



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL ADITIVO ESPUMANTE Y  
MICROSÍLICE SOBRE EL PESO UNITARIO Y  
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO  
PARA LA OBTENCIÓN DE CONCRETO LIGERO  
ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Victor Manuel Vasquez Valverde

Asesor:

Ing. Sheyla Cornejo Rodríguez

Trujillo - Perú

2021

## DEDICATORIA

*A Dios, por la inmensa bondad de bendecirme con vida y salud, por darme fuerza y fe para cumplir mis metas.*

*A mi madre, Magda Liliana Valverde Revoredo, por su demostración de amor y afecto en todo momento de mi vida, por su sabiduría y hacer que día a día sea una mejor persona.*

*A mi tía Mirian Valverde Revoredo, por su incondicional apoyo en todas las etapas de mi vida, por sus consejos y cumplir la meta de verme profesional.*

*A Julio Valverde y María Revoredo, por haberme inculcado valores y ser los pilares fundamentales de mi formación personal y profesional. Desde donde se encuentren sé que están orgullosos por cada logro que obtengo.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mis docentes de la universidad, de la facultad de ingeniería civil, por haber compartido sus enseñanzas de la mejor manera a través de mi formación profesional, demostrando respeto y soporte y hacerme sentir orgulloso de haber formado parte de la casa de estudios.*

*A mi asesor, Ing. Sheyla Cornejo Rodríguez por sus enseñanzas y apoyo para realizar el desarrollo de mi tesis, demostrando responsabilidad en todo momento.*

*Al Ing. Wiston Azañedo Medina, por su guía, apoyo y enseñanzas demostrados en toda mi formación profesional.*

*Al Ing. Diego Lavado Salazar por permitirme ser parte de su equipo de trabajo y brindarme la posibilidad de desarrollar mis capacidades como profesional.*

*A mis compañeros y amigos Alex Torres y Jeffrey Rodríguez, por los conocimientos compartidos, su apoyo y amistad sincera.*

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.1.1. Antecedentes.....	17
1.1.2. Definiciones Conceptuales .....	22
1.2. Formulación del problema .....	42
1.3. Objetivos .....	42
1.3.1. Objetivo general.....	42
1.3.2. Objetivos específicos.....	42
1.4. Hipótesis .....	43
1.4.1. Hipótesis general.....	43
1.4.2. Hipótesis específicas.....	43
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
2.1. Tipo de investigación .....	45
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos) .....	45
2.2.1. Población.....	45
2.2.2. Muestra.....	45
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	49
2.3.1. Técnica .....	49
2.3.2. Instrumentos.....	49
2.3.3. Instrumentos de análisis de datos.....	49
2.4. Procedimiento .....	50
2.4.1. Caracterización de Agregados .....	52
2.4.2. Propiedades Físicas y ensayo de Materiales.....	52
2.4.3. Agregado Fino .....	52
2.4.4. Agregado Grueso .....	53
2.4.5. Diseño de mezcla .....	64
2.4.6. Ensayos del Concreto en estado fresco.....	70
2.4.7. Ensayo de Concreto en estado endurecido.....	82
2.4.8. Análisis de Resultados .....	84
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
3.1. Propiedades físicas del agregado fino.....	85
3.2. Propiedades físicas del agregado grueso .....	86

3.3.	Diseños de mezcla.....	88
3.4.	Determinación del peso unitario de las mezclas según NTP 339.046 .....	90
3.5.	Determinación del Asentamiento, Temperatura y Contenido de aire.....	91
3.6.	Determinación de resistencia a la compresión de probetas de concreto.....	91
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>		<b>97</b>
4.1.	DISCUSIÓN .....	97
4.1.1.	<i>Caracterización de Agregados .....</i>	<i>97</i>
4.1.2.	<i>Diseño de mezclas de la investigación.....</i>	<i>99</i>
4.1.3.	<i>Efecto de los aditivos en el asentamiento del concreto .....</i>	<i>100</i>
4.1.4.	<i>Influencia de los aditivos sobre el Peso Unitario del concreto. ....</i>	<i>102</i>
4.1.5.	<i>Influencia de los aditivos en la resistencia a compresión.....</i>	<i>106</i>
4.1.6.	<i>Análisis de concretos que cumplen con la propiedad ligero – estructural .....</i>	<i>113</i>
4.1.7.	<i>Análisis de costos .....</i>	<i>114</i>
4.1.8.	<i>Análisis de datos.....</i>	<i>117</i>
4.1.9.	<i>Limitaciones.....</i>	<i>120</i>
4.2.	Conclusiones.....	121
4.3.	Recomendaciones .....	124
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>126</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>129</b>
<b>Anexo 01: Caracterización de agregados.....</b>		<b>129</b>
<b>Anexo 02: Fichas técnicas de los aditivos .....</b>		<b>134</b>
<b>Anexo 04: Guía de observación 01, resultados de las propiedades del concreto en estado fresco.....</b>		<b>139</b>
<b>Anexo 04: Resultados de la resistencia a la compresión a 28 días.....</b>		<b>152</b>
<b>Anexo 05: Certificado de calibración de equipos.....</b>		<b>159</b>
<b>Anexo 06: Análisis estadístico.....</b>		<b>162</b>
<b>Anexo 06: Panel fotográfico.....</b>		<b>172</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Límites de Composición para Cemento Portland (Tipo 1) .....	23
<b>Tabla N° 2:</b> Clasificación de los Agregados según su Masa Unitaria .....	27
<b>Tabla N° 3:</b> Clasificación de los Áridos según la Dimensión de sus Partículas .....	28
<b>Tabla N° 4:</b> Clase de mezcla según su Asentamiento.....	38
<b>Tabla N° 5:</b> Hipótesis Específica 01 .....	43
<b>Tabla N° 6:</b> Hipótesis Específica 02.....	44
<b>Tabla N° 7:</b> Valores de Distribución Normal .....	46
<b>Tabla N° 8:</b> Coeficiente de Variación .....	46
<b>Tabla N° 9:</b> Calculo de la desviación estándar .....	48
<b>Tabla N° 10:</b> Número de Ensayos por grupo.....	48
<b>Tabla N° 11:</b> Medida mínima de las muestras.....	52
<b>Tabla N° 12:</b> Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.....	54
<b>Tabla N° 13:</b> Tabla granulométrica de agregado Grueso .....	55
<b>Tabla N° 14:</b> Tabla granulométrica de agregado Fino.....	55
<b>Tabla N° 15:</b> Tamaño de la muestra del agregado.....	56
<b>Tabla N° 16:</b> Tabla para contenido de humedad de los Agregado Grueso .....	57
<b>Tabla N° 17:</b> Tabla para contenido de humedad de los Agregado Fino .....	57
<b>Tabla N° 18:</b> Tabla de cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.....	59
<b>Tabla N° 19:</b> Tabla de muestra mínima de Agregado Grueso.....	60
<b>Tabla N° 20:</b> Tabla de cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso .....	62
<b>Tabla N° 21:</b> Densidad del agua según su temperatura .....	63
<b>Tabla N° 22:</b> Selección de la resistencia promedio requerida .....	65
<b>Tabla N° 23:</b> Asentamientos recomendados.....	65
<b>Tabla N° 24:</b> Contenido de aire atrapado .....	65
<b>Tabla N° 25:</b> Cantidad de agua de mezcla.....	66
<b>Tabla N° 26:</b> Relación agua/cemento de la mezcla de concreto.....	66
<b>Tabla N° 27:</b> “Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto”.....	67
<b>Tabla N° 28:</b> Volúmenes absolutos .....	68
<b>Tabla N° 29:</b> “Número de capas requerida por espécimen” .....	72
<b>Tabla N° 30 :</b> “Diámetro de varilla y número de varillados a ser usados al moldear especímenes de prueba” .....	72
<b>Tabla N° 31:</b> “Capacidad de los recipientes de medición” .....	77
<b>Tabla N° 32:</b> Clasificación del Concreto según su densidad .....	79
<b>Tabla N° 33:</b> Edades de ensayo y tolerancias permisibles .....	83
<b>Tabla N° 34:</b> Clasificación del concreto, según su resistencia a compresión .....	84
<b>Tabla N° 35:</b> Propiedades físicas del agregado fino. ....	85
<b>Tabla N° 36</b> Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	85
<b>Tabla N° 37:</b> Propiedades Físicas Agregado Grueso.....	86
<b>Tabla N° 38:</b> Análisis Granulométrico del Agregado Grueso .....	87
<b>Tabla N° 39:</b> Proporción de materiales para concreto patrón .....	88
<b>Tabla N° 40:</b> Diseño de mezcla para cada proporción de aditivo espumante y microsílíce .....	89
<b>Tabla N° 41:</b> Proporción de materiales para volumen requerido (0.028m <sup>3</sup> ).....	89
<b>Tabla N° 42:</b> Peso Unitario de todas mezclas y dosificaciones de concreto elaboradas.....	90
<b>Tabla N° 43:</b> Asentamiento, Temperatura y Contenido de Aire de las mezclas evaluadas .....	91
<b>Tabla N° 44:</b> Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M <sup>3</sup> a 7 días .....	92
<b>Tabla N° 45:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M <sup>3</sup> de aditivo espumante a 7 días.....	92
<b>Tabla N° 46:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M <sup>3</sup> de aditivo espumante a 7 días.....	93
<b>Tabla N° 47:</b> Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M <sup>3</sup> a 14 días .....	93
<b>Tabla N° 48:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M <sup>3</sup> de aditivo espumante a 14 días.....	94
<b>Tabla N° 49:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M <sup>3</sup> de aditivo espumante a 14 días.....	94

<b>Tabla N° 50:</b> Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M3 a 28 días .....	95
<b>Tabla N° 51:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M3 de aditivo espumante a 28 días.....	95
<b>Tabla N° 52:</b> Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M3 de aditivo espumante a 14 días.....	96
<b>Tabla N° 53:</b> Peso unitario del concreto convencional y ligero .....	104
<b>Tabla N° 54:</b> Peso Unitario del concreto convencional y con perlas de poliestireno (kg/m3) .....	104
<b>Tabla N° 55:</b> % De disminución del concreto con perlas de poliestireno .....	106
<b>Tabla N° 56:</b> Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 1L/m3 de aditivo espumante.....	107
<b>Tabla N° 57:</b> Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 2L/m3 de aditivo espumante.....	109
<b>Tabla N° 58:</b> Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 2L/m3 de aditivo espumante.....	110
<b>Tabla N° 59:</b> Resistencia a la compresión promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno .....	112
<b>Tabla N° 60:</b> Porcentajes de disminución de resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón. 113	113
<b>Tabla N° 61:</b> Análisis de costos para el concreto convencional (CP).....	114
<b>Tabla N° 62:</b> Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL2-F7.5.....	115
<b>Tabla N° 63:</b> Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL3-F7.5.....	116
<b>Tabla N° 64:</b> Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL3-F10.....	116
<b>Tabla N° 65:</b> Análisis de varianza para resistencia a la compresión .....	118
En la tabla 66 se presenta el resultado Anova para la variable dependiente peso unitario del concreto.....	119
<b>Tabla N° 66:</b> Análisis de varianza para peso unitario.....	119
<b>Tabla N° 67:</b> % de humedad agregado fino.....	129
<b>Tabla N° 68:</b> Peso unitario del agregado fino.....	129
<b>Tabla N° 69:</b> Peso específico y absorción del agregado fino .....	130
<b>Tabla N° 70:</b> Análisis granulométrico del agregado fino .....	130
<b>Tabla N° 71:</b> % de humedad del agregado grueso.....	131
<b>Tabla N° 72:</b> Peso unitario del agregado grueso .....	132
<b>Tabla N° 73:</b> Peso específico y absorción del agregado grueso .....	132
<b>Tabla N° 74:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.....	133
<b>Tabla N° 75:</b> Análisis granulométrico del agregado grueso.....	133
<b>Tabla N° 76:</b> Tabla de Fisher para cálculo de F teórico con nivel de significancia de 0.05 .....	163
<b>Tabla N° 77:</b> Resultados de las resistencias a 28 días de los concretos adicionados.....	164
<b>Tabla N° 78:</b> Cálculo de Yj para la data de compresión del concreto .....	164
<b>Tabla N° 79:</b> Cálculo de Yi para la data de compresión del concreto .....	164
<b>Tabla N° 80:</b> Resultados de las resistencias a 28 días de los concretos adicionados.....	168
<b>Tabla N° 81:</b> Cálculo de Yj para los datos de peso unitario.....	168
<b>Tabla N° 82:</b> Cálculo de Yi para los datos de peso unitario.....	169

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Cemento tipo Ico, Pacasmayo .....	25
<b>Figura N° 2:</b> Concreto Sin Finos .....	31
<b>Figura N° 3:</b> Aditivo Espumante.....	33
<b>Figura N° 4:</b> Uso de la microsílíce en concretos de alta resistencia.....	36
<b>Figura N° 5:</b> Equipo de ensayo de asentamiento del Concreto .....	37
<b>Figura N° 6:</b> Procedimiento de Ensayo “Slump test”.....	38
<b>Figura N° 7:</b> Procedimiento de recolección de datos. ....	51
<b>Figura N° 8:</b> Especificaciones del molde para el ensayo de asentamiento (slump) .....	76
<b>Figura N° 9:</b> Medidor de Aire tipo b con cámara vertical de aire .....	80
<b>Figura N° 10:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	86
<b>Figura N° 11:</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	88
<b>Figura N° 12:</b> Peso específico de los agregados.....	98
<b>Figura N° 13:</b> Porcentaje de absorción de los agregados .....	98
<b>Figura N° 14:</b> Porcentaje de absorción de los agregados .....	99
<b>Figura N° 15:</b> Asentamiento de mezclas de concreto.....	101
<b>Figura N° 16:</b> Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsílíce en la dosificación de 2 L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante.....	102
<b>Figura N° 17:</b> Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsílíce en la dosificación de 2 L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante.....	102
<b>Figura N° 18:</b> Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsílíce en la dosificación de 3 L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante.....	103
<b>Figura N° 19:</b> Peso Unitario promedio de concreto con perlas de poliestireno.....	105
<b>Figura N° 20:</b> Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 1L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante .	107
<b>Figura N° 21:</b> Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 2L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante .	108
<b>Figura N° 22:</b> Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 3L/m <sup>3</sup> de aditivo espumante .	109
<b>Figura N° 23:</b> Resistencia a la compresión a 28 días de todas las proporciones de mezcla estudiadas.....	111
<b>Figura N° 24:</b> Resistencia a la compresión a los 28 días de curado .....	112
<b>Figura N° 25:</b> Resistencia a la compresión a los 28 días de curado .....	113
<b>Figura N° 26:</b> Costos por m <sup>3</sup> de concreto patrón comparado con diseños de concreto ligero estructural....	117
<b>Figura N° 27:</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	131
<b>Figura N° 28:</b> Ficha técnica de aditivo espumante Sikaligthcrete-1 .....	134
<b>Figura N° 29:</b> Ficha técnica de aditivo espumante Sikaligthcrete-2 .....	135
<b>Figura N° 30:</b> Ficha técnica de aditivo Sikafume – microsílíce - 1 .....	136
<b>Figura N° 31:</b> Ficha técnica de aditivo Sikafume – microsílíce - 2.....	137
<b>Figura N° 32:</b> Verificación del asentamiento del concreto .....	172
<b>Figura N° 33:</b> Varillado del recipiente para el ensayo de peso unitario .....	172
<b>Figura N° 34:</b> Comprobación y registro del Peso Unitario .....	173
<b>Figura N° 35:</b> Elaboración de probetas de concreto.....	173
<b>Figura N° 36:</b> Desmoldado y codificación de los testigos de concreto .....	174
<b>Figura N° 37:</b> Enrasado final para el ensayo de Peso Unitario y % de aire .....	174
<b>Figura N° 38:</b> Curado de las probetas de concreto.....	175
<b>Figura N° 39:</b> Ensayo de resistencia a la compresión .....	175
<b>Figura N° 40:</b> Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL3-F10 a los 28 días de curado.....	176
<b>Figura N° 41:</b> Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL3-F7.5 a los 28 días de curado.....	176
<b>Figura N° 42:</b> Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL2-F7.5 a los 28 días de curado.....	176



## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación N° 1:</b> Desviación Estándar general .....	41
<b>Ecuación N° 2:</b> Coeficiente de Variación.....	41
<b>Ecuación N° 3:</b> Tamaño de la Muestra Normalizada. ....	46
<b>Ecuación N° 4:</b> Desviación Estándar.....	48
<b>Ecuación N° 5:</b> Contenido de Humedad de la muestra.....	56
<b>Ecuación N° 6:</b> Densidad relativa seca del agregado fino .....	59
<b>Ecuación N° 7:</b> Densidad relativa superficialmente seca del agregado fino .....	59
<b>Ecuación N° 8:</b> Densidad relativa aparente del agregado fino .....	59
<b>Ecuación N° 9:</b> Porcentaje de absorción del agregado fino.....	59
<b>Ecuación N° 10:</b> Densidad relativa seca del agregado grueso.....	61
<b>Ecuación N° 11:</b> Densidad superficialmente seca del agregado grueso .....	61
<b>Ecuación N° 12:</b> Densidad relativa aparente del agregado grueso .....	61
<b>Ecuación N° 13:</b> Porcentaje de absorción del agregado grueso.....	61
<b>Ecuación N° 14:</b> Densidad de masa por volumen .....	63
<b>Ecuación N° 15:</b> Densidad de masa por factor de recipiente.....	63
<b>Ecuación N° 16:</b> Volumen del recipiente .....	64
<b>Ecuación N° 17:</b> Factor de recipiente para 1m <sup>3</sup> .....	64
<b>Ecuación N° 18:</b> Cantidad de cemento.....	67
<b>Ecuación N° 19:</b> Relación del peso seco compacto por 1m <sup>3</sup> de concreto .....	67
<b>Ecuación N° 20:</b> Peso del agregado grueso para 1m <sup>3</sup> de concreto.....	67
<b>Ecuación N° 21:</b> Peso del agregado fino para 1m <sup>3</sup> de concreto.....	68
<b>Ecuación N° 22:</b> Cálculo del peso corregido por humedad de los agregados. ....	68
<b>Ecuación N° 23:</b> Contribución de agua para agregado grueso .....	68
<b>Ecuación N° 24:</b> Contribución de agua para agregado fino .....	69
<b>Ecuación N° 25:</b> Agua efectiva a usar en la mezcla .....	69
<b>Ecuación N° 26:</b> Densidad o Peso Unitario de mezclas de concreto.....	79
<b>Ecuación N° 27:</b> Resistencia a la compresión simple del concreto .....	84

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia del agente espumante y microsíllice sobre el peso unitario y resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

Para la ejecución de la investigación se seleccionó y se evaluó las propiedades de los agregados convencionales para la fabricación de concreto, provenientes de la cantera: "Quebrada El León", ubicada en el sector Milagro, distrito de Huanchaco – Trujillo. Posteriormente, la elaboración del diseño de mezclas se basó en el método del comité ACI-211, luego se incorporó las dosificaciones de aditivo espumante en 1 L/m<sup>3</sup>, 2 L/m<sup>3</sup> y 3 L/m<sup>3</sup>; para luego añadir los porcentajes de microsíllice en 0%, 5%, 7.5% y 10%, para cada cantidad de agente espumante mencionado.

Se pudo comprobar que los aditivos influyen significativamente en el peso unitario y resistencia a la compresión, el aditivo espumante reduce notablemente el peso unitario en el concreto hasta un 30%, pero afecta adversamente a su resistencia; por su parte, la adición de microsíllice aumenta tanto la resistencia, como el peso del concreto al obtener una resistencia máxima de 351 kg/m<sup>3</sup>.

Según la metodología empleada y la interacción de los aditivos, se obtuvo concretos con la propiedad ligero estructural, dichos concretos obtienen un peso unitario de 2002 kg/m<sup>3</sup>, 2116 kg/m<sup>3</sup> y 2181 kg/m<sup>3</sup>, con resistencias de 191 kg/cm<sup>2</sup>, 301 kg/cm<sup>2</sup> y 272 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

La optimización de materiales dentro de la construcción es un factor fundamental para que un país tenga mayor desarrollo económico; por tal motivo, surgen investigaciones implantando nuevas tecnologías para la industria. El concreto representa una solución eficiente que va a coadyuvar a que las edificaciones tengan mejores procesos y mayor vida útil, su importancia está constituida en su adaptabilidad con formación de nuevos conocimientos que mejoran su desempeño, uso y aplicaciones; ahora mismo, el concreto es el material con más demanda en la construcción con una producción de 13,000 millones de metros cúbicos por año a nivel mundial. (Arana, 2016).

En México se encuentran estudios que evalúan las características del concreto (flexión y compresión) empleando fibras de polipropileno, en donde están determinadas por el contenido polipropileno en fibra, con respecto al volumen total de mezcla. En cuanto a la flexión con el contenido elevado de fibra, se incrementa su resistencia; no obstante, a un contenido de 0.5% de fibra, en el peso volumétrico, aumenta la resistencia de compresión hasta un 25%. (Mendoza, Aire, & Dávila, 2011).

En investigaciones del estado de Panamá se considera que las condiciones de un concreto óptimo dependen de sus propiedades y durabilidad, es así, que se ha investigado enfáticamente en ello para obtener mejorías en las propiedades del concreto (peso unitario y resistencia), al implementar adiciones en la masa de concreto para obtener como resultado una mayor capacidad resistente a la deformación; de tal forma, la implementación de fibras metálicas, es considerada como una alternativa de solución para ganar capacidad deformable en soportes sujetos a mayores esfuerzos. (Caballero, 2017).

En Colombia, los recientes estudios para elaborar concretos mejorados se basan en la adición de material puzolánico y al reforzar el concreto con fibras en donde se busca una

mayor eficiencia al compararlo con un concreto elaborado de manera convencional. Para este caso, se experimentó la influencia de agregar la cantidad reducida de 0.7% de fibra de acero y reemplazando la cantidad de cemento con 20% de cascarilla de arroz; por consecuencia, Robayo afirma que dicha incorporación aumentó en 12% en el módulo de elasticidad, la tenacidad en 106% y la resistencia a la tensión en 42% y. (R. Robayo, 2013).

En el Perú surgen estudios con el propósito de brindar una mejor calidad a las propiedades del concreto en cuanto a su eficiencia y en su durabilidad, en Lima se ensayó el aditivo plastificante Ulmen; agregando 40%, 50% y 60% de cal, con respecto al peso al material cementante; en donde se pudo verificar sus modificaciones con respecto a un concreto patrón. Concluyendo que el plastificante ulmen aumenta su esfuerzo a la compresión en 16.9%, 3.1% y 5.2% según las relaciones agua-cemento de 0.60, 0.65 y 0.70 respectivamente; sin embargo, los concretos con los porcentajes de cal presentan una resistencia inferior a la del patrón. (Girón, 2017).

En Trujillo, se realizó un estudio, en donde se busca verificar los cambios de un concreto convencional en materia de sus propiedades, al agregar un determinado contenido de concreto reciclado como agregado. Se elaboraron testigos en moldes de 4"x 8", para estudiar la resistencia a compresión y para definir la succión capilar; por lo tanto, el mejor desempeño que obtuvo el concreto fue al usar una relación agua-cemento de 0.65 con un 30% de agregado de concreto reutilizable, debido a que su resistencia promedio fue de 225 Kgf/cm<sup>2</sup>. (Rodrich & Silva, 2018).

En el Perú la resistencia que debe de alcanzar un concreto y su peso unitario están normados dentro del "Reglamento Nacional de Edificaciones" (RNE), en el apéndice E 060 "Concreto Armado"; la normativa brinda las condiciones mínimas desde la

identificación de la calidad de materiales, hasta diseños de concreto para diversas estructuras según la necesidad.

