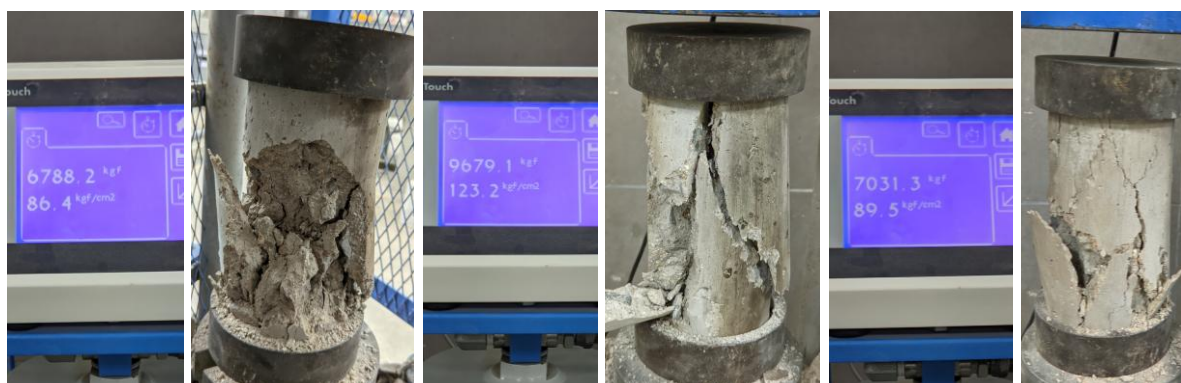
- Concreto con 0% de adición de vermiculita expandida expuesto a 1 hora – 900°C:



- Concreto con 5% de adición de vermiculita expandida expuesto a 1 hora – 900°C:



- Concreto con 10% de adición de vermiculita expandida expuesto a 1 hora – 900°C:



- Concreto con 15% de adición de vermiculita expuesto a 1 hora – 900°C:



Anexo N° 47: Panel fotográfico de resultados de ensayo de resistencia a compresión y sus respectivas fallas del concreto expuesto a fuego por 2 horas – 1000 °C

- Concreto con 0% de adición de vermiculita expandida expuesto a 2 horas – 1000°C:



- Concreto con 5% de adición de vermiculita expandida expuesto a 2 horas – 1000°C:



- Concreto con 10% de adición de vermiculita expandida expuesto a 2 horas – 1000°C:



- Concreto con 15% de adición de vermiculita expuesto a 2 horas – 1000°C:



Panel de costos

Anexo N° 48: Precio de mano de obra según Revista Costos

**COSTO DE HORA HOMBRE EN OBRAS DE EDIFICACIÓN
(VIGENTE AL 1 DE ENERO DEL 2025)**

ITEM	CONCEPTOS	CATEGORÍA		
		OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
1.00	REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (RB) (vigente del 01.06.2024 al 31.05.2025)	86.80	68.10	61.30
2.00	BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (BUC) (vigente del 01.06.2024 al 31.05.2025)	27.78	20.43	18.39
3.00	LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB (115.19%)	99.98	78.44	70.61
4.00	LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC (12.00%)	3.33	2.45	2.21
5.00	FONDO DE CAPACITACIÓN (CAPECO-FTCCP)	0.20	0.20	0.20
6.00	BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD	8.60	8.60	8.60
7.00	OVEROL (2 und. anuales)	0.44	0.44	0.44
	COSTO DÍA HOMBRE (DH)	227.13	178.66	161.75
	COSTO HORA HOMBRE (HH)	28.39	22.33	20.22

Fuente: Suplemento Técnico de la Revista Costos (Ed. 334.1 – Febrero 2025), sección 03, pág. 33.

Anexo N° 49: Precio de maquinaria según Revista Costos

EQUIPO	POT. (HP)	CAPAC.	PESO (KG)	COSTO POSES. S/	COSTO OPER. S/	TARIFA HORA S/	OBS
VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	18 PL(1.25")		2.14	5.20	7.34	(*)
VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	18 PL(1.50")		2.20	5.24	7.44	(*)
VIBRADOR DE CONCRETO	4 HP	18 PL(2.40")		2.34	5.33	7.67	(*)
MEZCLADORA CONCRETO T. TROMPO	8 HP	9 P3	500	2.58	1.91	4.49	(**)
MEZCLADORA DE CONCRETO	18 HP	11-12p3 P3	1500	7.26	5.22	12.48	(**)
MEZCLADORA DE CONCRETO	20-35 HP	16 p3 P3	2700	11.93	8.51	20.44	(**)

Fuente: Suplemento Técnico de la Revista Costos (Ed. 334.1 – Febrero 2025), sección 03, pág. 35.

Anexo N° 50: Precio unitario de concreto por m³ según Revista Costos

CÓD.	PARTIDA	UND	P.U.	M.O.	MAT.	EQU.
OE.2.3.7	COLUMNAS					
OE.2.3.7.34*	CONCRETO F'C 140 KG/CM2 COLUMNA	M3	598.99	310.22	246.14	42.63
OE.2.3.7.35*	CONCRETO F'C 175 KG/CM2 COLUMNA	M3	633.32	310.22	280.47	42.63
OE.2.3.7.36*	CONCRETO F'C 210 KG/CM2 COLUMNA	M3	652.93	310.22	300.08	42.63
OE.2.3.7.37*	CONCRETO F'C 245 KG/CM2 COLUMNA	M3	709.33	310.22	356.48	42.63
OE.2.3.7.38*	CONCRETO F'C 280 KG/CM2 COLUMNA	M3	746.11	310.22	393.26	42.63
OE.2.3.7.55*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 175 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	325.04	51.41	270.11	3.52
OE.2.3.7.56*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 210 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	330.14	51.41	275.21	3.52
OE.2.3.7.57*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 245 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	341.36	51.41	286.43	3.52
OE.2.3.7.58*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 280 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	352.58	51.41	297.65	3.52
OE.2.3.7.59*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 315 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	368.90	51.41	313.97	3.52
OE.2.3.7.60*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 350 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	386.75	51.41	331.82	3.52
OE.2.3.7.61*	CONCRETO PREMEZCLADO F'C 420 KG/CM2 - COLUMNAS	M3	405.62	51.41	350.69	3.52
OE.2.3.7.81*	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL COLUMNA	M2	72.60	43.30	27.13	2.17
OE.2.3.7.82*	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA COLUMNA	M2	96.11	66.09	26.72	3.30

Fuente: Suplemento Técnico de la Revista Costos (Ed. 334.1 – Febrero 2025), sección 01, pág. 06.