Carrillo & López (2015) en su trabajo experimental, pudo generar un concreto ligero estructural con un peso específico o densidad de 1,933.24 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario de 1,892.32 kg/m<sup>3</sup>; además, la resistencia promedio de compresión que registró fue 285.5 kg/cm<sup>2</sup>, determinada con el uso de correcciones desde 182 kg/cm<sup>2</sup>. Para tal finalidad, se añade un 21.70% de cemento más, en contraste con el concreto elaborado convencionalmente. No obstante, cabe señalar que los resultados mostrados fueron producto de reemplazar el agregado grueso por desperdicio de la ladrillera de arcilla Santa al 100% (Carrillo & López, 2015).

Ibañez, (2005) en su investigación, obtuvo un concreto ligero que logró alcanzar resistencias a la compresión entre los 200 y 230 kg/cm<sup>2</sup>, el cual por dicha propiedad puede ser aprovechado para fines estructurales; el diseño para la elaboración del estudio tuvo el criterio de usar agregados pumíticos, alcanzando así un concreto ligero. Sin embargo, se puede verificar con el método tradicional que el módulo de elasticidad del concreto ligero con agregados pumíticos resulta ser mucho menor, es por ello que el autor concluye que dichas fórmulas tradicionales no aplican para el concreto del estudio.

Quesada, (2014) en su estudio encontró que la incorporación de materiales de baja densidad es la manera más eficiente para aligerar el peso del concreto, al compararlo con concretos que se le inducen altos contenidos de aire, por lo que afecta a su resistencia a la compresión. Para la mezcla espumante con aditivo que genera de aire y con poliestireno expandido se obtuvo 765 kg/m<sup>3</sup> como densidad, con un  $f'c = 1.60$  Mpa, con 45% de aire, el cual presenta las cualidades de un concreto liviano no estructural; por otro lado se generó un concreto con un peso volumétrico de 1581 kg/m<sup>3</sup> y un  $f'c = 16.10$  Mpa con 6.5% de aire incluido y finalmente, se determinó una mezcla ligera estructural con peso

por metro cúbico de 2042 kg/m<sup>3</sup> con un  $f'c = 35.20$  Mpa y 4.6% de aire incluido sin uso de poliestireno expandido.

Según las investigaciones las cuales determinan que es posible aminorar el peso del concreto mediante agentes que incorporen aire, con el uso de materiales no densos, al reemplazar el agregado grueso, entre otros. No obstante, la propiedad resistencia del concreto es proporcional a su densidad, pero se pueden ejecutar mezclas ligeras con una resistencia estructural; es decir, que un concreto ligero puede ser proyectado en obras con requerimientos de peso ligero y con resistencia estructural.

La empresa UNICON presenta dentro de sus productos y servicios: "Concreto Liviano UNICON", es un concreto ligero con densidad plástica de 1900 kg/m<sup>3</sup> en donde la resistencia se proyecta a 28 días, basado en su peso específico. Por otro lado, UNICON ha ejecutado con mencionado material las siguientes obras: "Cobertura de techo en aeropuerto Jorge Chávez (Callao) y el revestimiento de tubería de planta criogénica en la Planta de Licuefacción de Gas natural Pampa Melchorita - Perú LNG, (Cañete)". (Unicon, 2020)

La Empresa Cemex México presenta el concreto ligero "Insularis" como una opción a los requerimientos en donde es necesario aligerar cargas muertas y tener una mejor respuesta térmica, Insularis es una tecnología que es aplicable a capas de nivelación de piso y losa, muros y losas de viviendas, elementos divisorios, bloques y viguetas pre fabricados. Además, los requerimientos pueden basarse en sus propiedades; en estado fresco, se puede incluir concretos con una consistencia de 10cm a 24 cm, con una masa unitaria entre los 1 400.00 y 1 900.00 Kg/m<sup>3</sup>, el cual tiene la capacidad de pasar de un estado plástico a un estado donde empieza a endurecer de 2 horas a 16 horas. Finalmente, Insularis presenta concretos ligeros con resistencias a 28 días en el rango de 100 kg/cm<sup>2</sup> a 200 kg/cm<sup>2</sup>, como una característica en estado endurecido.

Las propiedades del concreto en la actualidad se encuentran establecidas y deben de cumplir con las especificaciones de las normativas en el mundo de la construcción, es por ello que el problema en la investigación abarca la búsqueda de la innovación en cuanto a la diversidad del concreto.

El peso del concreto que usualmente es utilizado en las obras civiles está entre los 2400 kg/m<sup>3</sup>; esto genera, que en zonas con alto grado de sismicidad los elementos estructurales se sobredimensionen y por ende el peso global de la estructura en definitivo sea mayor, ocasionando que ante un suceso sísmico el elevado peso estructural produzca fuerzas inerciales mayores (Veliz & Vásquez, 2018).

En consecuencia, el concreto ligero estructural busca obtener una densidad mucho menor, pero sin tener que comprometer a las sollicitaciones de resistencia, generando un coeficiente de resistencia-peso más útil en los elementos estructurales; siendo así, que el uso primordial del concreto celular es reducir la carga muerta de la armadura hecha en concreto, lo que conlleva a que los elementos como columnas, zapatas y elementos de soporte tengan menores dimensiones.

El costo unitario de un concreto liviano o ligero respecto a un concreto patrón es un tanto superior debido a las consideraciones en agregados y/o aditivos para cualquier tipo de requerimiento; no obstante, este costo marginal se ve retribuido generalmente en la reducción de las secciones de los elementos estructurales, disminuyendo el volumen de concreto y la cantidad de refuerzo.

El concreto liviano que es requerido para un desempeño estructural en edificaciones, tiende a ser eficiente tanto en durabilidad como en sus propiedades mecánicas; la porosidad dentro de sus agregados permite que se forme un mecanismo de curado interno del concreto, proporcionando un incremento progresivo de su resistencia y durabilidad en

el tiempo; sin embargo, siempre es necesario efectuar el curado externo tradicional del concreto para edades tempranas.

Entre otras ventajas, el concreto liviano también tiene la capacidad de ser un material con mayor aislamiento térmico, eléctrico y acústico. De tal manera, suministra una importante calificación de resistencia al fuego y se ve favorecido en aspectos de conservación de energía (NRMCA).

Las nuevas tecnologías en el concreto aumentan cada día más según las necesidades constructivas; una de las alternativas se basa en el estudio y el uso de productos químicos, comúnmente llamados aditivos para el concreto, los cuales nos permiten controlar las propiedades del concreto para alcanzar un mejor desempeño físico-mecánico según la utilidad requerida.

El propósito de la investigación busca establecer la influencia del aditivo espumante y microsílize sobre el peso unitario y compresión de un concreto, para obtener un concreto ligero con capacidad estructural; el concreto ligero es obtenido al añadir aditivo espumante en una mezcla de concreto convencional. Inicialmente se incorporará aditivo espumante con la finalidad de generar una masa espumosa dentro de la mezcla dando lugar a una densidad mucho menor, su aplicación está fijada con el agua y el tiempo de mezclado para producir concretos con pesos unitarios menores; si el tiempo de mezclado es superior la densidad será menor, así mismo, la cantidad del agente utilizado en la mezcla es un factor determinante para tal fin.

Por otra parte, la microsílize o microsíliza se emplea en el concreto para aportar resistencia, reduciendo la permeabilidad; además, la microsílize adherida al concreto presenta un mejor comportamiento al ataque químico, por tanto, el concreto es más durable. En definitiva, la microsílize ayuda a mejorar las propiedades del concreto por la



acción con el hidróxido de calcio que se deriva del proceso de hidratación del cemento para así formar más silicato de calcio.

La finalidad del trabajo exploratorio es obtener una relación eficaz entre los aditivos dentro de la mezcla a fin de disminuir la densidad del concreto sin afectar de manera considerable a su resistencia. Finalmente se pretende brindar una dosificación de concreto que cumpla los requerimientos físicos y mecánicos para ser considerado como concreto ligero para uso estructural.

La investigación servirá como referencia para futuros estudios, en donde se busque la reducción de peso en el concreto, además de conservar resistencias estructurales, con el uso sugerido de los aditivos presentados, para posteriormente recomendar procedimientos a seguir para mejorar el diseño de concretos ligeros a fin de promover el uso de agentes que día a día ayudan a mejorar la calidad de los materiales.

### **1.1.1. Antecedentes**

#### **Ámbito Nacional**

##### **1.1.1.1. Título: "OBTENCIÓN DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL MEDIANTE EL USO DE ADITIVOS".**

Veliz & Vásquez (2018), busca generar diseños de concretos ligeros y estructurales de concreto, mezclando y agregando aditivos.

En el estudio la metodología empleada se basó en cinco etapas, descritas a continuación: la primera etapa se basó en la norma "técnica (NTP)" para clasificar propiedades del confitillo y arena gruesa, luego se buscó determinar el porcentaje de confitillo (agregado grueso) y porcentaje de agregado fino más apto para un concreto ligero estructural, en la tercera etapa se encontró la correlación entre la cantidad de espumante con la densidad, luego la correlación de microsílce y compresión; finalmente, de manera gráfica se obtiene el concreto con peso ligero y resistencia estructural. La presente tesis proporciona un diagrama de diseño para concreto ligero estructural, elaborado a base de la ruptura de probetas pequeñas de 4" x 8".

En tal sentido, se proporcionó concretos a base de aditivo plastificante, y espumante con resistencias medias de 573.28, 317.63 y 164.26 kg/cm<sup>2</sup> con pesos unitarios de 1994.25, 1927.55 y 1767.57 kg/m<sup>3</sup>. Del mismo modo se logró concretos con aditivo plastificante, espumante y microsíllice donde se alcanzó resistencias de 508.16, 423.86, 384.52 kg/cm<sup>2</sup> con pesos unitarios de 1924.71, 1916.79 y 1919.91 kg/m<sup>3</sup> con relaciones fijadas de a/c en 0.25, 0.30 y 0.35 respectivamente, además pudo concluir que se alcanzó el diseño de concretos ligeros de alto desempeño estructural, con resistencias que superan los 400 kg/cm<sup>2</sup>.

La tesis presentada brinda un aporte primordial a la investigación debido al comportamiento favorable del aditivo espumante para minorar de manera efectiva el peso específico de un concreto, por otro lado, la microsíllice en un contenido óptimo brinda una resistencia de compresión estructural del concreto; además, se verificó dichos concretos obtienen resultados de compresión favorables por la relación a/c considerados. Finalmente se genera un concreto ligero estructural de acuerdo a sus condiciones de estudio, en donde emplea el uso de los aditivos que son estudiados en la presente investigación.

#### **1.1.1.2. Título: "EVALUACIÓN DEL POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO SOBRE EL ASENTAMIENTO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN EN UN CONCRETO LIGERO, TRUJILLO-2017"**

Valarde (2017), se planteó analizar la adición de polvo de aluminio fundido en las propiedades físicas de asentamiento, densidad y absorción; además, analizar su influencia en la propiedad mecánica de compresión en un concreto ligero.

En la mezcla donde se añade el polvo de aluminio ya presenta la característica de ligero, donde se disminuye el peso del concreto por medio de un agente que incorpora de aire; el polvo de aluminio fue previamente seleccionado con la consideración que su tamaño de partícula pase por la malla N° 40 (0.425 mm) y se incorpora al 1.5%, 3%, 4.5% y 6% con respecto al peso del cemento considerando la adición de superplastificante al 1% del cemento comparado con las mezclas sin superplastificante. El concreto se proyectó para una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de 28 días. Se realizaron las pruebas de compresión, asentamiento, absorción y densidad, en donde el resultado más favorable fue el concreto que tuvo 1.5% de partículas de aluminio con superplastificante, al obtener un asentamiento de 4", mientras que sus propiedades en estado endurecido fue caracterizado por una compresión de 236 kg/cm<sup>2</sup>, absorción de 3.07% y densidad seca de 1765.55 kg/m<sup>3</sup>.

El autor recomienda usar el concreto con sus propiedades encontradas en viviendas unifamiliares, espacios industriales, entre otros; su uso es recomendado con 1.5% de polvo de aluminio con superplastificante para ser constituido en cualquier tipo de losa.

El presente estudio da un alcance de cómo obtener un concreto ligero patrón como base para ser evaluado y comparado con otros diseños de mezcla con la adición de aditivos. Además, muestra una correcta caracterización de agregados para su proporción de materiales en su mezcla, basado en los lineamientos basados en normas técnicas para luego estudiar las propiedades que logró el concreto como: asentamiento, absorción, densidad seca y resistencia a compresión.

### **1.1.1.3. Título: “CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO UTILIZANDO HORMIGÓN CON ADICIÓN MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA CIUDAD DE HUANCAYO.”**

García (2018), busca generar un concreto de alto desempeño en la ciudad de Huancayo, empleando hormigón como agregado, con la adición ideal de microsíllice y superplastificante.

Se hizo el diseño de proporciones en las mezclas con 4%, 6% y 8% de microsíllice, incorporando superplastificantes en 0.8%, 1.2% y 1.6%, para relaciones agua-cemento de 0.30, 0.35 y 0.40; dichas adiciones son comparadas con un concreto patrón sin adiciones para cada tipo. Posteriormente se ensayó el concreto en estado fresco y endurecido para determinar los cambios positivos producen los aditivos al concreto, en sus cantidades óptimas.

Se concluye en el diseño más eficiente de la investigación, producido a partir de una relación a/c de 0.30, con adición de microsíllice del 6% y de 1.6% de superplastificante; en donde, sus propiedades fueron mejoradas, respecto al concreto patrón, con resistencia a compresión de 793.8 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a flexión de 16.2 kg/cm<sup>2</sup>, una tracción diametral del 142.7 kg/cm<sup>2</sup>; no obstante, sus características en estado fresco presentaron asentamiento de 5 3/5", peso unitario 2425.4 kg/m<sup>3</sup>, contenido de aire de 0.7% y exudación de 0.7%.

La presente investigación brinda los parámetros necesarios en la elección de las cantidades o porcentajes para la incorporación de microsíllice dentro del diseño de mezcla. Además, ayuda a adoptar las relaciones de a/c más óptimas para ser investigadas con las cantidades del aditivo en uso y las edades del concreto a ser evaluado.

**1.1.1.4. Título: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018.”**

Chuquilín, (2018), “busca examinar si el efecto de las perlas de poliestireno ocasionan cambios en el asentamiento, peso unitario y resistencia a compresión de un concreto convencional para generar un concreto liviano estructural para ser empleado en la construcción de losas aligeradas”.

La metodología empleada está basada en reemplazar las perlas de poliestireno en porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50% respecto al agregado fino de la mezcla, a fin de producir un concreto con peso ligero con capacidades estructurales de resistencia.

El estudio determinó el impacto de las perlas de poliestireno al reemplazo de agregado fino, donde resuelve que a mayor porcentaje de perlas el peso unitario y la compresión disminuyen; aun cuando, el asentamiento va en aumento. El contenido que cumple con la denominación de ligero estructural fue el que se añadió 40% de perlas de poliestireno, presentando un asentamiento de 100mm o 4”, un peso unitario o densidad en estado fresco de 2157 kg/m<sup>3</sup> y una compresión a 28 días de 242 kg/cm<sup>2</sup>.

La tesis de Chuquilín (2018), brinda parámetros para establecer a un concreto como ligero o liviano y además cumpla con resistencias estructurales, en donde es de apoyo fundamental a la investigación porque en la investigación se busca el mismo objetivo, verificar la influencia de una variable independiente sobre el efecto que pueda producir en peso unitario y compresión de un concreto convencional.

## Ámbito Internacional

### 1.1.1.5. Título: “ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD PARA USO ESTRUCTURAL ELABORADO CON AGREGADO GRUESO PROVINIENTE DE ARCILLAS EXPANDIDAS”.

Soto (2017), indaga determinar las propiedades mecánicas de un concreto con densidad menor y con resistencia estructural, al incorporar arcilla expandida como componente grueso en la mezcla.

Se ejecutó la proporción de materiales para un total de 36 probetas, hechas en cinco mezclas exploratorias, en la primera la relación del agregado ( $\beta$ ) se varió, manteniendo el mismo peso del agregado global, en la segunda tanda o proporción se mantuvo los pesos de arena, cemento, agua y agregado grueso de manera constante y se mantuvo la cantidad del aditivo en cuanto a la primera mezcla; para la tercera dosificación de materiales se modificó la relación del agregado ( $\beta$ ) sosteniendo la misma cantidad de agregado grueso, pero modificando las cantidades de agregado fino, para los dos últimos diseños se pudo establecer un diseño con  $f'c = 135 \text{ kg/cm}^2$ . Se ensayaron todas las tandas con el objeto de obtener las densidades y resistencias de los testigos de concreto; en donde se observó en cuanto a la densidad, las muestras de cada mezcla son consideradas como concretos con la propiedad baja densidad para uso estructural, porque presentan pesos específicos dentro del rango de  $1,400.00 \text{ kg/m}^3$  y  $2,000.00 \text{ kg/m}^3$ . No obstante, la compresión crece a medida que la densidad obtiene incremento y se encuentra en función de la relación del agregado ( $\beta$ ).

El autor de la investigación recomienda contar con un factor de agregado no menor de 40%, debido que, al aumentar la cantidad de agregado fino, la compresión es favorable, a pesar de ello la cantidad de finos no debe de superar el 80% porque la densidad incrementa.

El presente estudio es de utilidad, porque ayuda a dar recomendaciones en cuanto a la proporción de agregados para producir un concreto con densidades bajas, empleando arcilla expandida en reemplazo de la grava. Nos brinda la recomendación que la densidad del concreto afecta directamente a la resistencia del concreto, por ende, es importante generar un concreto ligero para uso estructural que favorezca a ambas propiedades.

#### **1.1.1.6. Título: "HORMIGÓN LIVIANO DE ALTO DESEMPEÑO CON ARCILLA EXPANDIDA".**

Yagual & Villacís , (2015) "Elaborar hormigón liviano con arcilla expandida y definir sus propiedades".

Se realizó varios diseños de hormigón liviano para encontrar la dosificación más óptima de arcilla expandida, para ello se usó dos tipos de cemento HE y 1P. Los diseños se proyectaron con el método "ACI 211.1" y "ACI 211.2" para hormigones livianos. Se elaboró el hormigón liviano con tres dosificaciones distintas, empleando porcentajes a partir del 40% y 60% de agregado fino (arena gruesa), también se realizaron mezclas con reemplazo parcial con arcilla expandida sobre el agregado grueso. Se evaluaron los diseños con los ensayos correspondientes para comprobar el hormigón liviano con mejores propiedades mecánicas, donde se pudo encontrar diseños con densidades menores a los 1850 kg/m<sup>3</sup> y con resistencias que superan los 17 Mpa.

El concreto liviano obtenido cumple con la norma ACI 318, el cual contiene un contenido de cemento superior a 400 kg/m<sup>3</sup>, y con la dosificación del 60% de agregado fino y 40% de arcilla expandida, obteniendo un concreto liviano a partir de la arcilla expandida con una densidad menor a 1850 kg/m<sup>3</sup>.

El presente estudio aporta recomendaciones y consideraciones a seguir para obtener un diseño de un concreto con peso ligero, con cantidades adecuadas de cemento para garantizar las resistencias esperadas como estructurales. Además, nos brinda la norma "ACI 211.1" con el método "ACI 211.2" como un modelo para producir concretos con baja densidad.

### **1.1.2. Definiciones Conceptuales**

#### **1.1.2.1. Concreto**

El concreto es un conglomerado por materiales ligantes y agregados; una mezcla proporcionada previamente de "cemento portland", "agregado fino (arena)", "agregado grueso (piedra) y agua", para lograr el cumplimiento de sus propiedades proyectadas, particularmente la resistencia. (Abanto Castillo , 2009).

Al mezclar los componentes del concreto, inicialmente presenta un estado plástico y capaz de ser moldeable; pasado un tiempo, endurece y adquiere una resistencia permanente, por ello es un material muy apropiado para la construcción. (SIKA, 2018).

### 1.1.2.1.1 Componentes del Concreto

#### a) Cemento Portland

##### Definición

El cemento es un material conglomerante hidráulico que es pulverizado a un nivel de polvo fino, a través de la molienda de clinker, más la incorporación de yeso y aditivos para otras consideraciones. El cemento portland presenta propiedades de cohesión y adherencia; debido a su composición en sílice, alúmina, óxido de hierro y óxido de calcio, propiedad que le brinda una fácil unión con fragmentos minerales que lo contienen. (Niño Hernandez , 2010).

El cemento portland, es también un conglomerante hidráulico; que con una cantidad conveniente de agua, constituye una pasta que es capaz de endurecer bajo agua o en el aire. (Rivera, 2013).

##### Composición Química del Cemento Portland

Según (Rivera L., 2013), los principales componentes químicos que conforman el cemento están constituidas por cal, sílice, alúmina y hierro. En la tabla N° 01 se detalla el límite aproximado de contenido para cada materia prima que compone el cemento.

**Tabla N° 1: Límites de Composición para Cemento Portland (Tipo 1)**

<u>ÓXIDO</u>	<u>CONTENIDO</u>
CaO	60 - 67
SiO	17 - 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	03 - 08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5 - 6.0
MgO	0.1 - 4.0
Álcalis	0.2 - 1.3
SO <sub>3</sub>	01 - 03

Fuente: (Rivera, 2013),p.23

Con la finalidad de cubrir propiedades físicas y químicas ante diversas situaciones, el cemento, es fabricado en diferentes tipos, los cuales varían en su composición, el contenido de sus componentes de Clinker

### **Tipos de Cementos Portland**

#### **- Cementos Portland según ASTM C 150 y NTP 334.009**

**Cemento Tipo I:** Utilización en general en donde no se requiera propiedades específicas para otros tipos.

**Cemento Tipo II:** Cemento con una moderada resistencia a sulfatos y para utilización general.

**Cemento Tipo II (MH):** Cemento de uso general, con la propiedad que al contacto con el agua presenta un bajo calor de hidratación ideal para climas cálidos; además, presenta moderada resistencia a los sulfatos.

**Cemento Tipo III:** Cemento con una molienda mucho más fina a comparación con el cemento tipo I y diferente en su composición química, la cual hace que desarrolle resistencias a edades tempranas, como máximo en una semana.

**Cemento Tipo IV:** Cemento establecido para mantener un bajo calor de hidratación y desarrolla su resistencia a un mayor tiempo en comparación con otros cementos.

**Cemento Tipo V:** Cemento usado para estructuras de concreto que están expuestas a acciones severas de sulfatos, debido a que presenta una elevada resistencia dichos agentes.

#### **- Cemento Portland Adicionado (ASTM C595 / NTP 334.090)**

**Cemento Tipo IS:** Cemento empleado para moderada resistencia a sulfatos, retención de aire y moderado calor de hidratación.

**Cemento Tipo IP:** Es un cemento puzolánico, para construcciones sin necesidades específicas.

**Cemento Tipo I(PM):** Cemento portland mejorado, para construcciones en general.

**Cemento Tipo S:** Cemento portland de escoria.

**Cemento Tipo Ico:** Cemento obtenido por la pulverización en conjunto de Clinker portland y materias calizas hasta un 30% del peso.

En esta investigación se emplea el cemento mejorado ICO, de la empresa productora de cemento "PACASMAYO".





*Figura N° 1:* Cemento tipo Ico, Pacasmayo

**Fuente:** Cementos Pacasmayo

- **Cementos Portland Especificación de la Performance según ASTM C 1157 / NTP 334.082**

**Cemento Tipo GU:** Cemento Portland para construcciones generales. Usar cuando no se requieran propiedades especiales.

**Cemento Tipo HE:** De alta resistencia inicial.

**Cemento Tipo MS:** De moderada resistencia a los sulfatos.

**Cemento Tipo HS:** De alta resistencia a los sulfatos.

**Cemento Tipo MH:** De moderado calor de hidratación.

**Cemento Tipo LH:** De bajo calor de hidratación.

**Cemento Tipo Opción R:** De baja reactividad con agregados reactivos álcali-sílice.

**b) Agregados para el concreto.**

**i. Definición**

Según Rivera L.,(2013). Los agregados o áridos son aquellos materiales inertes, granulares, obtenidos de manera natural o de un proceso artificial, que se aglomeran con cemento portland y con agua, componiendo un todo compacto llamado concreto. (Rivera L., 2013).

**ii. Clasificación de los Agregados.**

• **Clasificación según su procedencia.**

Los agregados según su procedencia se clasifican en:

**Agregados Naturales:** son los que se originan del aprovechamiento de fuentes naturales como lo son: las arenas, piedra de río y cantos rodados obtenidos por los depósitos de arrastres pluviales o glaciares y de canteras de diversos áridos naturales. Se pueden utilizar tal como se encuentran o cambiando el tamaño de sus partículas, siempre que sea necesario y útil. Todas las partículas que forman los agregados surgen en una masa más grande que se ha dividido por procedimientos normales, como intemperismo y rozamiento, o mediante trituración mecánica realizada por el hombre, en una cantidad tan extensa que sus cualidades son dadas por la madre de roca que le dio origen. (Rivera L., 2013)

**Agregados Artificiales:** los agregados artificiales son obtenidos a través de procesos mecánicos con la finalidad de obtener una mayor o menor densidad en comparación con los agregados normales; dentro de los agregados artificiales tenemos a arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro, entre otros. Actualmente se están diseñando mezclas de concretos ligeros y ultra ligeros con áridos de baja densidad los cuales presentan forma de grano compacto, superficie bien cerrada, sin reacciones que dañen a la pasta o armadura del concreto, sin variación de volumen y resistentes a los fenómenos climatológicos. Los áridos ligeros con mayor demanda de producción están elaborados con arcilla y pizarra expandida en su mayoría. (Rivera L., 2013).

- **Clasificación según su Densidad.**

Los agregados, tanto naturales como artificiales, según su composición afectan directamente a la densidad del concreto; es necesario aptar por un tipo de agregado, el cual dependa del tipo de concreto que se requiera producir (ligero, normal o pesado). Todo obedece al total de masa por unidad de volumen y el volumen de sus aberturas. Según (Rivera L., 2013).

*Tabla N° 2: Clasificación de los Agregados según su Masa Unitaria*

TIPO DE CONCRETO	MASA UNITARIA APROX. DEL CCTO. (kg/m <sup>3</sup> )	MASA UNITARIA DEL AGREGADO (kg/m <sup>3</sup> )	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN	EJEMPLO DE AGREGADO
Ultraligero	500 - 800		Concreto para aislamiento	Piedra Pómez Ag. Ultraligero
Ligero	950 -1350 1450 - 1950	480 - 1040	Rellenos y mampostería no estructural.	Perlita Ag. Ultraligero
Normal	2250 - 2450	1300 - 1600	Concreto. Estructural y no estructural.	Agregado de río o triturado
Pesado	3000 - 5600	3400 - 7500	Concreto para proteger de radiación gamma ó X, y contrapesos	Hematita, barita, coridón, magnetita.

**Fuente:** (Rivera, 2013),p.52

- **Clasificación según su Tamaño**

Según (Rivera L., 2013), a la clasificación de los agregados según su tamaño, se le conoce como granulometría, es la forma más universal de clasificar a los áridos; la cual está dada, desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros, en su sección..

La forma más general de clasificar al material granular es en suelos gruesos y finos; los suelos finos, cuya sección de partículas van desde 4.76 mm hasta 0.074 mm, comúnmente llamado como agregado fino. Por otro lado, las secciones de partículas gruesas tienen una dimensión mayor a 4.76 mm, comúnmente llamado agregado grueso.

En la tabla N° 3 se presenta una clasificación del agregado con más detalle, según el tamaño de partícula.

**Tabla N° 3:** Clasificación de los Áridos según la Dimensión de sus Partículas

TAMAÑO EN mm.	DENOMINACIÓN COMÚN	CLASIFICACIÓN DEL AGRAGADO
< 0,002	Arcilla	Fracción muy fina
0,002 – 0,074	Limo	
0,074 – 4,76 #200 - #4	Arena	Agregado fino
4,76 – 19,1 #4 – ¾"	Gravilla	Agregado grueso
19,1 – 50,8 ¾" – 2"	Grava	
50,8 – 152,4 2" – 6"	Piedra	
> 152,4 6"	Rajón, Piedra bola	

**Fuente:** (Niño Hernandez , 2010) p.59

### c) Agua para el Concreto

El agua que tiene la particularidad en su composición química de ser calificada para el consumo humano, es también la óptima, para la producción de concreto; independientemente si ha tenido un tratamiento o no. Sin embargo, las aguas que no se obtienen de redes de acueducto o son superficiales, pueden contener impurezas orgánicas y/o inorgánicas en suspensión; para su empleo en directo en el concreto, deben de tener un tratamiento físico previo, como filtración o sedimentación. (Rivera L., 2013).

#### Agua de Mezcla

Para elaborar mezclas de concreto el agua es fundamental, debido a que hidrata al cemento; además, el agua cumple la función de hacer manejable la mezcla. La cantidad adecuada para una completa "hidratación del cemento" se encuentra entre 25% y 30 % aproximado de masa de cemento, sin embargo, con esta cantidad la mezcla no es manejable, es por ello, que para que la mezcla empiece a ser trabajable se necesita como mínimo una cantidad de 40% de la masa de cemento. (Rivera L., 2013)

#### Agua de Curado

El suministro de agua de curado es para obtener una eficiente hidratación del cemento, una vez el concreto haya fraguado. El objeto es saturar el material que

con el paso del tiempo va endureciendo hasta que los espacios saturados en la mezcla, llenen hasta un nivel deseado. El agua que es empleada para la mezcla, es apta para el curado del concreto. (Niño Hernandez , 2010).

#### d) Aditivos

El aditivo con respecto a los materiales convencionales usados para preparar concreto, son agentes y/o sustancias complementarias para mejorar la capacidad del concreto, se añade uno o más aditivos, con la finalidad de modificar alguna de sus propiedades, para un fin requerido ante una situación específica (Abanto Castillo , 2009).

#### Tipos de Aditivos Generales

- **Plastificante:** sustancia que permite mejorar la consistencia y reducir la cantidad de agua empleada en la mezcla, y así, elaborar concretos que requieran de una determinada consistencia.
- **Retardador:** aditivo cuya función es retrasar el tiempo de fraguado
- **Acelerador:** empleado para tener fraguado y resistencia inicial del concreto en menor tiempo.
- **Plastificante y retardador:** modifica y minora la consistencia en mezclas del concreto al disminuir la cantidad de agua de mezclado permitiendo que su tiempo de fraguado se retarde.
- **Plastificante y acelerador:** reduce la consistencia del concreto al disminuir la cantidad de agua de mezclado y a la vez tiene un menor tiempo de fraguado y desarrollo de resistencia.
- **Incorporadores de aire:** burbujas incorporadas en el concreto con la intención de aumentar la resistencia del concreto ante acción de heladas; el fenómeno conocido como, hielo y deshielo.
- **Adhesivos:** sirven para tener una correcta adherencia entre en concreto y el refuerzo.
- **Impermeabilizantes:** limitan el paso de agua hacia el refuerzo, para evitar su corrosión. (Abanto Castillo , 2009).

#### 1.1.2.2. Concreto Ligero.

El concreto ligero es aquel material cuya masa unitaria está por debajo de los 2,300 kg/m<sup>3</sup>. Para obtener dicha propiedad depende de su composición, puede estar integrado por agregados ligeros; obtenidos en hornos giratorios que hacen que

aumenten su volumen. Por otro lado, se puede obtener un concreto liviano al emplear técnicas para incorporar aire y generar vacíos en el concreto. (Rivera, 2013).

No obstante, se considera concreto ligero al material, cuya densidad o peso unitario está por debajo de los 2,200 kg/cm<sup>2</sup>; dicho concreto cuenta con una resistencia, dependiendo del peso del concreto. (Valarde, 2017).

#### 1.1.2.2.1 Clasificación según sus propiedades

Se clasifica en:

##### - **Concreto Ligero Estructural**

Es un concreto con la capacidad de tener una densidad de 1,850 kg/m<sup>3</sup>; además, su resistencia a compresión debe de ser superior a 175 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de curado de 28 días. El concreto con estas especificaciones presenta la ventaja de reducir la cantidad de acero en elementos estructurales, sin embargo, el costo puede elevarse por el factor producción del concreto ligero estructural. (Rivera L., 2013).

Sin embargo, los concretos que poseen entre 1,850 kg/m<sup>3</sup> hasta 2,000 kg/m<sup>3</sup>, son considerados como livianos o ligeros de alto rendimiento, comparado con un concreto de peso convencional. (Veliz & Vásquez, 2018).

Sin embargo, los concretos son considerados ligeros a los que obtienen un peso unitario o densidad en estado fresco menor a los 2,200 kg/m<sup>3</sup>, debido a que presentan un peso menor comparado con concretos convencionales. Además, son estructurales presentando una resistencia que está por encima de los 175 kg/cm<sup>2</sup> a la edad de 28 días según norma E060. (Chuquilín, 2018).

##### - **Concreto Ligero no Estructural**

El concreto ligero no estructural es aquel que tiene una resistencia menor a 175 kg/cm<sup>2</sup>, pero no menor a los 70 kg/m<sup>2</sup>. Además, su masa unitaria no es mayor que 1500 kg/m<sup>3</sup>, este tipo de concreto se emplea como aislante térmico y para techos en edificaciones.

Los concretos ligeros dependen de sus propiedades; es decir, el concreto que tiene una densidad muy reducida, produce que la propiedad de aislamiento térmico aumente de manera considerable, sin embargo, afecta a la propiedad mecánica de compresión. (Rivera L., 2013).

#### 1.1.2.2.2 Clasificación según su Producción

##### - **Concreto de agregado ligero**

En este caso los agregados livianos y/o porosos como escoria de alto horno, arcilla expansiva, pizarras expandidas, entre otros; componen y reemplazan parcial o totalmente el agregado de peso convencional para la mezcla de concreto. (Arapa, 2016).

##### - **Concreto sin finos**

Este tipo de concreto es generado a partir de retirar parcial o totalmente los áridos finos y con la disminución de la cantidad de cemento. Este concreto tiene la particularidad por su capacidad mecánica, busca que la pasta de cemento cubra y conecte conjuntamente a los gruesos, al sustituir los espacios que normalmente son ocupados por la arena.



*Figura N° 2:* Concreto Sin Finos  
Fuente: Martínez, R. (2011)

##### - **Concreto Celular**

Para tener un concreto celular se induce aire mediante burbujas en su interior, de tal manera, se produce una estructura celular interna. La producción de concreto celular esta dado mediante los siguientes métodos: método químico, y el método espumado.

Las burbujas de aire dentro del concreto se añaden como una espuma o con el uso de aditivos. El aire contenido le da estabilidad al material ligero, puesto que las celdas están ocupando un mayor volumen del 20% pero de manera homogénea. (Arapa, 2016).

## Características

Según, (Arapa, 2016). El concreto celular se clasifica según sus densidades:

**Mortero Celular.** Densidad entre 350 y 1,000 kg/m<sup>3</sup>; como bien está denominado, este material se compone de cemento, agregados, agua y espuma inducida. El producto es usado para rellenos fluidos, protección térmica y acústica y también muy útil para tabiques divisorios.

**Concreto Aligerado Celular.** Su composición es de la misma forma que del mortero celular, pero su densidad está limitada en 1,100 kg/m<sup>3</sup> y 1,400 kg/m<sup>3</sup>. Su fabricación y colocación es en situ.

Según, (De Ayala, 1998). El concreto celular aplica en:

**Clima cálido**, independientemente de la condición, en estos lugares se debe de evitar que los elementos de una estructura tengan acumulación de calor, con la posibilidad de que su enfriamiento sea imposible. Para ello los habitantes en zonas de extremo calor, construyen sus viviendas con materiales ligeros, como el celular, que evita el paso de calor.

**Clima frío**, debido a la conformación de las células en el concreto, para este tipo de climas con temperaturas bajas, el material funciona como material térmico que propicia el acumulación del calor interior.

## Proceso de Producción

### Espuma producida por inclusión de aire

El proceso consiste en la expansión de un aditivo espumante, con alta capacidad de concentrar inmediatamente las celdas espumosas, a la mezcla de concreto celular. La dosificación del aditivo está especificada por el fabricante.

El procedimiento de mezcla es el siguiente:

Inicialmente, se vierte los materiales al mezclador y se deja que los materiales se homogenicen. Primero se vierte el total de agua, seguidamente, el peso a la mitad del cemento, mitad de peso de los agregados y repetir el proceso hasta completar la segunda mitad. Finalmente, pasado 4 minutos, se añade el aditivo hasta que toda la mezcla quede homogénea. (Arapa, 2016).

Para la presente investigación; se emplea un aditivo espumante, el cual sirve para obtener una densidad menor en el concreto, el aditivo en mención es:

**SikaLightcrete®:** agente líquido encargado de inducir espuma a la mezcla, para la producción de concreto ligero y relleno fluido entre 1,200 y 1,800 kg/m<sup>3</sup>, dependientemente de la cantidad de aditivo.



Para su utilización es recomendable emplear una dosis de 0.5 kg a 4 kg por metro cúbico de mezcla. La mezcla con la incorporación del aditivo resulta muy fluida, lo cual simplifica los trabajos de acabado, colocación, bombeo y transporte. (Sika® Lightcrete PE, 2014).



**Figura N° 3:** Aditivo Espumante  
Fuente: SIKA PERÚ

### Aplicaciones

Las aplicaciones o usos del concreto celular están clasificados por su densidad:

- **Densidad entre 250 – 550 (kg/m<sup>3</sup>)**

Debido a su peso muy ligero y por su composición, tiene la propiedad de ser un aislante térmico y es empleado para riesgos de incendios. Este concreto tiende a incrementar su propiedad térmica, pero su resistencia se perjudica de manera considerable.

- **Densidad entre 600 – 800 (kg/m<sup>3</sup>)**

Generalmente el concreto celular con este peso es usado en rellenos, elementos de mampostería, impermeabilización, reacondicionamiento de alcantarillas, entre otros.

- **Densidad entre 800 – 900 (kg/m<sup>3</sup>)**

Empleado para la conformación de bloques y para elementos no portantes, generalmente pre fabricados en autoclave.

- **Densidad entre 1100 – 1400 (kg/m<sup>3</sup>)**

Es perfectamente usado para nivelación de pisos, además, para paredes construidas en situ, sean estructurales o no estructurales.

- **Densidad entre 1600 – 1800 (kg/m<sup>3</sup>)**

Mayormente usado en losas aligeradas, también puede ser usado en elementos estructurales los cuales exijan mayores propiedades mecánicas.

Las aplicaciones expuestas, son establecidas en el trabajo de la empresa: "Tecnología en la Construcción". (Arapa, 2016).

- **Ventajas del Concreto Celular**

Densidad; el impacto de la baja densidad de un concreto celular, permite reducir las cargas del peso propio de los elementos los cuales los transmiten, es por ello, que los esfuerzos a los que está expuesto una edificación, son proporcionales a su peso. (Arapa, 2016).

Aislamiento térmico; el concreto celular, logra después del fraguado, ser un material termoaislante diez veces mayor, comparado con un concreto convencional, dicha propiedad genera ahorro energético en calefacción y aire acondicionado. (Arapa, 2016).

Aislamiento acústico; la estructura porosa del concreto, disipa las ondas vibratorias para aislar de manera efectiva la propagación de ondas de baja frecuencia. (Arapa, 2016).

Resistente al fuego; es resistente al fuego por ser considerado un material incombustible, a través del material, se detiene el flujo de calor, y no genera ninguna emanación gaseosa. (Arapa, 2016).

- **Desventajas del Concreto Celular**

La resistencia mecánica, se ve afectada por la presencia de vacíos en el concreto, es por ello, que se necesita un sistema de producción para cada clasificación de concreto aireado con factores que modifiquen las propiedades físico-mecánicas del producto final. (Arapa, 2016).

El encofrado, requiere de un trabajo mucho más cuidadoso al momento del vaciado del concreto. (Arapa, 2016).

### 1.1.2.3. **Microsílice**

La microsíllice es un producto secundario que se obtiene en las aleaciones de hierro, denominado ferrosilíceo; es decir, el hollín que queda impregnado en las mangas del filtro cuando los gases atraviesan este. La microsíllice, también llamada microsíllica, humo de sílice o silica fume, es tomado como referencia por la ASTM y el ACI para hacer mención al humo de sílice condensado. (EUCLID GROUP , 2016).

### 1.1.2.3.1 Características

Según, EUCLID GROUP (2016) las características de la microsíllice para ser usado en el concreto deben de obedecer a la norma ASTM C 1240, con las siguientes características:

- Contenido Min. De SiO<sub>2</sub>: 85 %
- Contenido de Humedad, Max. 3.00%
- Pérdida de calcinación, Max.: 6.00%
- Superficie específica Min.: 15.00 m<sup>2</sup>/kg
- Retenido sobre malla 45 µm (325): 10%

### 1.1.2.3.2 Aplicaciones

La aplicación de la microsíllice al concreto favorece positivamente, tanto en las propiedades de estado fresco, como en estado endurecido. A continuación se describe las aplicaciones más efectivas del humo de sílice en el concreto según (EUCLID GROUP , 2016):

- **Concretos de altas resistencias;** empleado para resistencias mayores a 55 MPa, estos concretos con altas resistencias tienden a reducir las dimensiones de los elementos estructurales, al reducir la carga muerta en las edificaciones, esto permite la construcción de edificios a grandes alturas y de luces mayores.
- Concretos de alta durabilidad; al emplear microsíllice en el concreto lo hace mucho más durable, debido a que reduce su permeabilidad de fluidos; es decir, que el concreto es consistente a la inserción de sulfatos y cloruros.
- Concreto lanzado de alto desempeño; la microsíllice hace que el concreto en el estado fresco tenga ventajas de cohesión y con las reacciones puzolánicas, estas dos propiedades provocan:
  - Reducción del 50% de rebote.
  - Espesor más pronunciado.
  - Dejar sin efecto el acelerante eventualmente.
  - Mayor resistencia inicial.
  - Respuesta favorable a la reacción álcali – agregado y es más resistente a los sulfatos y cloruros.



**Figura N° 4:** Uso de la microsíllice en concretos de alta resistencia  
**Fuente:** (EUCLID GROUP , 2016)

En la presente investigación se emplea microsíllice de la empresa **Sika Perú**

#### **1.1.2.3.3 Microsíllice Sika® Fume**

Es un aditivo en forma de polvo, empleado para el concreto, basado en la innovación de humo de sílice. Es un polvo gris que viene en presentaciones de 20 kg y 25 kg, presenta una densidad aproximada de 0.65 kg/l, y un total de iones de cloruro menor a 0.3 M-%.

Usos: Es empleado para concreto estructural y para concretos de altas exigencias a la calidad en estado fresco y endurecido. La dosificación recomendada es entre el 5 – 10% del peso del cemento, el cual tiene un tiempo ideal de mezclado en húmedo de 60 segundos.

Características: “Contiene dióxido de silicio reactivo latente muy fino. La presencia de esta sustancia hace que el concreto aumente su capacidad de bombeo y sea extremadamente flexible.”

Sika Fume está certificado por norma: EN 13263-1:2005 tabla 4. (SikaFume®, 2021).

#### **1.1.2.4. Propiedades del Concreto.**

##### **Propiedades del Concreto en estado Fresco**

##### **1.1.2.4.1 Trabajabilidad y Consistencia**

- **Trabajabilidad**

La trabajabilidad se presenta en el concreto en el estado fresco, el cual se evalúa la facilidad que tiene la mezcla al momento de ser colocado, compactado o chuseado y su acabado; sin que exista segregación y exudación. (Abanto Castillo , 2009).

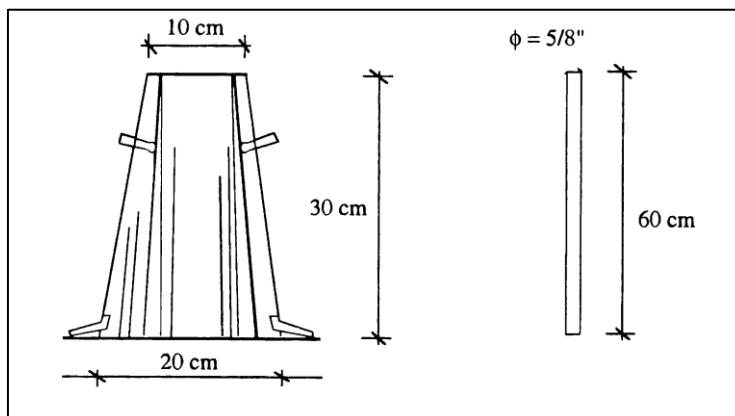
- **Consistencia del Concreto**

La consistencia es medida por el asentamiento del concreto y está dada por el grado de humedad que tenga la mezcla, dicha propiedad depende del total de agua utilizada.

Para medir la consistencia del concreto se emplea el ensayo de revenimiento o también llamado "slump test", el ensayo consiste en compactar una muestra en un molde cónico, la medición del asentamiento se hace una vez se haya desmoldado la muestra.

El concreto debe de mantenerse homogéneo con mínimo de vacíos y se debe de adaptar al molde con simpleza. Estas características del comportamiento del concreto en el ensayo, indica su "asentamiento".

El equipo usado es un tronco de cono de acero galvanizado, con un espesor de 1.5mm. Para la compactación, se emplea una varilla lisa de acero de 5/8" de diámetro, longitud de 60cm y con la punta semiesférica.

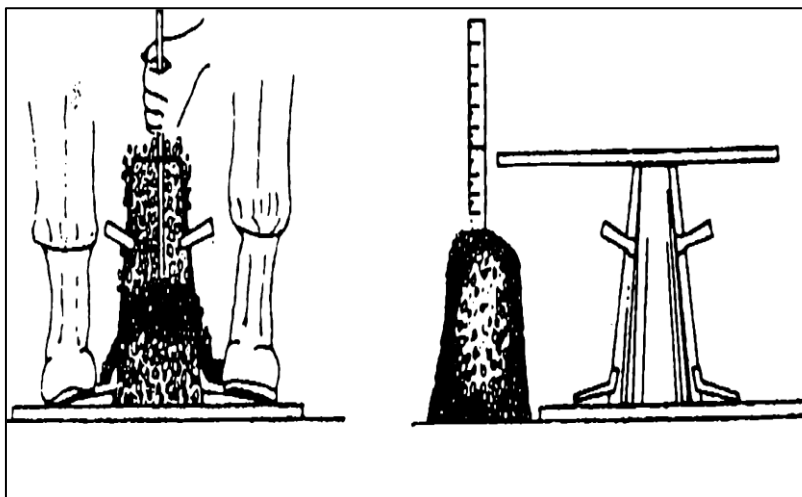


**Figura N° 5:** Equipo de ensayo de asentamiento del Concreto

Fuente: (Abanto Castillo , 2009)

El procedimiento consiste en llenar y compactar el concreto mezclado en tres capas con 25 golpes en cada capa, hasta llenar con muestra el cono; finalmente el exceso de material en la capa final es enrasado uniformemente, el compactado y enrasado se ejecutan con la varilla lisa de 60cm de longitud. Una vez lleno y enrasado, se levanta el cono de manera vertical, el concreto fresco se asienta dejando en

evidencia su consistencia. La diferencia de la altura del cono y la altura de la mezcla ensayada toma el nombre de "slump" o asentamiento. (Abanto Castillo , 2009).



**Figura N° 6:** Procedimiento de Ensayo "Slump test"  
Fuente: (Abanto Castillo , 2009)

- **Clases de mezcla según su "Slump"**

**Tabla N° 4:** Clase de mezcla según su Asentamiento

CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca	0" a 2"	poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" a 4"	trabajable	Vibración ligera chuseado
Fluida	>5"	muy trabajable	Chuseado

**Fuente:** (Abanto Castillo , 2009)

#### 1.1.2.4.2 Segregación

La segregación del concreto se da por una mezcla que es demasiado seca o contiene una humedad en exceso, esto ocasiona que los materiales se separen individualmente de manera evidente dentro de la mezcla. (Terrones & Carvajal, 2016).

#### 1.1.2.4.3 Exudación.

La exudación en el concreto es conocida como el agua que se posa en la superficie de una mezcla de concreto recién colocado, esto es provocado cuando se sobre

saturan los áridos sólidos y no es posible la retención del agua en exceso, durante el tiempo de fraguado. (Terrones & Carvajal, 2016).

#### 1.1.2.4.4 Peso Unitario o Densidad

Según (imcyc, 2012), el peso unitario y/o densidad viene a ser el total de contenido de materia en un metro cúbico de concreto (kg/m<sup>3</sup>).

La densidad es dependiente de la granulometría, la cantidad de aire incluido, como también de la relación agua y material cementante. (Terrones & Carvajal, 2016).

Hou, D (2007) señala que el concreto usual empleado en las diferentes construcciones presenta una masa unitaria que va desde los 2200 y 2400 kg/m<sup>3</sup>; dentro de la mezcla de diseño de un concreto con refuerzo, la densidad del concreto es 2400 kg/m<sup>3</sup>, al incluir la armadura.

El concreto ligero tiene una masa unitaria en estado plástico, que está por debajo de la densidad de un concreto convencional, es por ello que su resistencia a los 28 días es restringida en concordancia con esta propiedad. (Valarde, 2017).

### Propiedades del Concreto en estado Endurecido

#### 1.1.2.4.5 Resistencia a la Compresión

La compresión es el esfuerzo del concreto por unidad de área, es tomada en un estado endurecido, después de haber tomado las muestras en campo o laboratorio; las cuales son curadas debidamente y se someten a prueba de carga axial.

La "resistencia a la compresión" es utilizada debido a la simpleza del ensayo y debido a que la mayor parte de propiedades tienden a mejorar al incremento de esta resistencia. La resistencia o esfuerzo máximo a compresión del concreto es la relación obtenida de la carga máxima para una unidad de área soportada por un espécimen, antes de que este falle por rotura o agrietamiento. (Abanto Castillo , 2009).

#### Factores que afectan la resistencia

- "Relación agua – cemento" (a/c). – Es el factor fundamental que influye mucho en la resistencia del concreto, cuando la relación es alta la pasta formada será más trabajable, pero menos resistente. Sin embargo, con una relación a/c baja el concreto es menos trabajable pero su resistencia es mayor. (Abanto Castillo , 2009)

- El contenido del cemento. – El esfuerzo a compresión del concreto es menor si se tiene poca presencia de cemento.
- El tipo de cemento. – La velocidad de tomar valores de resistencia cambia de acuerdo al tipo de cemento utilizado en la producción del concreto.
- Curado del concreto. – Debido a que el cemento empieza a tomar hidratación, al tener contacto con el agua de amasado, es necesario que el concreto contenga la humedad en el periodo de curado para que siga con su hidratación y aumente su resistencia.
- Características del agregado.- En cuanto a su granulometría, textura, perfil, resistencia y dureza de sus partículas; además, el tamaño máximo del agregado también es componente para que el concreto desarrolle su resistencia. (Abanto Castillo , 2009).

#### **1.1.2.4.6 Resistencia a la Tracción**

Según (Niño Hernandez , 2010), comúnmente la tracción del concreto se genera en su interior, al producirse fisuras, a efecto de la contracción por el curado y los cambios bruscos de temperatura. El concreto es débil al esfuerzo de tracción por su misma naturaleza, generalmente se diseña para que pueda resistir esfuerzos por compresión y en su diseño de estructuras normales se omite la tracción. (Terrones & Carvajal, 2016).

#### **1.1.2.4.7 Resistencia a la Flexión**

De acuerdo a (Niño Hernandez , 2010) citado en (Terrones & Carvajal, 2016), la resistencia a la flexión en los elementos estructurales está tomada por una parte a esfuerzos a compresión y otra área predominan los esfuerzos de tracción, así se produce la flexión en el elemento.

#### **1.1.2.4.8 Resistencia a la Cortante.**

De acuerdo a (Niño Hernandez , 2010), el concreto presenta mínimos esfuerzos por cortante; sin embargo, es importante tener un diseño por corte por la configuración de los elementos como vigas, columnas, zapatas en donde es primordial considerar esfuerzos a cortante por presentar valores superiores de resistencia del concreto. (Terrones & Carvajal, 2016).



### 1.1.2.5. Diseño de Mezcla

Mayta (2014), precisa como diseño de mezcla al proceso de seleccionar los materiales adecuados y la combinación más apropiada y económica, con el objetivo de producir un producto que cuente con una apropiada trabajabilidad y consistencia; además cuente con los requerimientos de resistencia en estado endurecido, indicados en planos y/o especificaciones de obra. (Valarde, 2017).

### 1.1.2.6. Aceptación de Ensayos

Según (Valarde, 2017), los ensayos elaborados en los trabajos de investigación deben de tener una precisión que esta normado por la ASTM C670; los especímenes deben de estar dentro de los límites establecidos por esta norma, caso contrario los ensayos tienen que volverse a ejecutar. Las medidas estadísticas que se emplean son Varianza, Desviación estándar, coeficiente de variación, señalados a continuación:

#### 1.1.2.6.1 Desviación Estándar

Es una medida estadística que sirve para medir el promedio de diferencia que hay entre todos los datos con respecto a la media o promedio aritmético. La fórmula de la desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza, la fórmula es la siguiente:

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

*Ecuación N° 1: Desviación Estándar general*

Donde:

$$\sigma^2 = \text{Varianza}$$

#### 1.1.2.6.2 Coeficiente de Variación

El coeficiente de variación es el porcentaje que es utilizado para comparar la dispersión de los conjuntos de datos de diferentes naturalezas; es una medida de dispersión que explica la cantidad de variabilidad con respecto al promedio. La fórmula es la siguiente:

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

*Ecuación N° 2: Coeficiente de Variación*

Donde:

DS = Desviación estándar

$\bar{x}$  = Media Aritmética

## 1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye el aditivo espumante y microsíllice sobre el peso unitario y resistencia a compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

“Determinar la influencia el aditivo espumante y microsíllice sobre el peso unitario y resistencia a compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.”

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas del agregado, basado en los lineamientos de las normas técnicas peruanas: “NTP 400.012, NTP 339.185, NTP 400.021, NTP 400.022 y NTP 400.017”, para los ensayos de granulometría del agregado, contenido de humedad. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso y peso unitario del agregado, respectivamente.
- Elaborar el diseño de mezcla patrón con las propiedades del agregado estudiadas.
- Incorporar a la mezcla patrón las combinaciones de aditivo espumante en 1 L/m<sup>3</sup>, 2 L/m<sup>3</sup> y 3 L/m<sup>3</sup>.
- Añadir los porcentajes de microsíllice en 0%, 5%, 7.5% y 10% para cada dosificación seleccionada de aditivo espumante.
- Ensayar el concreto en estado fresco para verificar las propiedades de temperatura, asentamiento y contenido de aire, según las normas técnicas peruana “NTP 339.184, NTP 339.035 y NTP 339.080, respectivamente.
- Ensayar y definir el peso unitario del concreto para cada mezcla de concreto evaluada en la investigación con el soporte de la norma técnica peruana “NTP 339.046”.
- Elaborar especímenes de concreto con los moldes de 4” de diámetro, para su posterior curado a 7, 14 y 28 días, con las recomendaciones de la norma técnica peruana “NTP 339.183”.

- Ensayar y comprobar la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto según su edad de curado, con las recomendaciones de la norma "NTP 339.034".
- Comparar y evaluar el peso unitario y la resistencia a la compresión del concreto en contraste al concreto convencional y los concretos adicionados.
- Generar diseños y recomendaciones para concretos que se encuentren dentro del rango para ser considerado como ligero estructural.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

La incorporación de aditivo espumante y microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario y a la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

#### 1.4.2.1. Hipótesis específica 01

La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

*Tabla N° 5: Hipótesis Específica 01*

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 01	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	1. Resistencia a compresión.	Probetas de concreto	Influye	Laboratorio: Quallity Control Express S.A.C. - Trujillo	2021

**Fuente:** Elaboración Propia

### 1.4.2.2. Hipótesis específica 02

La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

*Tabla N° 6: Hipótesis Específica 02*

HIPÓTESIS ESPECÍFICA 02	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	1. Peso Unitario.	Probetas de concreto	Influye	Laboratorio: Quality Control Express S.A.C. - Trujillo	2021

**Fuente:** Elaboración Propia

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El trabajo de investigación es de tipo experimental, debido a que las variables independientes (aditivo espumante y microsíllice), provocan modificaciones en las variables dependientes (peso unitario y resistencia a la compresión del concreto).

El diseño del trabajo experimental es cuasi experimental, porque las variables independientes tienen límites de dosificaciones para su empleo, de acuerdo a su proveedor.

La dosificación de los aditivos consiste en incluir el aditivo espumante en 1 L/m<sup>3</sup>, 2 L/m<sup>3</sup> y 3 L/m<sup>3</sup>, para los cuales se le añade microsíllice en 0%, 5%, 7.5% y 10% en función al peso del cemento. De tal manera, se generan 13 grupos de investigación al incluir al concreto elaborado de manera convencional.

Las consideraciones éticas en el desarrollo de la investigación se basaron en las dosificaciones seleccionadas en la combinación de aditivos, las cuales fueron seleccionadas mediante las recomendaciones de las hojas técnicas de los productos al obedecer las indicaciones de uso y aplicación. Además, los ensayos de peso unitario y resistencia a la compresión se elaboraron fielmente a los procedimientos que se establecen en las normativas: (NTP 400.017, 2011) y (NTP 339.034, 2015).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### 2.2.1. Población

La población está conformada por todas las probetas de concreto proyectadas a  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>, elaboradas con todas las dosificaciones de aditivo espumante y microsíllice, las cuales son sometidas a pruebas de laboratorio en la ciudad de Trujillo, 2021.

#### 2.2.2. Muestra

La muestra es de tipo probabilística, es representativa al tener las características de tener un tamaño suficientemente grande y se obtiene de manera aleatoria, dicho muestreo

lleva el nombre de "muestreo estratificado", debido a la reagrupación de la población se genera por grupos (por tipo de aditivo).

En el cálculo de la muestra se consideran variables cuantitativas y asumiendo la población ilimitada, basado en el manual de estadística de la Universidad Privada del Norte.

- Muestreo estratificado

$$n_0 = \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

*Ecuación N° 3: Tamaño de la Muestra Normalizada.*

Fuente: Manual de estadística UPN.

Donde:

Z = nivel de confianza (tabla 7)

S = desviación estándar de la variable fundamental de estudio, obtenida por investigaciones anteriores, muestras piloto y criterio de experto (tabla 8).

E = error de muestreo (%)

$n_0$  = tamaño de la muestra

*Tabla N° 7: Valores de Distribución Normal*

VALORES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDARIZADA			
Nivel de Confianza (1- $\alpha$ )	Nivel de Significancia	Valor (Unilateral)	Valor z (Bilateral)
90%	10%	1.28	1.65
91%	9%	1.34	1.70
92%	8%	1.41	1.75
93%	7%	1.48	1.81
94%	6%	1.56	1.88
<b>95%</b>	<b>5%</b>	<b>1.65</b>	<b>1.96</b>
96%	4%	1.75	2.05
97%	3%	1.88	2.17
98%	2%	2.05	2.33
99%	1%	2.33	2.58

Fuente: Manual de estadística UPN

*Tabla N° 8: Coeficiente de Variación*

Desviación Estándar, s para la población total	Coeficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad

Hasta 280 Kg/cm <sup>2</sup>	Hasta 28 Mpa	Hasta 400 Psi	% <3.0	
280 a 350	28 a 34	400 a 500	3.0 a 4.0	Excelente
350 a 420	34 a 41	500 a 600	4.0 a 5.0	Muy Bueno
420 a 490	41 a 48	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
>490	>48	>700	>6.0	Deficiente

Fuente: ACI-214.R

Para los ensayos de la presente investigación se determinan los siguientes valores para obtener un valor de muestra, de la siguiente manera:

Z= Nivel de confianza con un 95% obteniendo un valor de 1.96, el cual presenta una significancia de 5%, como complemento del valor de confianza.

S= Desviación estándar, para la variable fundamental de investigación, es obtenida mediante la distribución de interés de la variable, de acuerdo a la tabla 8; sin embargo, también se puede obtener una desviación estándar de acuerdo a estudios anteriores, para lo cual se considera el antecedente: "Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad y absorción en un concreto ligero". En donde se escogen el grupo en donde se añade un 1.5% de polvo de aluminio con incorporación de superplastificante al 1%, debido a que presenta una densidad de un concreto ligero y además su resistencia a la compresión es estructural.

E= El error de la muestra será del 5%, de acuerdo a la estimación estadística, es determinado por el investigador y basado en el antecedente, el cual será 5% del promedio del esfuerzo a compresión del antecedente considerado.

$n_0$ = tamaño de la muestra por grupo.

#### **Cálculo de la desviación estándar:**

Para el cálculo de la desviación estándar, se utiliza la siguiente ecuación, en donde se considera los datos de compresión del antecedente considerado.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - x')^2}{n - 1}}$$

**Ecuación N° 4: Desviación Estándar**

Fuente: (Chuquilín, 2018).

S= Desviación estándar

x'= Promedio de los valores

n = número de muestras por grupo

**Tabla N° 9: Calculo de la desviación estándar**

Dosificación	f'c	Promedio (kg/cm2)	x - x'	(x - x')^2	Desviación Estandar (S)
1.5% + P	240	236	4	16	10.22
	224		-12	144	
	243		7	49	

Fuente: (Valarde, 2017)

**Cálculo del E**

Se considera el 5% del promedio de los valores de compresión del antecedente.

$$E = 5\%(x') = 0.05 \cdot 236 = 11.80 \text{ kg/cm}^2.$$

A continuación, se reemplaza los valores escogidos en la ecuación N° 3, para obtener el tamaño de muestra por grupo:

$$n_0 = \frac{(1.96)^2(10.22)^2}{(11.80)^2}$$

$$n_0 = 2.88 \approx 3 \text{ probetas}$$

Por consiguiente, la muestra mínima de grupo se toma la cantidad de tres probetas de 10cm x 20cm por grupo para la elaboración de ensayo a compresión del concreto.

Para el ensayo de peso unitario, se toma una sola prueba por grupo, debido a que esta propiedad se determina de manera única por mezcla; de igual manera, para la comprobación de asentamiento, temperatura y contenido de aire.

**Tabla N° 10: Número de Ensayos por grupo**

Tipo de Concreto	ID	Ad. Espumante (L/m3)	% Microsílice	Concreto en estado fresco	Concreto en estado endurecido
				Peso Unitario	Resistencia a Compresión



PATRÓN	CP	0	0	1	3
ADICIONADO	CL1		0.00	1	3
	CL1 - F5	1	5.00	1	3
	CL1 - F7.5		7.50	1	3
	CL1 - F10		10.00	1	3
	CL2		0.00	1	3
	CL2 - F5	2	5.00	1	3
	CL2 - F7.5		7.50	1	3
	CL2 - F10		10.00	1	3
	CL3		0.00	1	3
	CL3 - F5	3	5.00	1	3
	CL3 - F7.5		7.50	1	3
	CL3 - F10		10.00	1	3
		7 días			
	14 días				39
	28 días				39
	TOTAL			13	117

Fuente: Elaboración Propia

### 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

#### 2.3.1. Técnica

Para el procedimiento de recolección de datos se usará como técnica a la observación, se elige esta técnica porque nos ayuda a estudiar los cambios que puede generar la adición del aditivo espumante y microsíllice en el concreto. La observación permite recopilar, comprobar y registrar las modificaciones que produzcan las variables independientes sobre las propiedades dependientes.

#### 2.3.2. Instrumentos

El instrumento empleado de acuerdo a la técnica, es la guía de observación, que está diseñada para registrar los datos de cada ensayo, fenómenos que puedan producirse, entre otros. La guía de observación se encuentra en el anexo 04 con su validación respectiva.

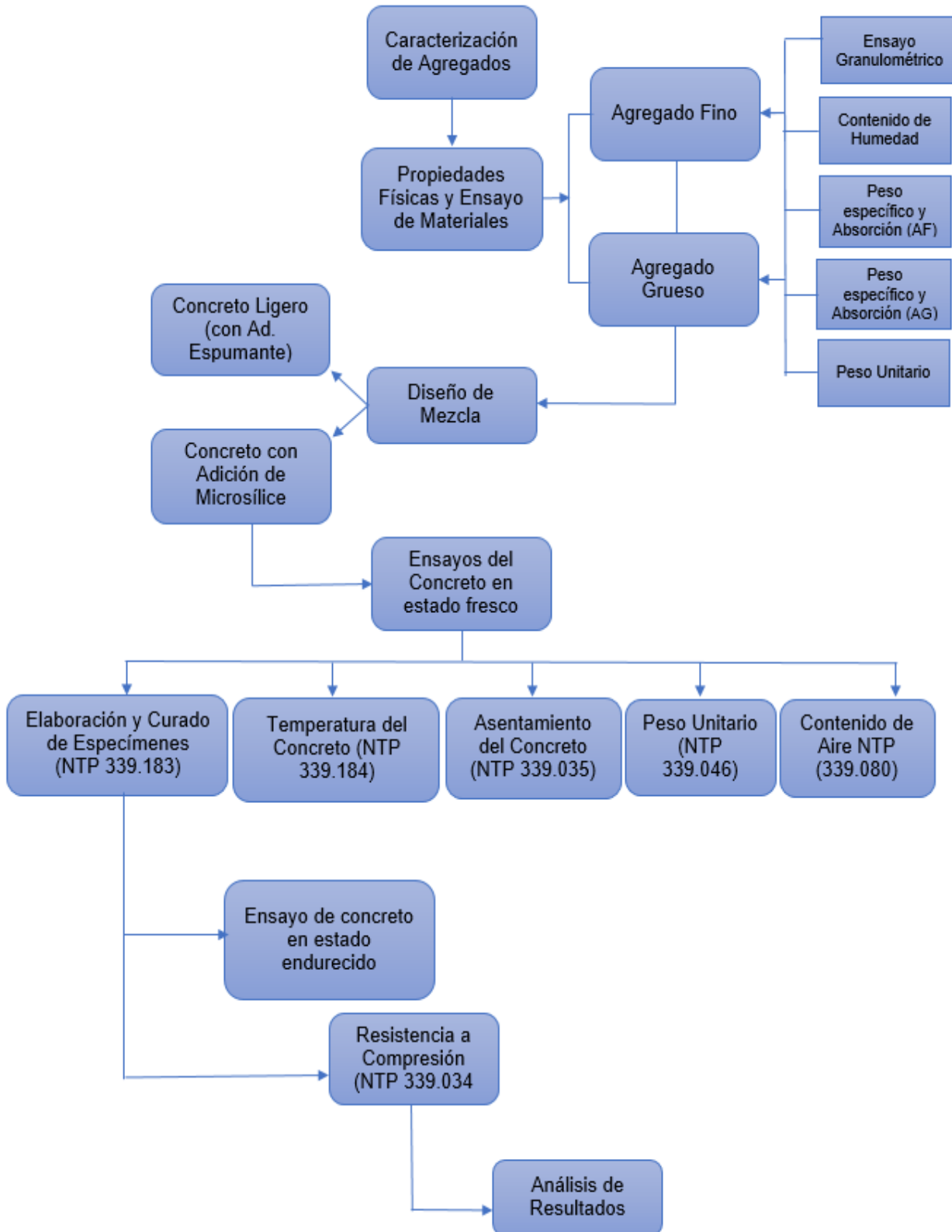
#### 2.3.3. Instrumentos de análisis de datos

Por el diseño de investigación que es experimental pura, se emplea un instrumento de prueba paramétrica, con el procedimiento de Shapiro-willk. En donde se desarrollará

análisis estadísticos de normalidad y varianza, para comparar grupos de análisis independientes, para el estudio de más de dos grupos se empleará la prueba "ANOVA", en donde se comprueba que la hipótesis es aceptada o rechazada.

#### **2.4. Procedimiento**

Los procedimientos de recolección de los datos de la experimentación están establecidos en la "Norma técnica peruana (NTP)" donde nos indica los procedimientos necesarios para la seleccionar la muestra correcta de agregados, ensayar las propiedades físicas tanto para el agregado fino como para el agregado grueso, y finalmente nos da el alcance de los ensayos en estado fresco y en estado endurecido del concreto.



**Figura N° 7:** Procedimiento de recolección de datos.

Fuente: Elaboración Propia

### 2.4.1. Caracterización de Agregados

Inicialmente se selecciona la cantera donde se extraerá los materiales pétreos “(agregado fino y agregado grueso)”, para que posteriormente puedan ser ensayados. La masa total para ambos agregados se debe de escoger de acuerdo al tipo y al total de muestras que se pretende evaluar. Según la norma “NTP 400.010, la extracción de la muestra depende en su mayoría del análisis granulométrico”, como se puede observar en la tabla 11.

*Tabla N° 11: Medida mínima de las muestras*

<b>Tamaño máximo nominal del Agregado</b>	<b>Masa mínima aproximada para la muestra de campo kg</b>
Agregado fino	
2.36 mm	10
4.76 mm	10
Agregado grueso	
9.5 mm	10
12.5 mm	15
19.0 mm	25
25.0 mm	50
37.5 mm	75
50.0 mm	100
36.0 mm	125
75.0 mm	150
90.0 mm	175

Fuente: “NTP 400.010”

### 2.4.2. Propiedades Físicas y ensayo de Materiales

Las propiedades físicas de los materiales serán determinados por los ensayos normados por las normas técnicas correspondientes, tanto para el agregado fino, como para el agregado grueso. Principalmente se determinará la granulometría, contenido de humedad, peso específico, absorción y peso unitario.

### 2.4.3. Agregado Fino

Según (NORMA E060), es un agregado que tiene origen sedimentario, dicho material tiene el tamaño de grano que pasa el tamiz de 9.5 mm (3/8”).

#### 2.4.4. Agregado Grueso

Agregado que tiene la propiedad de tener un tamaño mayor a 4.75 mm o que es retenido en la malla N°4. El material es obtenido por procesos naturales o mecánicos. (NORMA E060).

##### 2.4.4.1. Ensayo granulométrico para el agregado, según NTP 400.012

El ensayo granulométrico es obtener pesos de una determinada muestra, seca y de masa conocida que atraviesa una serie de tamices que cuentan con aberturas de manera gradual de mayor a menor; con la finalidad de obtener la distribución de las partículas.

- **Aparatos**

**Balanzas:** Las balanzas deben tener una precisión de acuerdo al tipo de agregado a ensayar:

“Para el agregado fino, la aproximación está en 0,1 g y exacta de 0,1 g ó 0.1% de la masa a ser utilizada”.

“Para el agregado grueso o global, con aproximación y exacta de 0.5 g ó 0,1 % de la masa de la muestra.

**Tamices:** Los tamices deben cumplir con la NTP 350.001, y deberán estar armadas una sobre otra para evitar la pérdida de material.

Para el agregado fino los tamices que se emplearan para el ensayo son: 3/8”, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo.

Para el agregado grueso los tamices que son usados son: 1”, ¾”, ½”, 3/8”, N°4, N°8, N°16 y fondo.

**Horno:** Se emplea un horno con las medidas necesarias y que mantenga una temperatura de 110 °C ± 5 °C.

- **Procedimiento**

- Tomar una muestra representativa conforme a la NTP 400.010, para el agregado fino se toma como mínimo 300 g. Por otro lado, la muestra representativa del agregado grueso será conforme a la tabla N° 12.

**Tabla N° 12:** Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 ( 3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5(1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 ( 2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

**Fuente:** (NTP 400.012, 2013)

- Secar la muestra por 24 horas en una temperatura constante de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Se escogen los tamices según el tipo de agregado, con los tamaños apropiados para cubrir las especificaciones del material a ensayar.
  - Posteriormente de colocar los tamices de forma descendente, colocar la muestra a través de los mismos.
  - Colocar la muestra evitando la pérdida de material, luego se agitará o vibrará por un periodo suficiente, hasta que no más del 1% de la muestra retenida sobre uno de los tamices, logre pasar durante 1 minuto.
  - Luego se pesará cada tamiz con la muestra retenida y se comprobará que la masa total con la masa de la muestra colocada en cada tamiz no difiera en más de 0.3 %.
- **Cálculo**
- Verificación del Tamaño Máximo Nominal para el agregado grueso, en el primer tamiz superior donde se produce el primer retenido.
  - Se calcularán los porcentajes que pasan, los retenidos aproximando a 0,1 % esperando que sea lo más cercano a la masa inicial.
  - Para calcular el módulo de fineza del agregado fino, se determina por la relación de la sumatoria de los pesos retenidos entre 100.
  - En el agregado grueso, el módulo de finura se determinará dividiendo la sumatoria de los retenidos en los tamices (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8), entre 100.

**Tabla N° 13: Tabla granulométrica de agregado Grueso**

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites Huso 67 (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
1"	25.00						
3/4"	19.00						
1/2"	12.50						
3/8"	9.50						
N° 4	4.75						
N°8	2.36						
N° 16	1.18						
Fondo	0.00						

Fuente: (NTP 400.012, 2013)

**Tabla N° 14: Tabla granulométrica de agregado Fino**

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
3/8"	9.500						
N° 4	4.750						
N°8	2.360						
N° 16	1.180						
N° 30	0.600						
N° 50	0.300						
N° 100	0.150						
N° 200	0.075						
Fondo	0.000						

Fuente: (NTP 400.012, 2013)

#### 2.4.4.2. Contenido de humedad según NTP 339.185

“La presente norma técnica, nos brinda los procedimientos para calcular el porcentaje total de humedad evaporable de una muestra de agregado fino o grueso. Aplicado para la corrección de las proporciones en tandas de los componentes para la producción de concreto” (NTP 339.185 , 2013).

- **Aparatos**

**Balanza:** Aparato con una precisión de 0.1 %

**Fuente de calor:** Horno con las dimensiones adecuadas, capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**Recipiente para la muestra:** Recipiente con la capacidad de mantener a la muestra sin riesgo de derrame, además el recipiente no debe de ser dañado por el calor.

**Revolvedor:** Espátula de tamaño apropiado.

- **Procedimiento**

- Obtener una muestra representativa de acuerdo a la norma NTP 400.010, posteriormente evaluar, que la muestra no sea menor de la cantidad indicado en la tabla 15:

*Tabla N° 15: Tamaño de la muestra del agregado*

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0,187) (No. 4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
5,0 (1)	4,0
37,5 (1 ½)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2 ½)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 ½)	16,0
100,0 (4)	25,0
150,0 (6)	50,0

Fuente: (NTP 339.185 , 2013)

- Determinar la masa exacta de la muestra con precisión de 0.1 %, se pesará tres muestras, para agregado fino y para agregado grueso. La masa estará en un estado natural (W).
- Se secarán las muestras en el horno con una temperatura de 100°C +- 5°C por un periodo de 24 horas.
- Seguidamente se pesan las muestras y se registran los nuevos pesos (peso seco D).

- **Expresión de Resultados**

- Se determina el contenido de humedad de las muestras con la siguiente expresión:

$$P = 100(W - D)/D$$

*Ecuación N° 5: Contenido de Humedad de la muestra.*

Donde:

P = Contenido de humedad expresada en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda en estado natural en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos



**Tabla N° 16:** Tabla para contenido de humedad de los Agregado Grueso

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	g			
Peso recipiente + muestra húmeda	g			
Peso recipiente + muestra seca	g			
Peso de muestra húmeda (W)	g			
Peso de muestra seca (D)	g			
Peso de agua	g			
Contenido de Humedad (P)	g			

**Fuente:** (NTP 339.185 , 2013)

**Tabla N° 17:** Tabla para contenido de humedad de los Agregado Fino

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	g			
Peso recipiente + muestra húmeda	g			
Peso recipiente + muestra seca	g			
Peso de muestra húmeda (W)	g			
Peso de muestra seca (D)	g			
Peso de agua	g			
Contenido de Humedad (P)	g			

**Fuente:** (NTP 339.185 , 2013)

#### 2.4.4.3. Peso específico y absorción del agregado fino (AF), según NTP 400.022

“El peso específico, también es denominado como la densidad relativa (gravedad específica) es la cualidad que determina el volumen ocupado por el agregado fino en la mezcla de concreto. Generalmente se usa la densidad relativa seca (OD), sin embargo, si el agregado a completado su absorción y se encuentra húmedo; se debe emplear la densidad relativa saturada superficialmente seca (SSD)”. (NPT 400.022, 2013)

“La densidad aparente y densidad relativa aparente, nos detalla a la densidad únicamente del material sólido (parte impermeable), sin considerar vacíos que están accesibles al agua”.

“Finalmente, la absorción permite calcular el cambio en la masa del agregado cuando este se combina con agua a través de los capilares en sus partículas, distinguiendo a la masa del agregado cuando se encuentra seca. (NPT 400.022, 2013).”

- **Aparatos**

- Balanza: Balanza con capacidad de 1.0 kg con una precisión de 0.1 g o menor.

- Picnómetro: Se usará el picnómetro debido a que todo el ensayo se calculará con el método gravimétrico,
- Molde y barra para compactado ens ensayos superficiales de humedad: Molde en forma de tronco de cono con dos aberturas, el molde es metálico y cuenta con 40 mm de diámetro interior en la parte superior, 90 mm de diámetro interior en la parte inferior, con 75 mm de altura. La barra para apisonar tiene una masa de 340 g.
- Estufa: Estufa con la capacidad de mantener una temperatura de aproximadamente 110 °C.
- **Procedimiento**
  - Se obtendrá una muestra representativa de 1000 g, luego secarla en una estufa hasta alcanzar una masa constante y enfriar a temperatura ambiente.
  - Se cubrirá de agua a la muestra hasta alcanzar al menos el 6% de humedad, y dejar reposar por 24 h  $\pm$  4 h.
  - Pasado el tiempo de reposo, se decanta el agua cuidadosamente para evitar la pérdida de finos.
  - Se procede al secado de la muestra por inserción de aire de manera que sea uniforme. El secado se hace en una fuente metálica, hasta alcanzar la condición superficialmente seca (SSD)
  - Con la ayuda del tronco de cono metálico se determinará la condición (SSD), al compactar con 25 golpes la muestra, seguidamente al levantar el cono de manera vertical, se verifica que al menos una tercera parte de la muestra se asienta.
  - Se empleará el procedimiento gravimétrico con el picnómetro. Se llena parcialmente el picnómetro con agua; luego se introduce una masa de 500 g de agregado con la condición superficialmente seco, seguidamente llenar con agua hasta un 90 % de la capacidad de picnómetro.
  - Agitar el picnómetro de manera circular para eliminar el aire atrapado, generalmente se requiere de 15 a 20 min para que las burbujas se eliminen.
  - Verificar la temperatura de la probeta a 23  $\pm$  2 °C
  - Determinar la masa del picnómetro con la masa de la muestra y agua con aproximación de 0.1g
  - Vaciar el agua con el agregado del picnómetro en un recipiente, posteriormente ponerlo a secar en el horno por 24 horas. Pasado el tiempo, sacar la muestra y dejar enfriar a temperatura ambiente por 1 h  $\pm$  ½ h.
  - Pesar la masa seca con precisión de 0.1 g.

- Finalmente pesar la masa del picnómetro lleno de agua.

- **Cálculos**

$$\text{Densidad Relativa seca al horno (OD)} = A / (B + S - C)$$

*Ecuación N° 6: Densidad relativa seca del agregado fino*

$$\text{Densidad Relativa base SSS} = S / (B + S - C)$$

*Ecuación N° 7: Densidad relativa superficialmente seca del agregado fino*

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = A / (B + A - C)$$

*Ecuación N° 8: Densidad relativa aparente del agregado fino*

$$\text{Absorción \%} = 100[(S - A) / A]$$

*Ecuación N° 9: Porcentaje de absorción del agregado fino*

Donde:

A = masa de la muestra seca al horno, g

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g.

S = masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad y la densidad relativa (gravedad específica), o para la absorción con ambos procedimientos).

**Tabla N° 18:** Tabla de cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.

Descripción	Unidad	Prueba	Prueba	Promedio
		1	2	
Peso de la muestra secada en horno al aire (A)				
Peso del picnómetro lleno de agua (B)				
Peso del picnómetro lleno de muestra y agua (C)				
Peso de la muestra en estado SSS (S)				
<b>Peso Específico base seca (OD)</b>				
Peso Específico base SSS				
<b>Absorción</b>				

Fuente: (NPT 400.022, 2013).

#### 2.4.4.4. **Peso específico y absorción del agregado grueso (AG) NTP 400.021**

La densidad relativa (peso específico), representa o determina el volumen que ocupará el agregado grueso en la mezcla del concreto; también es utilizada para el cálculo de vacíos en su conjunto. La densidad relativa aparente es la masa por unidad de volumen de la parte impermeable del agregado grueso, es decir el producto sólido que

componen las partículas constituyentes. Finalmente, la absorción del agregado grueso se usa para determinar el cambio de masa del agregado, debido a la absorción de los poros dentro de sus partículas constituyentes (NTP 400.021, 2013).

- **Aparatos**

**Balanza:** Dispositivo con capacidad de 5 kg, con precisión de 0.05%. La balanza deberá estar equipada para la suspensión de un recipiente en el agua, desde el centro de la plataforma o del plato de la balanza.

**Recipiente para la muestra:** Canasta de alambre 3.35 mm (N°6) de malla fina, con una capacidad de 4 a 7 litros, el agregado tendrá de tamaño máximo nominal o menor de 37.5 mm (1 ½"). El recipiente debe de evitar la retención de aire cuando se sumerge en agua con la muestra.

**Tanque de agua:** Recipiente hermético, en donde se suspende el recipiente con muestra y se registra el peso saturado.

**Tamices:** Un tamiz de 4.75 mm para disipar materiales más finos

**Estufa o horno:** Capaz de mantener una temperatura de 110 °C ± 5 °C con las dimensiones adecuadas.

- **Procedimiento**

- Muestrear y mezclar bien el material para reducirla a la cantidad necesaria, se rechaza todo el material que pasa el tamiz de 4,75 mm (N°4), tamizar el material y lavar en el mismo tamiz, para evitar finos sobre la superficie.
- La masa mínima para efectuar el ensayo está en la tabla N°19 de la siguiente manera.

*Tabla N° 19: Tabla de muestra mínima de Agregado Grueso*

Tamaño máximo nominal Mm (pulg.)	Masa mínima de muestra de ensayo kg (lb)
12,5 ( ½ ) o menor	2 (4,4)
19,0 ( ¾ )	3(6,6)
25,0 ( 1 )	4 (8,8)
37,5 ( 1 ½ )	5(11)
50 ( 2 )	8(18)
63 ( 2 ½ )	12(26)
75 (3)	18(40)
90 (3 ½ )	25(55)
100 (4)	40(88)
125 (5)	75(165)

Fuente: (NTP 400.021, 2013)

- Secar la muestra en la estufa o horno hasta que tenga una masa constante a la temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego secar la muestra a temperatura ambiente de 1 hora hasta 3 horas.
- Sumergir completamente la muestra por 24 h, se tendrá que cubrir completamente el agregado, la temperatura del agua será a temperatura ambiente.
- Posteriormente retirar la muestra del agua, ubicar la muestra en sobre un paño grande para secar y eliminar las partículas más notorias del agua, las partículas más grandes se deben de secar una por una.
- Seguidamente se obtiene la masa de la muestra en el estado superficialmente seco, se debe anotar esta masa con aproximación a 0,5 g o 0,05 %.
- Luego colocar la muestra superficialmente seca en el recipiente y sumergirlo, para determinar el peso sumergido del material. Se debe de estabilizar la balanza, además se elimina todo el aire antes de obtener la masa.
- Secar la muestra en el horno hasta obtener una masa constante, luego enfriar el agregado por 1 a 3 horas, seguidamente obtener la masa seca cuando la muestra esté apta para la manipulación.

- **Cálculos**

$$\text{Densidad Relativa seca al horno (OD)} = A/(B - C)$$

*Ecuación N° 10: Densidad relativa seca del agregado grueso*

$$\text{Densidad Relativa superficialmente seca (SSD)} = B/(B - C)$$

*Ecuación N° 11: Densidad superficialmente seca del agregado grueso*

$$\text{Densidad Relativa Aparente} = A/(A - C)$$

*Ecuación N° 12: Densidad relativa aparente del agregado grueso*

$$\text{Absorción \%} = 100[(B - A)/A]$$

*Ecuación N° 13: Porcentaje de absorción del agregado grueso*

Donde:

A = masa de la muestra seca al horno en aire, g

B = masa de la muestra de ensayo de superficie saturada seca en aire, g

C = masa aparente de la muestra de ensayo saturada en agua, g.

*Tabla N° 20: Tabla de cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso*

Descripción	Unidad	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire (A)	g			
Peso de la muestra en estado SSS al aire (B)	g			
Peso de la muestra saturada en agua (C)	g			
<b>Peso Específico base seca (OD)</b>	g/cm <sup>3</sup>			
Peso Específico base SSS (SSD)	g/cm <sup>3</sup>			
<b>Absorción</b>	%			

Fuente: (NPT 400.021, 2013).

#### 2.4.4.5. Peso unitario suelto y compacto, según NTP 400.017 para agregado fino y agregado grueso.

La norma técnica tiene como finalidad determinar la densidad de masa y los vacíos, es aplicable para agregados gruesos y finos. La densidad, es necesaria para la selección de proporciones en las mezclas de concreto. (NTP 400.017, 2011).

- **Aparatos**

**Balanza:** Balanza con la precisión de 0,1 %, con una graduación mínima de 0,05 kg.

**Varilla de apisonado:** Varilla de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y de una longitud de 600 mm aproximadamente.

**Recipiente:** Recipiente metálico, de preferencia que tenga conformación de asas. El envase debe ser hermético, con bordes superiores e inferiores. La altura del recipiente será aproximada al diámetro del mismo, sin embargo, no debe ser menos del 80%, ni superar el 150% del diámetro.

**Pala o cucharón:** Pala para introducir el agregado en el recipiente metálico.

- **Procedimiento**

- La muestra para el ensayo será de 125 % a 200 % de exceso del recipiente. Seguidamente la muestra tiene que ser secada en horno o estufa hasta que alcance una masa constante.
- Determinar la masa del recipiente vacío con una aproximación de 0.05 kg.
- Verter en el recipiente agua a temperatura ambiente, evitando dejar burbujas de agua y exceso de agua.
- Determinar la masa del recipiente con agua y registrar. Seguidamente con un termómetro, verificar la temperatura del agua para poder calcular su densidad como sigue en la tabla N° 21.

**Tabla N° 21:** Densidad del agua según su temperatura

Temperatura		kg/m <sup>3</sup>
° C	° F	
15,6	60	999,01
18,3	65	998,54
21,1	70	997,97
23,0	73.4	997,54
23,9	75	997,32
26,7	80	996,59
29,4	85	995,83

Fuente: (NTP 400.017, 2011)

- Calcular el volumen V del recipiente y registrar.

• **Procedimiento para apisonado**

- Llenar la primera capa con agregado a un tercio del recipiente y nivelar con ayuda de los dedos o con una espátula. Compactar la capa con la varilla con 25 golpes repartidos de manera uniforme en toda la superficie, repetir este procedimiento para los dos tercios restantes; sin embargo, en el último, rellenar el material a sobre – volumen, posteriormente apisonar, nivelar y enrasar el material sobrante.

- Finalmente, determinar la masa del recipiente con el material compactado y registrar.

• **Procedimiento para peso suelto**

- Vaciar el material en el recipiente a una altura que no exceda los 50 mm encima de su borde superior. El material será vertido con la pala o cucharón hasta el reboce del recipiente, finalmente enrasar y retirar el material que exceda.

- Determinar la masa del recipiente con el agregado suelto y registrar.

• **Cálculo**

**Densidad de masa:** Calcular la densidad para el agregado fino y grueso, mediante los procedimientos de apisonado y peso suelto como sigue:

$$M = (G - T)/V$$

*Ecuación N° 14: Densidad de masa por volumen*

$$M = (G - T) * F$$

*Ecuación N° 15: Densidad de masa por factor de recipiente*

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m<sup>3</sup>

G = Masa suelta o compacta, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, 1/m<sup>3</sup>

**Volumen del recipiente:** Calcular el volumen del recipiente de la siguiente manera:

$$V = (W - M)/D$$

*Ecuación N° 16: Volumen del recipiente*

$$F = D/(W - M)$$

*Ecuación N° 17: Factor de recipiente para 1m<sup>3</sup>*

Donde:

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

W = Masa del agua y recipiente, kg

M = Masa del recipiente, kg

D = Densidad del agua para la temperatura medida, kg/m<sup>3</sup>

F = Factor para el recipiente, 1/m<sup>3</sup>

#### 2.4.5. Diseño de mezcla

En la actualidad, en el Perú no existe una norma que nos muestre valores para diseñar concretos ligeros, no obstante, la presente investigación pretende obtener nuevos lineamientos y consideraciones para la fabricación de concreto con pesos minorados. Principalmente el diseño de mezcla nace a partir de la normativa ACI-211 con las propiedades de los agregados, se realizará el diseño de mezcla según el método propuesto por el ACI-211, para obtener los pesos de los materiales convencionales (cemento, agua, agregado fino y agregado grueso), luego se incorpora los aditivos de acuerdo a lo señalado, a partir del peso del cemento.

A continuación, se describe el procedimiento, de la siguiente manera:

##### 2.4.5.1. Procedimiento de diseño de mezcla

El procedimiento viene de una secuencia consecutiva y ordenada, mediante los siguientes pasos:

**- N°1 Elección de la resistencia de diseño:**

La elección de la resistencia de diseño se calcula de acuerdo a la resistencia a la compresión, para la investigación se toma una resistencia a compresión  $f'_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup>, debido a que es una resistencia efectiva e idónea para elementos estructurales.



**Tabla N° 22:** Selección de la resistencia promedio requerida

Resistencia de diseño	Resistencia de diseño requerida
$f_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
menos de 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
sobre 350	$f_c + 98$

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

**- N° 2: Determinación del asentamiento**

Para seleccionar el asentamiento se emplea la tabla 23, para el tipo de estructuras a colocar el concreto.

**Tabla N° 23:** Asentamientos recomendados

Tipo de estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin esfuerzo	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimentos y losas	3"	1"
Concreto masivo	3"	1"

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

**- N° 3: Elección del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado.**

El presente dato requerido, es calculado en el análisis granulométrico del agregado grueso, siendo el menor tamaño de la malla donde pasa la mayor cantidad del agregado o en efecto, la malla donde se produce el primer retenido.

**- N° 4: Contenido de aire atrapado**

El contenido de aire atrapado, se selecciona con el dato del tamaño máximo del agregado, descrito en el paso N°24.

**Tabla N° 24:** Contenido de aire atrapado

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3
1/2"	2.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3

6"

0.2

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

### - N° 5 Elección del contenido de agua

El contenido de agua se selecciona con dos factores claves para determinar el contenido de agua, los factores son el asentamiento deseado de la mezcla con el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

**Tabla N° 25: Cantidad de agua de mezcla**

Asentamiento	agua en lt/m <sup>3</sup> para los tamaños máximos nominales de agregado y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
3 a 4	220	216	205	193	181	169	145	124
6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	--
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	--

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

### - N° 6 Determinación de la relación agua/cemento, conforme a la resistencia a la compresión (f'c).

Para el diseño de mezcla con un determinado dato de esfuerzo a la compresión, se emplea la relación a/c para concreto sin aire incorporado. Los valores se muestran en la tabla N° 26, en caso la resistencia requerida no se encuentre en la tabla, de debe calcular interpolando los valores.

**Tabla N° 26: Relación agua/cemento de la mezcla de concreto**

F'c (28días)	Relación agua-cemento diseño en peso	
	sin aire incorporado	con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
210	0.68	0.53
250	0.62	0.46
280	0.57	0.4
300	0.55	--
350	0.48	--
400	0.43	--
420	0.41	--
450	0.38	--

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

### - N° 7 Cálculo de contenido de cemento

Se calculará la cantidad de cemento, dividiendo el volumen de agua calculado en el paso N° 5, sobre la relación a/c del paso N° 6, con la siguiente expresión:

$$\text{cantidad de cemento} = \frac{\text{contenido de agua}}{\text{relación a/c}}$$

**Ecuación N° 18:** Cantidad de cemento

Fuente:(ACI 211.1, 2016)

### - N° 8 Cálculo de peso de agregado grueso

Se calcula el peso del agregado grueso con la relación de volumen del Agregado Grueso seco compactado por la unidad de volumen de concreto (b/bo) que es multiplicado por el Peso Unitario Compactado del agregado grueso. Dicha relación se obtiene de la tabla N° 27, interpolando linealmente con datos de: tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino.

**Tabla N° 27:** "Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto"

Tamaño máximo nominal	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de Volumen del concreto (b/bo), para diversos módulos de fineza			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7
2"	0.75	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (ACI 211.1, 2016)

$$\frac{b}{bo} = \text{volumen seco compacto de agregado grueso VS unidad de volumen del concreto}$$

**Ecuación N° 19:** Relación del peso seco compacto por 1m<sup>3</sup> de concreto

Entonces el peso del agregado grueso es calculado por la siguiente expresión:

$$P. A. G. = \frac{b}{bo} \times \text{Peso Unitario Compactado del agregado grueso}$$

**Ecuación N° 20:** Peso del agregado grueso para 1m<sup>3</sup> de concreto

### - N° 9 Volumen y Peso del Agregado Fino

El cálculo del volumen del agregado fino se presenta a través de volúmenes absolutos de cada material, hasta el momento tenemos los datos de sus pesos secos del cemento, agua, agregado grueso y aire; al dividir el peso seco de cada material por su correspondiente peso específico, obtenemos el volumen absoluto de cada insumo. Entonces, para obtener el volumen que ocupa el agregado fino en 1m<sup>3</sup> de concreto, se resta la unidad con la sumatoria de volúmenes absolutos conocidos de cada material.

*Tabla N° 28: Volúmenes absolutos*

Material	Peso seco (kg)	Volumen Absoluto (m <sup>3</sup> )
Cemento	P. cemento	PC/P.E cemento (A)
Agua	P. agua	PA/P.E agua (B)
Agregado grueso	P. piedra	PAG/P.E piedra (C)
Aire	% aire	%aire/100 (D)
Agregado fino	Vol. Agregado Fino = 1 - Σ (Vol. Cemento + agua+ agregado grueso + aire)	

Fuente: Elaboración propia

El peso del agregado fino, se calcula multiplicando su volumen por su peso específico.

$$\text{Peso Agregado fino} = \text{Vol. Agregado fino} * P. E. A. F$$

*Ecuación N° 21: Peso del agregado fino para 1m<sup>3</sup> de concreto*

### - N° 10 Corrección por humedad de agregados, aporte de agua en la mezcla y agua efectiva.

Los agregados son corregidos por su contenido de humedad, para obtener el peso final de los agregados.

$$\text{Peso corregido de agregados} = \text{Peso seco} * \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

*Ecuación N° 22: Cálculo del peso corregido por humedad de los agregados.*

#### Aporte de agua a la mezcla

El aporte de agua de mezcla se calcula con el agregado grueso y agregado fino con sus pesos secos, se multiplicarán por la diferencia del contenido de humedad con el porcentaje de absorción, divididos entre 100. A continuación, se detallan en las siguientes expresiones:

$$\text{Contribución de agua para AG} = \left(\frac{\%C. Ha. g - \%Abs. ag}{100}\right) * \text{Peso seco AG}$$

*Ecuación N° 23: Contribución de agua para agregado grueso*

$$\text{Contribución de agua para AF} = \left( \frac{\%A. H af - \%Abs. af}{100} \right) * \text{Peso seco AF}$$

*Ecuación N° 24: Contribución de agua para agregado fino*

### **Cálculo de agua efectiva en la mezcla**

El agua efectiva en la mezcla es la cantidad final que se usará para la elaboración del concreto. Se calcula al restar el agua de diseño seco con la sumatoria del agua de aporte de los agregados.

$$\text{Agua efectiva} = A_{\text{seco}} - (A_{\text{ag}} + A_{\text{af}})$$

*Ecuación N° 25: Agua efectiva a usar en la mezcla*

### **- N°11 Proporcionamiento del diseño**

Finalmente se obtiene el resultado de todos los materiales con sus respectivos pesos.

#### **2.4.5.2. Concreto ligero (con Ad. espumante)**

La propiedad de concreto ligero, se logra con la incorporación de aditivo espumante sikalighcrete, en su presentación líquida.

- **Determinación de la dosificación de aditivo espumante SikaLighcrete.**

Según la ficha técnica del aditivo, las dosificaciones están en el rango de 0.5 kga 4 kg totales, por metro cúbico de concreto fresco. (Sika® Lightcrete PE, 2014).

En la investigación con el objetivo de verificar la influencia del aditivo en la mezcla con la finalidad de minorar el peso del concreto, se empleará tres dosificaciones de 1 L, 2 L y 3 L por metro cúbico de mezcla.

#### **2.4.5.3. Concreto ligero más microsílce (Ad. Espumante + Microsílce).**

Para la obtención de un concreto ligero con propiedades de resistencia estructural, es necesario incorporar a la mezcla microsílce "Sika Fume", y así evaluar el desempeño del aditivo en la mezcla.

- **Determinación de la dosificación de aditivo espumante SikaLighcrete.**

Se determina la cantidad apropiada de acuerdo a tres dosificaciones en el estudio, para la elección se considera la ficha técnica del producto recomienda su uso en la dosificación como máximo del 10% del peso del cemento. (SikaFume®, 2021).

En el presente estudio se verificará el contenido óptimo de microsílce, por ello se empleará las dosificaciones de: 5%, 7.5% y 10% del peso del cemento para evaluar sus propiedades. Dichas cantidades serán analizadas con las 3 proporciones del diseño

de mezcla con aditivo espumante, se aplicará los mismos porcentajes para las 3 cantidades descritas de aditivo espumante.

A continuación, se muestran los diseños de mezcla del concreto con la dosificación de 1L, 2L y 3L, de proporción de aditivo espumante, dentro de cada mezcla se incorpora microsílize en la proporción de 5%, 7.5% y 10%, en función de su volumen que ocuparan en 1 metro cúbico de mezcla.

## 2.4.6. Ensayos del Concreto en estado fresco

### 2.4.6.1. Elaboración y curado de especímenes según NTP 339.183

La preparación de especímenes comprende la preparación de los materiales, posteriormente el mezclado del concreto y finalmente la preparación y curado de los especímenes con la finalidad de proporcionar muestra con la finalidad de investigación. (NTP 339.183, 2013)

- **Aparatos**

**Molde Cilíndrico:** El molde debe de ser de acero, fierro fundido u otro material el cual le brinde la propiedad de ser impermeable, el material del molde no debe de ser reactivo con el cemento Portland u otros cementos hidráulicos. El molde presenta un diámetro de 4" y una longitud de 8".

**Varilla de compactación:** La varilla para la compactación será larga con 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud.

**Martillo de goma:** El martillo de goma tendrá un peso de  $0.6 \text{ kg} \pm 0,20 \text{ kg}$ .

- **Especímenes**

**Espécimen Cilíndrico:** La elaboración de un espécimen cilíndrico, debe de tener un diámetro que por lo menos sea tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Cuando exceda el tamaño máximo en 50mm, la muestra tiene que pasar a través del tamiz 50mm en estado fresco.

- **Preparación de los materiales**

**Temperatura:** Antes de mezclar los materiales, deben de mantener una temperatura en el rango de  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Cemento:** Almacenar el cemento en un ambiente que se encuentre a prueba de humedad (seco), en recipientes preferiblemente de metal.

**Agregados:** En el agregado grueso es necesario separar las fracciones individuales de tamaño conveniente para cada tanda y posteriormente se debe de mezclar en proporciones adecuadas para producir el tamaño deseado.

Para evitar la segregación, el agregado fino que no cumpla con la condición de separarse individualmente en fracciones, debe de mantenerse húmedo hasta su uso.

Determinar el peso del agregado a ser utilizado en la tanda, antes de ser añadido a la mezcla, para asegurar una condición húmeda y uniforme.

- **Procedimiento:**

#### **Mezclado del concreto**

El mezclado se efectúa en una mezcladora mecánica, en tandas de tal manera que el exceso sea el 10 % para después hacer el moldeado de especímenes. Antes de hacer girar al mezclador, se añade el agregado grueso, la solución del aditivo y parte del agua. En el caso en donde el aditivo requiera ser dispersado en el agua de mezcla, primero se hacer rotar el mezclador, seguido se añade el agregado fino, el cemento y agua, con la maquina en rotación. Una vez los ingredientes estén totalmente en la mezcladora, "mezclar durante 3 min seguidos por 3 min de reposo y luego 2 min finales de mezclado. Colocar el concreto en un recipiente limpio y húmedo y remover con lampa o cucharón hasta que tome una textura uniforme.

- **Elaboración de especímenes**

#### **Lugar de moldeo**

El lugar del moldeo se recomienda que sea lo más cerca posible al lugar de almacenamiento de los especímenes, en las próximas 24 horas después de su colocación. Colocar las probetas a buen recaudo en una superficie que evite en su totalidad vibraciones u otro tipo de perturbaciones. Si es necesario el traslado de los especímenes, se tiene que evitar cualquier tipo de tope, choque inclinación de la superficie.

#### **Moldeo**

Para el moldeo se tiene que verificar que la cantidad de la mezcla sea representativa de la tanda. Agregar la mezcla de concreto de tal modo que el cucharón o lampa estén alrededor del borde superior del molde, mientras el concreto es descargado con el fin de asegurar una distribución simétrica para prevenir posible segregación de agregado grueso dentro del molde. Así mismo, con la ayuda de la varilla compactadora, se distribuye bien el concreto, en todas las capas que sean necesarias; en la capa final, el

operador deberá vaciar la cantidad exacta para llenar completamente el molde luego de la compactación.

### Número de capas.

Las capas están de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla:

*Tabla N° 29: "Número de capas requerida por espécimen"*

Tipo y tamaño de espécimen mm (pulg)	Modo de consolidación	Número de capas de aproximadamente igual profundidad
<b>Cilindros</b>		
<b>Diámetro en mm (pulg)</b>		
75 a 100 ( 3 o 4 )	varillado	2
150 (6)	varillado	3
225 (9)	varillado	4
Hasta de 225 (9)	varillado	2
<b>Prismas y cilindros horizontales para escurrimiento plástico:</b>		
<b>Profundidad en mm (pulg)</b>		
Hasta 200 (8)	varillado	2
Más de 200 (8)	varillado	3 o más
Hasta 200 (8)	vibración	1
Más de 200 (8)	vibración	2 o más

**Fuente:** (NTP 339.183, 2013)

### Varillado

Colocar el concreto en las capas estipuladas, de igual volumen. El varillado se ejecuta en cada capa con el extremo redondeado de la varilla con el número de golpes y con el tamaño de varilla recomendado en la Tabla N° 30, la primera capa inferior en toda su profundidad, para las capas superiores la varilla debe penetrar a través de la capa que está siendo varillada dentro de la capa inferior aproximadamente 25mm. Después de ejecutar el varillado, golpear los lados del molde con el martillo de goma de 10 a 15 veces, para evitar vacíos producidos por el varillado.

*Tabla N° 30 : "Diámetro de varilla y número de varillados a ser usados al moldear especímenes de prueba"*

### CILINDRO



Diámetro del cilindro mm (pulg)	Diámetro de la varilla mm (pulg)	Número de golpes/capa
75 (3) a < 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75

#### VIGAS Y PRISMAS

Área Superficial superior del espécimen cm <sup>2</sup> (pulg <sup>2</sup> )	Diámetro de la varilla mm (pulg)	Número de golpes/capa
160 (25) o menos	10 (3/8)	25
165 a 310 (26 a 49)	10 (3/8)	Una por cada 7 cm <sup>2</sup> (1 pulg <sup>2</sup> ) de superficie
320 (50) a más	16 (5/8)	una por cada 14 cm <sup>2</sup> (2pulg <sup>2</sup> ) de superficie

#### CILINDROS HORIZONTALES PARA ESCURRIMIENTO PLASTICO

Diámetro del cilindro mm (pulg)	Diámetro de la varilla mm (pulg)	Número de golpes/capa
150 (6)	16 (5/8)	50 total, 25 a lo largo de ambos lados del eje

Fuente: (NTP 339.183, 2013)

- **Curado**

#### Almacenamiento inicial

Para evitar la evaporación del concreto no endurecido, es necesario cubrir la probeta con un material no absorbente, es recomendable usar una lámina de plástico resistente, durable e impermeable. Los especímenes serán almacenados inmediatamente después del acabado hasta que sean retirados de los moldes con el objetivo de evitar la pérdida de humedad.

#### Desmoldado

El desmoldado de los especímenes será después de  $24 \pm 8$  h después de haber hecho el vaciado del concreto.

#### Ambiente de curado

Los especímenes deberán ser curados con humedad constante a una temperatura de  $23 \pm 2$  °C. La condición de curado se cumple al usar tanques de almacenamiento de

agua. Los especímenes de concreto estructural ligero serán curados de acuerdo a la norma ASTM C 330.

#### 2.4.6.2. Temperatura del Concreto (NTP 339.184)

“La presente Norma Técnica Peruana se aplica para determinar la temperatura de mezclas de concreto recién mezclado. La temperatura tomada es únicamente válida para el estado del concreto en el instante de la prueba, posteriormente, no puede ser un dato de indicación. Puede ser usado para efectuar una verificación con un requerimiento especificado para la temperatura requerida del concreto recién mezclado en campo (NTP 339.184, 2013)”.

- **Aparatos**

**Recipiente:** El recipiente debe contar con la capacidad de almacenar concreto con las siguientes condiciones: deberá contener al menos 75 mm de concreto en todas las direcciones en referencia al sensor del dispositivo que se emplea para la medición de la temperatura; finalmente, el espesor de concreto tiene que ser mayor a tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

**“Dispositivo para medición de temperatura”:** El instrumento para determinar la medición de la temperatura debe de contar con la capacidad de medir con precisión, con una precisión de  $\pm 0.5$  °C, dentro del rango de temperatura de 0°C a 50°C. El dispositivo tiene que ser necesariamente de inmersión de al menos de 75 mm en el concreto. (NTP 339.184, 2013)”.

- **Muestreo.**

Medir la temperatura de la mezcla, después de la descarga, si las condiciones cumplen que el dispositivo debe de estar rodeado por 75 mm de recubrimiento en todas las direcciones, para medir únicamente la temperatura, el muestreo según NTP 339.036, puede ser obviado.

- **Procedimiento**

Sumergir el sensor del dispositivo de medición a 75 mm como mínimo, para que la temperatura ambiente no afecte al resultado es necesario presionar levemente el concreto en la zona rodeada por el dispositivo.

El dispositivo se debe de mantener sumergido en concreto por un mínimo de 2 minutos, pero no por más de 5 minutos, finalmente tomar la lectura y registrar con una

aproximación de 0.5 °C, al momento de tomar la lectura no se debe de retirar el dispositivo del concreto.

- **Expresión de Resultado**

Informar la temperatura registrada al concreto en estado fresco con una aproximación de 0.5 °C.

#### 2.4.6.3. Asentamiento del Concreto NTP 339.035

La presente norma técnica nos brinda parámetros para calcular el asentamiento del concreto en estado plástico, para concretos con agregados con tamaño máximo de 37.5 mm (NTP 339.035, 2009).

- **Aparatos**

**Moldes:** El molde de ensayo debe de estar compuesto de metal con un espesor no menos de 1.5 mm, el molde debe de tener la forma en su superficie lateral de un cono trunco, de diámetro de 200 mm (8 pulgadas) en la base y un diámetro de 100 mm (4 pulgadas), en la parte superior y con una altura de 300 mm (12 pulgadas).

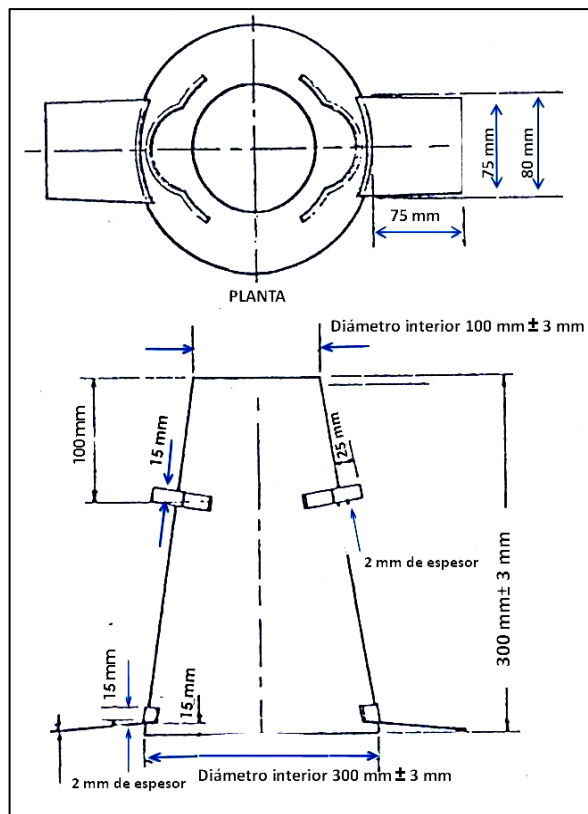
**Barra compactadora:** Varilla con dimensiones de 600 mm de longitud aproximadamente, 16 mm de diámetro, en un extremo o en ambos debe de tener una superficie de compactación redondeado a una semiesfera con diámetro de 16 mm.

**Dispositivo de medida:** Dispositivo para medir el asentamiento, como una regla, una cinta métrica de metal (wincha), cuya graduación de medición debe de estar establecida cada 5 mm o menores; con una longitud no menor a 300 mm.

**Cucharón:** Instrumento con un tamaño y forma apropiado, para verter la cantidad suficiente y representativa del recipiente que contiene la mezcla, al molde sin derramar.

- **Muestreo.**

El muestreo representativo debe de estar de acuerdo a la norma NTP 339.036.



**Figura N° 8:** Especificaciones del molde para el ensayo de asentamiento (slump)  
Fuente: (NTP 339.035, 2009).

### • Procedimiento

Se humedece el molde, establecer sobre una superficie lisa, rígida, plana, no absorbente y húmeda. Se fija de una manera firme en el lugar del vaciado, se pisa las aletas y se asegura que el perímetro siempre se encuentre limpio. Se llena el molde en tres capas, de tal manera que cada capa corresponda la tercera parte del volumen del molde, se coloca el concreto con el cucharón de manera uniforme, moviendo a través del perímetro del molde.

Cada capa será compactada con 25 golpes con la barra compactadora, los golpes serán distribuidos de manera uniforme en la sección, en la primera capa es imprescindible inclinara un poco la barra, de manera que la mitad de los golpes iniciales sean alrededor del perímetro, acercándose en espiral uniformemente hacia el centro de la sección. La capa inferior se compacta en todo su espesor, las siguientes dos capas se compactan penetrando ligeramente en la capa inferior.

El molde se debe de llenar en exceso en la última capa, antes de iniciar el compactado, a continuación, se enrasa con la barra compactadora rodando sobre el borde superior del molde y posteriormente se tiene que eliminar el concreto sobrante de alrededor del

molde. Finalmente se levanta el molde del concreto levantándolo verticalmente a una altura de 300 mm en  $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ , con movimiento ascendente y firme.

Se procede a medir inmediatamente, marcando la diferencia entre la altura del molde y la altura del centro de la muestra desplazada, a la cara superior del cono deformado.

- **Informe**

Brindar el asentamiento de la muestra en milímetros, con la aproximación a 5mm.

#### 2.4.6.4. Peso Unitario según NTP 339.046

“Se establece el método de ensayo para determinar la densidad del concreto en estado fresco y se brinda las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire”. (NTP 339.046, 2008).

- **Aparatos**

**Balanza:** Dispositivo con precisión de 45 g o con 0.3 % de la carga del ensayo, seleccionar el que sea mayor para la condición.

**Barra compactadora:** Barra cilíndrica de acero con un diámetro de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con un extremo o con sus dos extremos redondeado, con punta esférica con un diámetro de 16 mm.

**Recipiente de medida:** Recipiente de metal de forma cilíndrica, con la capacidad descrita en la tabla N° 32, según el tamaño máximo nominal del hormigón.

*Tabla N° 31: “Capacidad de los recipientes de medición”*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Capacidad del recipiente de medición	
pulg	mm	pie <sup>3</sup>	L
1	25,0	0,2	6
1 ½	37,5	0,4	11
2	50	0,5	14
3	75	1,0	28
4 ½	112	2,5	70
6	150	3,5	100

**Fuente:** (NTP 339.046, 2008)

**Placa de alisado:** Placa de metal con espesor de 6 mm o placa acrílica con 12 mm de espesor, la placa debe de ser rectangular y plana. La longitud y ancho es 50 mm mayor que el diámetro del recipiente.

**Mazo:** Mazo de caucho o cuero con un peso entre  $600 \pm 200$  g, para el uso de recipientes de medida de hasta 14 L, y mazos de  $1\ 000 \pm 200$  para recipientes con volúmenes mayores.

**Cuchara:** Instrumento con un tamaño y forma apropiado, para verter la cantidad suficiente y representativa del recipiente que contiene la mezcla, al molde sin derramar.

- **Muestra**

El muestreo representativo debe de estar según lo estipulado en la norma NTP 339.036.

- **Procedimiento**

Colocar el concreto en el recipiente de medición, usando la cuchara, alrededor del perímetro del recipiente a manera de que el concreto al caer en el recipiente se distribuya de manera uniforme, seleccionar el método de consolidación de acuerdo al asentamiento; para concretos con asentamientos mayores a 75 mm se emplea el método de apisonado, para asentamientos entre 25 mm y 75 mm se aplica apisonado y vibrado, y para concretos con asentamientos menores a 25 mm se aplica el método de consolidación por vibrado.

**Método de consolidación por apisonado,** para el presente método se coloca el concreto en el recipiente de medida en tres capas de aproximadamente de similar volumen. Apisonar con 25 golpes por capa para recipientes con capacidad de hasta 14 L, 50 golpes para recipientes de hasta 28 L, y un golpe cada 15 cm<sup>2</sup> de superficie para recipientes de medición con capacidades mayores.

Aplicar los golpes de manera uniforme a través del perímetro del recipiente, para la segunda y tercera capa se debe penetrar ligeramente en 25 mm la capa inferior inmediata; después del apisonado, con el mazo se deberá golpear los lados del recipiente de 10 a 15 golpes, con la fuerza necesaria para eliminar poros causados por la barra de apisonado.

**Alisado,** después del método de consolidación empleado se debe de alisar la superficie del concreto en su borde superior con ayuda de la placa rectangular, cuidando que el recipiente quede totalmente lleno y nivelado.

**Limpiado y pesado,** posteriormente del alisado se debe de limpiar el exceso de concreto y muestra adherida a las paredes del recipiente, luego en la balanza determinar la masa del concreto.

- **Cálculo**

**Densidad (peso unitario)**, se divide la masa neta del concreto sobre el volumen de la medida.

$$D = (M_c - M_m) / V_m$$

*Ecuación N° 26: Densidad o Peso Unitario de mezclas de concreto*

Donde:

D : densidad (peso unitario) del hormigón (concreto), en kg/m<sup>3</sup>

Mc: masa del recipiente de medida lleno de hormigón (concreto), en kg

Mm: masa del recipiente de medida, en kg

Vm: volumen del recipiente de medida, en m<sup>3</sup>.

*Tabla N° 32: Clasificación del Concreto según su densidad*

<b>Concreto ligero</b>	1850 - 2200 kg/m <sup>3</sup>
<b>Concreto normal</b>	2200 - 2400 kg/m <sup>3</sup>

**Fuente:** (Valarde, 2017)

#### 2.4.6.5. Contenido de Aire según NTP 339.080

La presente norma es aplicable para concretos elaborados con agregados con densidad convencional. El método del ensayo es empleado para determinar el contenido de aire en el concreto recién mezclado; el método solo es útil para determinar el contenido de aire del concreto fresco sin considerar los vacíos de los agregados.

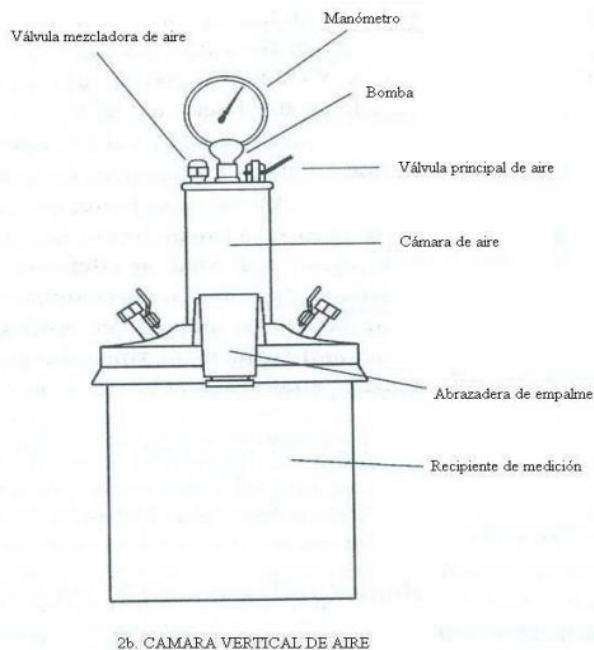
- **Aparatos**

##### **Medidor tipo B**

Consiste en un recipiente con una cubierta, que se encarga de igualar un volumen de aire conocido, a una presión conocida, dentro de una cámara de aire sellada, con un volumen desconocido de aire en la muestra del concreto; con la ayuda del manómetro, compuesto dentro de la cubierta, se puede medir el aire atrapado en la muestra.

El manómetro brinda la información de la presión expresado en porcentaje de aire, el cual se puede ser usado de manera satisfactoria para presiones de trabajo comprendidas entre 51 kPa y 207 kPa.

En la siguiente figura se muestra el medidor tipo b:



**Figura N° 9:** Medidor de Aire tipo b con cámara vertical de aire  
Fuente: (NTP 339.080, 2011)

### **Recipiente de medida**

El recipiente que contendrá la muestra de concreto debe de ser únicamente de forma cilíndrica, preferentemente de acero, con un diámetro comprendido ente 0.75 y 1.25 veces su altura, con capacidad no mayor a 5.7 L. El recipiente debe de garantizar una junta hermética con la cubierta y lograr una presión de ajuste adecuada entre el recipiente y la cubierta ensamblada.

### **Cubierta**

La cubierta debe de ser de acero u otro material que no se vea afectado por la pasta de cemento, sus superficies de empalme deben de ser pulidas, elaboradas por medio mecánico y conformados para que se establezca un espacio de aire por encima del nivel del borde de recipiente de medida.

La cubierta con cámara vertical de aire está equipada con un manómetro, el cual permite la lectura directa del contenido de aire, el manómetro debe de estar calibrado para indicar el contenido de aire expresado en porcentaje.

### **Tubo Rociador**

Tubo empleado para añadir agua al recipiente, bien sea rociada o baje directamente por las paredes interiores de la cubierta, y así el agua que desciende, evite perturbación



al concreto. El tubo debe ser de bronce con un diámetro apropiado, el cual debe ser parte de la cubierta o como accesorio separado.

### **Plancha**

Plancha de enrase normalizada para mampostería

### **Varilla de Apisonado**

Varilla de acero lisa con punta redondeada de  $16\text{mm} \pm 2\text{mm}$  de diámetro. La varilla debe de tener una longitud de 400 mm a 600 mm de longitud total, la varilla debe de cumplir con los requisitos de NTP 339.033, NTP 339.046, NTP 339.035, NTP 339.081.

### **Mazo**

Mazo con punta de goma con una masa de  $0.57\text{ kg} \pm 0.23\text{ kg}$  para usarla en recipientes que tengan un volumen de hasta 14 L.

### **Platina (Lámina de Enrase)**

Lámina rectangular de acero con 6 mm de espesor como mínimo, la longitud y ancho de la lámina de acero como mínimo debe de ser 50 mm más que el diámetro del recipiente de medida a usar. La cara de la platina debe de ser acabada y lisa con tolerancia de 1.5 mm.

### **Embudo**

Embudo que permita un empalme con el tubo rociador para verter agua.

### **Medidor de Agua**

Contenedor de agua con la suficiente capacidad para llenar el indicador con agua.

### **Cuchara**

Instrumento con un tamaño y forma apropiado, para verter la cantidad suficiente y representativa del recipiente que contiene la mezcla, al molde sin derramar.

## **• Procedimiento**

### **Preparación del ensayo**

Luego de haber vertido la muestra de concreto en el recipiente de medida en tres capas, debidamente apisonado por 25 golpes por capa y finalmente enrasado con un buen acabado; se procede a limpiar completamente los bordes del recipiente y de la cubierta, de tal manera que cuando la tapa se ajuste en su lugar, se tenga un sello hermético, además, se debe de cerrar las grapas de la cubierta en cruz, para garantizar el cierre.

## Ensayo

Inicialmente se cierra la válvula de purga de aire, seguidamente se incorpora agua con el medidor por un lado de la válvula de bronce, para así empujar el aire hacia la otra salida para llenar el vacío entre el concreto y la tapa de la cubierta; verter agua hasta eliminar cualquier burbuja visible dentro de la válvula.

Posteriormente, bombear de aire dentro de la cámara de aire, hasta que la manecilla del manómetro esté en línea de presión inicial, calibrada previamente, dejar pasar unos segundos hasta que el aire comprimido se enfríe a temperatura estable, golpear el manómetro suavemente con la mano. Cerrar los grifos en los huecos de la cubierta, luego de ello se abre la valvula de aire, al instante seguido golpear con el mazo de goma los lados del recipiente, para eliminar restricciones locales; golpear nuevamente el manómetro con la mano, para estabilizar la manecilla. El porcentaje de aire atrapado se lee directamente en la manecilla del manómetro estabilizado.

Finalmente descargar la válvula principal de aire y evitar que antes de liberar la presión del contenedor tanto como la cámara de aire, conlleve a que penetre agua a la cámara de aire.

- **Informe**

El contenido de aire de la muestra se reporta con una aproximación de 0.1%

### 2.4.7. Ensayo de Concreto en estado endurecido.

#### 2.4.7.1. Resistencia a la compresión del concreto según NTP 339.034

Ensayo para determinar la resistencia mecánica de compresión de especímenes cilíndricos de concreto, limitado para concreto con masa unitaria mayor a 800 kg/m<sup>3</sup> (NTP 339.034, 2015).

- **Aparatos**

**Máquina de ensayo:** La máquina debe de ser la apropiada en capacidad conveniente para proveer la velocidad de carga aplicable.

- **Probetas**

- Las probetas que difieran en 2% del diámetro individual de un cilindro, comparado con el diámetro de cualquier otro cilindro, de la misma tanda no serán ensayados.

- Las bases de las probetas no perderán perpendicularidad a los ejes por más de 0,5°, la misma base en compresión de la probeta que no sea plana dentro de 0.050 mm, serán acondicionadas para que cumplan con la condición indicada. El diámetro que se

empleará para hacer el cálculo del área transversal, es determinado con aproximación de 0.25 mm por el promedio de 2 diámetros medidos en ángulo recto uno del otro y cercano a la altura media de la probeta. El número de diámetros calculados en promedio serán de uno por cada 10 probetas por día.

- **Procedimiento**

Los ensayos de compresión son hechos tan pronto sea posible, después de retirarlos del almacén de curado. Los cilindros se deben de proteger ante cualquier tipo de pérdida de humedad entre el procedimiento de retirar del almacén de humedad al ejecutar el ensayo.

Todas las probetas serán ensayadas con una determinada edad y serán fracturados según la tabla 33, dependiendo del investigador o especificación en mención dentro de un proyecto.

**Tabla N° 33:** Edades de ensayo y tolerancias permisibles

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 h	± 0,5 h ó 2,1 %
3 d	± 2 h ó 2,8 %
7 d	± 6 h ó 3,6 %
28 d	± 20 h ó 3,0 %
90 d	± 48 h ó 2,2%

**Fuente:** (NTP 339.034, 2015)

- Colocación: Coloque el bloque de ruptura inferior, sobre el cabezal de la máquina de prueba. El bloque de ruptura superior legítimamente debajo del apéndice giratorio del cabezal. Limpiar las apariencias de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta a ensayar y ubique el cilindro en el bloque de ruptura inferior. Ajuste con cuidado los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado
- La carga será aplicada a velocidad que va de aumento continuamente y sin detenerse hasta la rotura final del testigo.
- Aplicar la carga, mientras el indicador de carga vaya disminuyendo gradualmente y luego constantemente hasta que el espécimen muestre un patrón de fractura muy definido, detener hasta que el valor de la carga no sea menor que el 95 % comparado con la carga máxima.
- **Cálculos** La resistencia del concreto es expresada en kg/cm<sup>2</sup>, es obtenido al dividir la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo entre el área promedio de la sección recta determinada.

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Area (cm}^2\text{)}}$$

*Ecuación N° 27: Resistencia a la compresión simple del concreto*

*Tabla N° 34: Clasificación del concreto, según su resistencia a compresión*

Concreto Estructural	Mayor o igual a 175 kg/cm <sup>2</sup>
Concreto no Estructural	Menos de 175 kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** (NORMA E060)

#### 2.4.8. Análisis de Resultados

Los resultados de los ensayos de la investigación serán evaluados mediante el análisis de varianza, con el método Anova bi factorial debido a que presenta dos variables independientes (peso unitario y resistencia a la compresión), para lo cual se verificará las hipótesis propuestas dentro de la investigación.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Propiedades físicas del agregado fino

A continuación, se muestra el resumen de las propiedades físicas del agregado fino (arena gruesa), los cuales fueron ensayados de acuerdo a la "Norma Técnica Peruana (NTP)" correspondiente; en la tabla N° 35 se muestra el resumen de las propiedades como peso específico de masa, peso unitario compacto, peso unitario compactado, peso unitario suelto, contenido de humedad, absorción y módulo de finura.

*Tabla N° 35: Propiedades físicas del agregado fino.*

ENSAYO	VALOR	LÍMITE SEGÚN (NTP 400.037/ASTM C33)
Peso Específico de Masa (gr)	2.65	N. E
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1753.00	N. E
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1595.00	N. E
Porcentaje de Humedad	0.50	N. E
Porcentaje de Absorción	1.00	N. E
Módulo de finura	2.90	2.3 - 3.1

**Fuente:** Elaboración Propia

Finalmente se presenta los resultados del análisis granulométrico del agregado fino, en la tabla N° 36, se puede apreciar la distribución de sus partículas; además se comprueban los resultados con los límites huso, especificados en la norma "NTP 400.037.

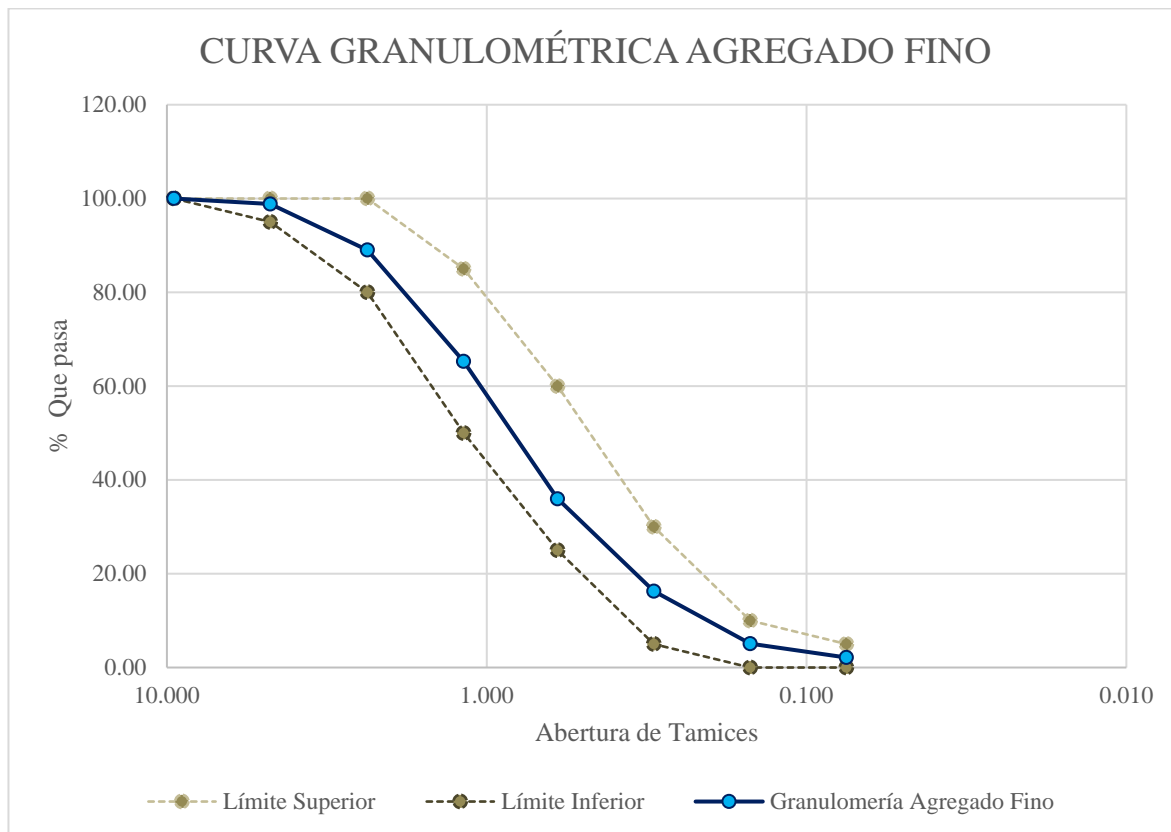
*Tabla N° 36 Análisis Granulométrico del Agregado Fino*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO NTP 400.012							
Material:	AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA						
Cantera:	CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO						
Fecha:	07/04/2021						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites Huso 67 (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
N° 4	4.750	12.40	1.17	1.17	98.83	95.00	100.00
N°8	2.360	103.70	9.81	10.99	89.01	80.00	100.00
N° 16	1.180	251.00	23.75	34.74	65.26	50.00	85.00
N° 30	0.600	309.60	29.30	64.03	35.97	25.00	60.00
N° 50	0.300	208.10	19.69	83.72	16.28	5.00	30.00
N° 100	0.150	118.30	11.19	94.92	5.08	0.00	10.00

N° 200	0.075	31.20	2.95	97.87	2.13	0.00	5.00
Fondo	0.000	22.50	2.13	100.00	0.00		
		1056.80	100.00				

**Módulo de Finura:** 2.90

Fuente: Elaboración Propia



**Figura N° 10:** Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Propiedades físicas del agregado grueso

Se muestran las propiedades del agregado grueso, ensayado de acuerdo a la normativa NTP, normas de acuerdo a las propiedades estudiadas como: peso específico de masa, peso unitario compacto, peso unitario compactado, peso unitario suelto, contenido de humedad, absorción y módulo de finura. En la tabla N° 37, se muestra el resumen de sus propiedades, clasificado según su especificación.

**Tabla N° 37:** Propiedades Físicas Agregado Grueso

ENSAYO	VALOR	ESPECIFICACIONES (NTP 400.037/ASTM C33)
Peso Específico de Masa (gr)	2.72	N. E
Peso Unitario Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1510.00	N. E
Peso Unitario Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1336.00	N. E

Porcentaje de Humedad	0.50	N. E
Porcentaje de Absorción	1.10	N. E
Módulo de finura	6.82	N. E

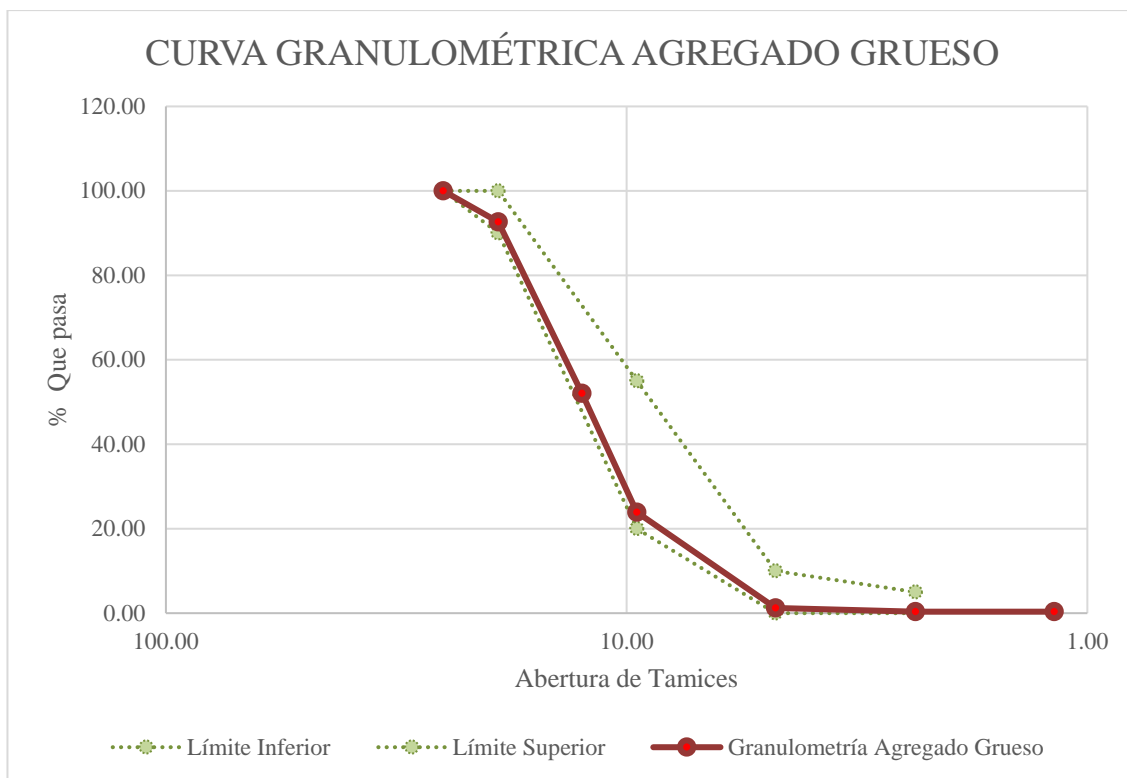
**Fuente:** Elaboración Propia

De la misma manera se presenta el resultado del análisis granulométrico del agregado grueso con sus especificaciones correspondientes:

*Tabla N° 38: Análisis Granulométrico del Agregado Grueso*

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO NTP 400.012</b>							
Material:	AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA						
Cantera:	CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO						
Fecha:	07/04/2021						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Retenido acumulado	% Pasante	Límites Huso 67 (NTP 400.037)	
						Mínimo	Máximo
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.00	372.00	7.36	7.36	92.64	90.00	100.00
1/2"	12.50	2050.00	40.58	47.94	52.06		
3/8"	9.50	1423.00	28.17	76.11	23.89	20.00	55.00
N° 4	4.75	1145.00	22.66	98.77	1.23	0.00	10.00
N°8	2.36	44.00	0.87	99.64	0.36	0.00	5.00
N° 16	1.18	0.00	0.00	99.64	0.36		
Fondo	0.00	18.00	0.36	100.00	0.00		
		5052.00	100.00				
<b>Módulo de Finura:</b>	6.82						
<b>TMN:</b>	3/4"						

**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura N° 11:** Curva granulométrica del agregado grueso  
Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Diseños de mezcla

Se presentan todos los diseños de mezcla elaborados, de acuerdo a las propiedades físicas de los agregados y con las especificaciones técnicas de los aditivos utilizados, se evaluó el contenido de aditivo espumante (Sika Ligthcrete) en tres dosificaciones de 1 l/m<sup>3</sup>, 2 l/m<sup>3</sup> y 3 l/m<sup>3</sup>, dentro de las cuales se incorpora el aditivo microsílce (Sika Fume), en los porcentajes de 0%, 5%, 7.5% y 10% para cada dosificación de agente espumante; además, se ejecutó un concreto patrón para evaluar la influencia de los aditivos en su peso unitario y resistencia. En la tabla N°39 se presenta los pesos de cada insumo de la mezcla de concreto patrón y en la tabla N° 40 los diseños con los aditivos añadidos.

**Tabla N° 39:** Proporción de materiales para concreto patrón

<b>Materiales</b>	<b>Peso Seco (kg)</b>
Cemento	368.71
Agua	214.71
Agregado grueso	921.10
Agregado fino	827.60
Aire %	2.00

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla N° 40: Diseño de mezcla para cada proporción de aditivo espumante y microsíllice**

Sika Fume	Mezcla	Peso real del cemento (kg)	Peso real del agregado grueso (kg)	Peso real de agregado fino (kg)	Peso agua corregido real de diseño (kg)	Aire atrapado (%)	Sika Ligthcrete (Kg)	Sika Fume (kg)
0	CP	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00		
0%	CL1	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	1.00	
5%	CL1 F5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	1.00	18.44
7.5%	CL1 F7.5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	1.00	27.65
10%	CL1 F10	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	1.00	36.87
0%	CL2	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	2.00	
5%	CL2 F5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	2.00	18.44
7.5%	CL2 F7.5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	2.00	27.65
10%	CL2 F10	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	2.00	36.87
0%	CL3	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	3.00	
5%	CL3 F5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	3.00	18.44
7.5%	CL3 F7.5	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	3.00	27.65
10%	CL3 F10	368.71	921.10	827.60	214.71	2.00	3.00	36.87

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla N° 40 se muestran 13 diseños para 1m<sup>3</sup> de concreto, de tal manera, para los efectos de la investigación se considera una proporción de 0.028 m<sup>3</sup> de concreto, dentro de los cuales están proporcionados la sumatoria de volúmenes, tanto para los ensayos de concreto fresco, como para la elaboración de probetas. La proporción de los materiales se muestran en la tabla N°41.

**Tabla N° 41: Proporción de materiales para volumen requerido (0.028m<sup>3</sup>)**

Sika Fume	Mezcla	Peso real del cemento (kg)	Peso real del agregado grueso (kg)	Peso real de agregado fino (kg)	Peso agua corregido real de diseño (kg)	Aire atrapado (%)	Sika Ligthcrete (Kg)	Sika Fume (kg)
0	CP	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06		
0%	CL1	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.03	
5%	CL1 F5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.03	0.52
7.5%	CL1 F7.5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.03	0.77
10%	CL1 F10	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.03	1.03
0%	CL2	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.06	0.00
5%	CL2 F5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.06	0.52
7.5%	CL2 F7.5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.06	0.77
10%	CL2 F10	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.06	1.03
0%	CL3	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.08	0.00
5%	CL3 F5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.08	0.52
7.5%	CL3 F7.5	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.08	0.77
10%	CL3 F10	10.32	25.79	23.17	6.01	0.06	0.08	1.03

**Fuente:** Elaboración Propia

De acuerdo a las mezclas del diseño se elaboraron 3 probetas por cada tipo de mezcla, teniendo un total de 117, las probetas son cilíndricas con diámetro de 10 cm x 20 cm de altura, según NTP 339.183, ASTM C31.

### 3.4. Determinación del peso unitario de las mezclas según NTP 339.046

Se determinó el peso unitario del concreto en estado fresco según la normativa técnica peruana, en la tabla 42 se muestra el detalle de peso unitario para cada mezcla de concreto:

**Tabla N° 42:** *Peso Unitario de todas mezclas y dosificaciones de concreto elaboradas*

Fecha de elaboración	MEZCLA	Masa del recipiente con Concreto Mc (kg)	Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente Vm (m3)	Peso Unitario (kg/m3)
10/05/2021	CP	20.123	3.525	0.007053	2,353.00
10/05/2021	CL1	17.659	3.525	0.007053	2,004.00
10/05/2021	CL1-F5	19.405	3.525	0.007053	2,252.00
10/05/2021	CL1-F7.5	19.541	3.525	0.007053	2,271.00
10/05/2021	CL1-F10	19.751	3.525	0.007053	2,301.00
11/05/2021	CL2	16.314	3.525	0.007053	1,813.00
11/05/2021	CL2-F5	17.534	3.525	0.007053	1,986.00
11/05/2021	CL2-F7.5	18.905	3.525	0.007053	2,181.00
11/05/2021	CL2-F10	19.499	3.525	0.007053	2,265.00
13/05/2021	CL3	15.098	3.525	0.007053	1,641.00
13/05/2021	CL3-F5	17.436	3.525	0.007053	1,972.00
13/05/2021	CL3-F7.5	17.646	3.525	0.007053	2,002.00
13/05/2021	CL3-F10	18.450	3.525	0.007053	2,116.00

**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.5. Determinación del Asentamiento, Temperatura y Contenido de aire

Los datos de la comprobación de Asentamiento, temperatura y contenido de aire se pueden observar en la tabla N°43.

*Tabla N° 43: Asentamiento, Temperatura y Contenido de Aire de las mezclas evaluadas*

Fecha de elaboración	MEZCLA	Asentamiento (in)	Temperatura	Contenido de Aire
10/05/2021	CP	3 1/2"	21 °C	2%
10/05/2021	CL1	5 1/4"	21 °C	15%
10/05/2021	CL1-F5	2"	21 °C	5%
10/05/2021	CL1-F7.5	1 1/2"	21 °C	5%
10/05/2021	CL1-F10	1"	22 °C	4%
11/05/2021	CL2	6 1/2"	22 °C	25%
11/05/2021	CL2-F5	3 3/4"	22 °C	15%
11/05/2021	CL2-F7.5	2 3/4"	22 °C	8%
11/05/2021	CL2-F10	1/2"	21 °C	4%
13/05/2021	CL3	6 1/2"	22 °C	16%
13/05/2021	CL3-F5	3 3/4"	21 °C	12%
13/05/2021	CL3-F7.5	3"	21 °C	11%
13/05/2021	CL3-F10	1 1/2"	21 °C	6%

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.6. Determinación de resistencia a la compresión de probetas de concreto

A continuación, se describe la resistencia a la compresión de las probetas, para las edades consideradas de 7, 14 y 28 días respectivamente. Los datos están separados por 3 grupos donde se los separó identificado por las adiciones de aditivo espumante de 1, 2 y 3 L/M3 para los porcentajes de adición de microsíllice. Además, el concreto patrón sin adiciones, se encuentra dentro del primer grupo.

**Tabla N° 44:** Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M3 a 7 días

Aditivo Espumante	Microsilíce Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0 L/m <sup>3</sup>	0%	CP-1	204	<b>204</b>
		CP-2	216	
		CP-3	192	
1 L/m <sup>3</sup>	0%	CL1-1	63	<b>67</b>
		CL1-2	71	
		CL1-3	66	
1 L/m <sup>3</sup>	5%	CL1 F5-1	177	<b>178</b>
		CL1 F5-2	179	
		CL1 F5-3	178	
1 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL1F7.5-1	178	<b>172</b>
		CL1F7.5-2	172	
		CL1F7.5-3	165	
1 L/m <sup>3</sup>	10%	CL1F10-1	232	<b>231</b>
		CL1F10-2	235	
		CL1F10-3	226	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 45:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M3 de aditivo espumante a 7 días

Aditivo Espumante	Microsilíce Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
2 L/m <sup>3</sup>	0%	CL2-1	38	<b>39</b>
		CL2-2	43	
		CL2-3	36	
2 L/m <sup>3</sup>	5%	CL2 F5-1	87	<b>88</b>
		CL2 F5-2	90	
		CL2 F5-3	87	
2 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL2 F7.5-1	171	<b>166</b>
		CL2 F7.5-2	165	
		CL2 F7.5-3	162	
2 L/m <sup>3</sup>	10%	CL2 F10-1	217	<b>227</b>
		CL2 F10-2	226	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 46:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M3 de aditivo espumante a 7 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
3 L/m3	0%	CL3-1	20	<b>21</b>
		CL3-2	21	
		CL3-3	21	
3 L/m3	5%	CL3 F5-1	85	<b>89</b>
		CL3 F5-2	95	
		CL3 F5-3	87	
3 L/m3	7.5%	CL3 F7.5-1	123	<b>117</b>
		CL3 F7.5-2	111	
		CL3 F7.5-3	118	
3 L/m3	10%	CL3 F10-1	180	<b>184</b>
		CL3 F10-2	179	
		CL3 F10-3	193	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 47:** Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M3 a 14 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
0 L/m3	0%	CP-4	277	<b>262</b>
		CP-5	256	
		CP-6	254	
1 L/m3	0%	CL1-4	91	<b>86</b>
		CL1-5	80	
		CL1-6	86	
1 L/m3	5%	CL1 F5-4	262	<b>256</b>
		CL1 F5-5	266	
		CL1 F5-6	241	
1 L/m3	7.5%	CL1F7.5-4	257	<b>249</b>
		CL1F7.5-5	245	
		CL1F7.5-6	246	

1 L/m <sup>3</sup>	10%	CL1F10-4	310	<b>310</b>
		CL1F10-5	317	
		CL1F10-6	302	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 48:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M<sup>3</sup> de aditivo espumante a 14 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
2 L/m <sup>3</sup>	0%	CL2-4	51	<b>52</b>
		CL2-5	51	
		CL2-6	54	
2 L/m <sup>3</sup>	5%	CL2 F5-4	114	<b>113</b>
		CL2 F5-5	108	
		CL2 F5-6	118	
2 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL2 F7.5-4	227	<b>220</b>
		CL2 F7.5-5	212	
		CL2 F7.5-6	220	
2 L/m <sup>3</sup>	10%	CL2 F10-4	312	<b>306</b>
		CL2 F10-5	303	
		CL2 F10-6	304	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 49:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M<sup>3</sup> de aditivo espumante a 14 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
3 L/m <sup>3</sup>	0%	CL3-4	28	<b>28</b>
		CL3-5	29	
		CL3-6	28	
3 L/m <sup>3</sup>	5%	CL3 F5-4	118	<b>115</b>
		CL3 F5-5	114	
		CL3 F5-6	114	
3 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL3 F7.5-4	137	<b>142</b>
		CL3 F7.5-5	146	

		CL3 F7.5-6	144	
3 L/m3	10%	CL3 F10-4	249.00	
		CL3 F10-5	249.00	<b>249</b>
		CL3 F10-6	250.00	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 50:** Resistencia a compresión de concreto patrón y concreto con aditivo espumante para todas las dosificaciones de 1 L/M3 a 28 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm2)	Promedio (kg/cm2)
0 L/m3	0%	CP-7	318	<b>314</b>
		CP-8	317	
		CP-9	307	
1 L/m3	0%	CL1-7	96	<b>97</b>
		CL1-8	100	
		CL1-9	94	
1 L/m3	5%	CL1 F5-7	285	<b>291</b>
		CL1 F5-8	288	
		CL1 F5-9	299	
1 L/m3	7.5%	CL1F7.5-7	303	<b>299</b>
		CL1F7.5-8	294	
		CL1F7.5-9	299	
1 L/m3	10%	CL1F10-7	359	<b>351</b>
		CL1F10-8	340	
		CL1F10-9	354	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 51:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 2 L/M3 de aditivo espumante a 28 días

Aditivo Espumante	Microsílice Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm2)	Promedio (kg/cm2)
2 L/m3	0%	CL2-7	57	<b>59</b>
		CL2-8	60	
		CL2-9	59	
2 L/m3	5%	CL2 F5-7	156	<b>149</b>
		CL2 F5-8	149	
		CL2 F5-9	143	

2 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL2 F7.5-7	278	<b>272</b>
		CL2 F7.5-8	264	
		CL2 F7.5-9	274	
2 L/m <sup>3</sup>	10%	CL2 F10-7	348	<b>335</b>
		CL2 F10-8	341	
		CL2 F10-9	317	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N° 52:** Resistencia a la compresión de todas las dosificaciones de concreto con 3 L/M<sup>3</sup> de aditivo espumante a 14 días

Aditivo Espumante	Microsilíce Fume	ID Diseño	Resistencia a Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
3 L/m <sup>3</sup>	0%	CL3-7	29	<b>30</b>
		CL3-8	31	
		CL3-9	31	
3 L/m <sup>3</sup>	5%	CL3 F5-7	147	<b>146</b>
		CL3 F5-8	144	
		CL3 F5-9	147	
3 L/m <sup>3</sup>	7.5%	CL3 F7.5-7	194	<b>191</b>
		CL3 F7.5-8	195	
		CL3 F7.5-9	184	
3 L/m <sup>3</sup>	10%	CL3 F10-7	288.00	<b>301</b>
		CL3 F10-8	303.00	
		CL3 F10-9	312.00	

**Fuente:** Elaboración propia



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. DISCUSIÓN

#### 4.1.1. Caracterización de Agregados

Los ensayos evaluados en la caracterización de agregados, se realizaron siguiendo los parámetros estándares dentro de la normativa NTP; se realizaron ensayos de granulometría, porcentaje de humedad, peso específico, peso unitario y absorción.

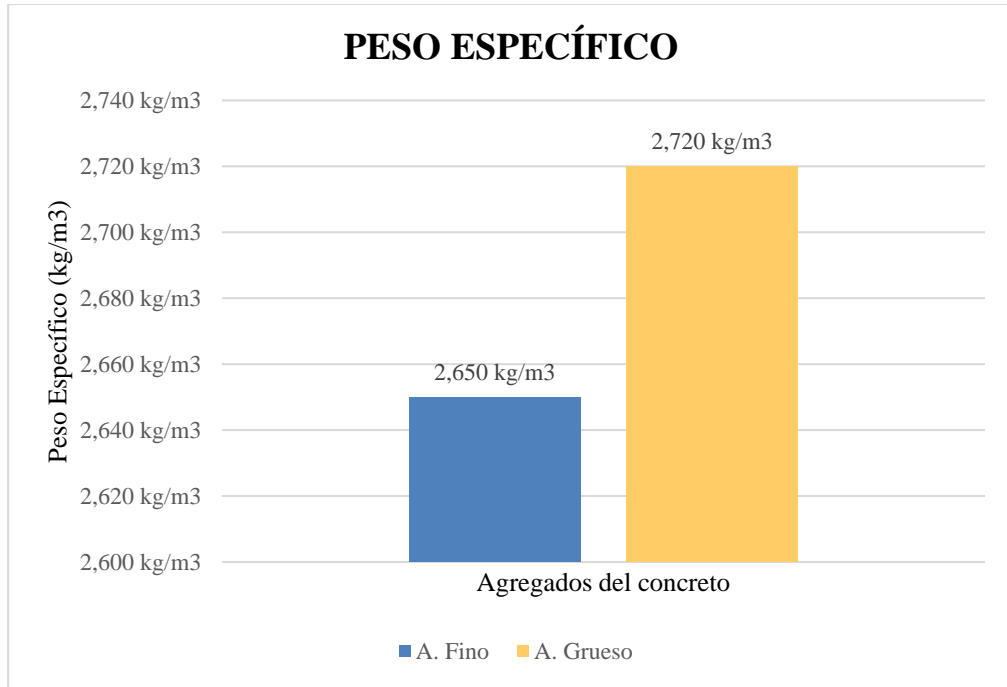
- En la distribución granulométrica del agregado fino se obtuvo porcentajes pasantes, dentro de los límites huso según la norma NTP 400.037; además, el módulo de finura que presenta es de 2.90, y está dentro del límite que la misma norma mencionada indica, con límites de 2.30 a 3.10. En análisis se presenta en la tabla N° 36 y se puede visualizar en la figura N°10.

- Para la granulometría del agregado grueso cumple con las especificaciones de la NTP 400.037, de donde se obtiene un módulo de finura de 6.82, con un tamaño máximo nominal de ¾". En análisis se presenta en la tabla N° 38 y se puede visualizar en la figura N°11.

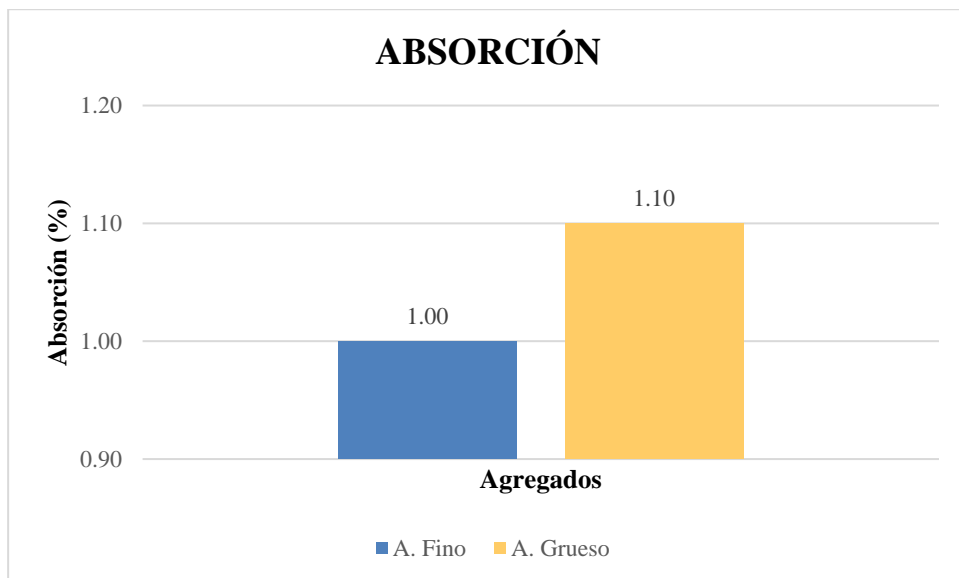
Las informaciones del análisis granulométrico permiten obtener un concreto convencional, el cual garantiza sus propiedades cumpliendo con la calidad de diseño, en donde resultó un concreto que llegó a cumplir con las propiedades de asentamiento, peso unitario, contenido de aire atrapado y llegó a su resistencia de diseño.

- El contenido de humedad fue de 0.50 % para el agregado fino y 0.50 % para el agregado grueso, contenidos que representan un estado semejantemente al seco.

- Los ensayos de peso específico y absorción para el agregado dieron por resultado de la siguiente manera: el peso específico del agregado fino logró 2,650 kg/m<sup>3</sup>, de tal forma, el agregado grueso obtuvo un peso específico de 2,720 kg/m<sup>3</sup>. El porcentaje de absorción para el agregado fino es de 1.0 %, en tanto el grado de absorción del agregado grueso toma un valor de 1.10 %.

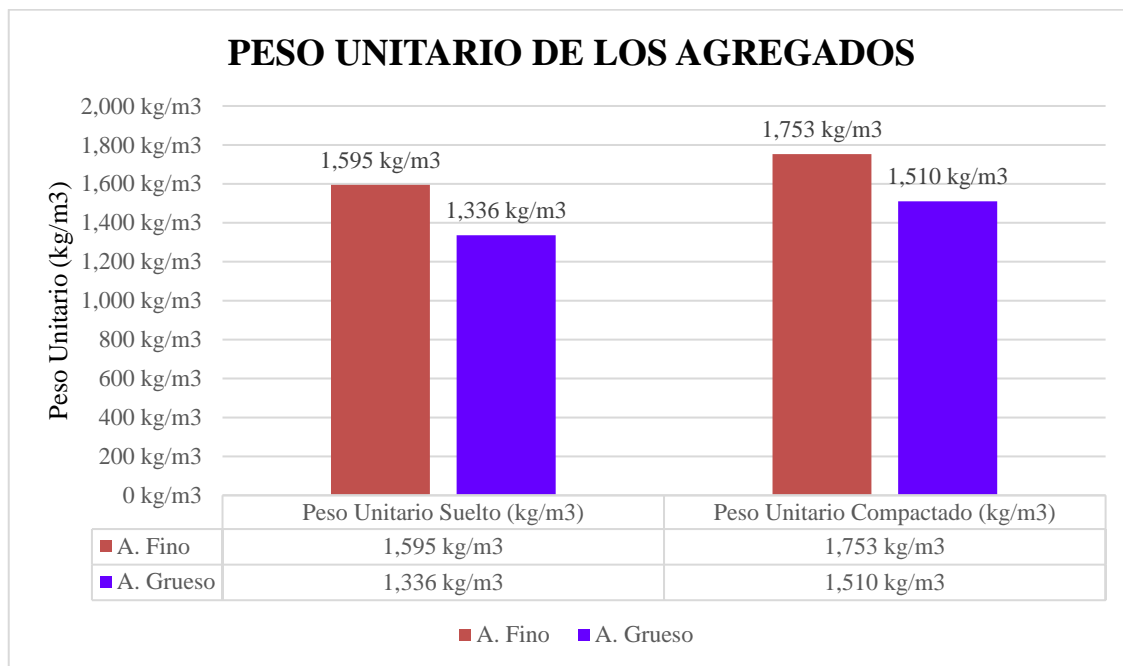


**Figura N° 12:** Peso específico de los agregados  
Fuente: Elaboración propia



**Figura N° 13:** Porcentaje de absorción de los agregados  
Fuente: Elaboración propia

En la propiedad de peso unitario para el agregado de la cantera seleccionada, se obtiene 1,595 kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario suelto y para el peso unitario seco compactado un valor de 1,753 kg/m<sup>3</sup>, los dos valores corresponden al agregado fino. Por su parte, el agregado grueso presenta un valor de 1,336 kg/m<sup>3</sup> en su peso unitario suelto y 1,510 kg/m<sup>3</sup> en su peso unitario compacto. La diferencia de los pesos es conforme al tamaño de sus partículas para cada característica del agregado.



**Figura N° 14:** Porcentaje de absorción de los agregados

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.2. Diseño de mezclas de la investigación

Para la investigación se presentan 13 diseños de mezcla, en donde incluye el diseño de mezcla para un concreto convencional con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por el método normalizado de ACI-211; sin embargo, para los otros diseños se incluye la cantidad seleccionada de aditivos para cada caso. Se incluyó microsíllice en 5%, 7.5% y 10% del peso del cemento, para cada dosificación de concreto ligero, en donde se incluyó 1, 2 y 3 L/m<sup>3</sup>, de aditivo espumante SikaLigthcrete.pe.

El uso de las dosificaciones de los aditivos, se escogieron de acuerdo a las especificaciones de sus fichas técnicas en cuanto a sus límites de uso, y fueron validados por la asesora de la presente investigación (juicio de experto).

En Perú aún no hay una normativa exacta que nos brinde lineamientos para el diseño de concretos con peso aligerado con la propiedad de resistencia estructural, es por ello que en la investigación se propone partir desde un diseño convencional, con agregados usuales para generar concreto, para así incluir los aditivos y determinar su influencia en las propiedades de peso unitario y resistencia a la compresión. Finalmente se genera los diseños que cumplan el criterio peso/resistencia, con los aditivos seleccionados para tal fin, en condiciones estudiadas de los materiales pétreos.

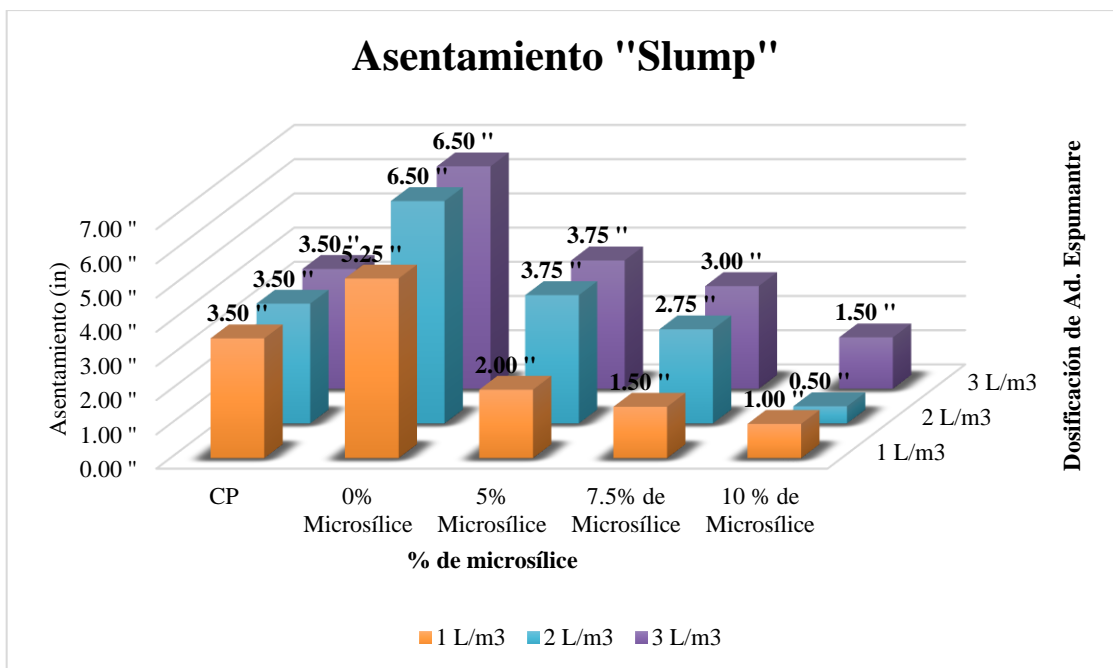
En la tabla 51 se puede observar los 13 diseños de mezcla elaborados a partir de la filosofía de diseño ACI-211.

#### **4.1.3. Efecto de los aditivos en el asentamiento del concreto**

El asentamiento del concreto es una propiedad importante del concreto, permite verificar la trabajabilidad que puede llegar a tener, importante para recomendar la mezcla a elementos de construcción que requieran dichas consideraciones.

En el estudio se realizaron 13 ensayos de asentamiento, correspondiente a cada mezcla evaluada, obteniendo mezclas con un slump máximo de 6.50'' y un slump mínimo de 0.50''. El asentamiento para las mezclas, es dependiente de la cantidad o combinación de aditivos, es decir las mezclas que obtuvieron asentamientos mayores son las que contienen únicamente aditivo espumante, luego el slump va minorando de acuerdo a la incorporación de microsíllice dentro del concreto llamado celular.

En los siguientes gráficos se puede observar la variación de cada asentamiento de acuerdo a su composición, la cual depende de los aditivos empleados.



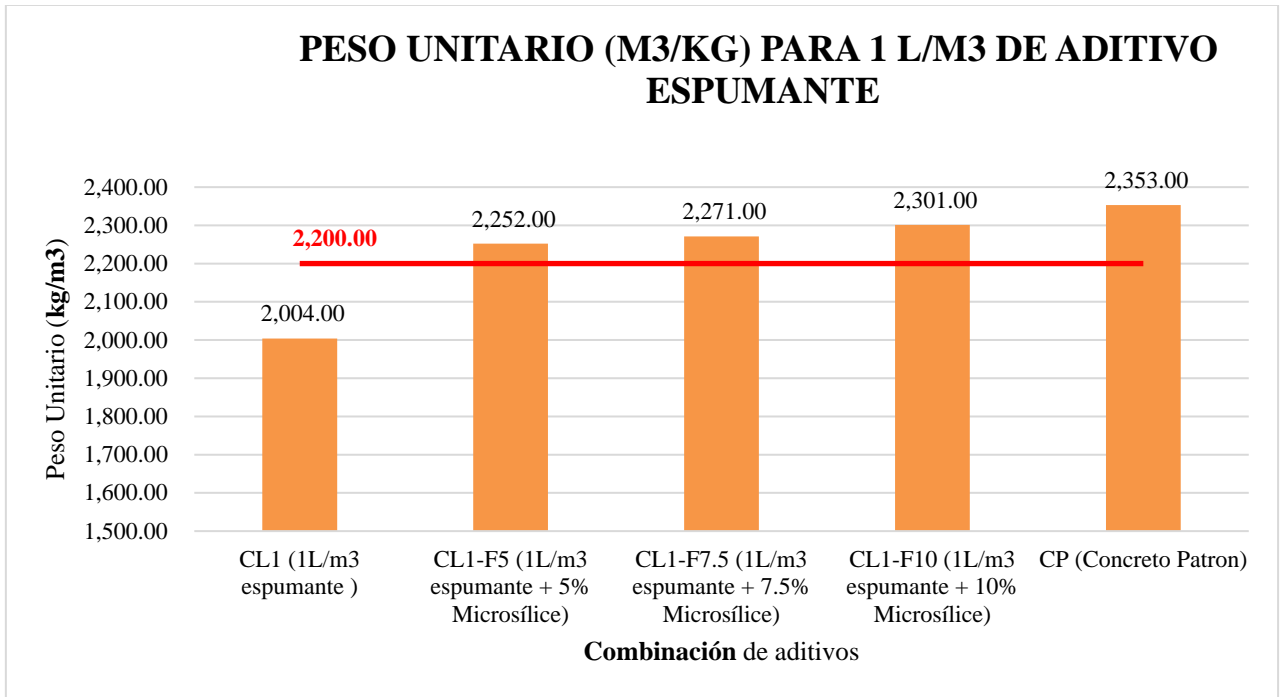
**Figura N° 15:** Asentamiento de mezclas de concreto  
**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 15, se observa que a medida que aumenta el porcentaje de microsilíce, el asentamiento decae y se convierte en una mezcla menos fluida. Esto se debe a la inclusión de microsilíce afecta en parte a la relación agua/cemento, sin embargo, el aditivo espumante brinda un soporte para su slump de las mezclas, para que así conserven una consistencia media (plástica).

En la figura 15 también se puede rescatar, que el concreto patrón cumple con el asentamiento que fue proyectado en el diseño de mezcla, donde se propuso un asentamiento de 3'' a 4''.

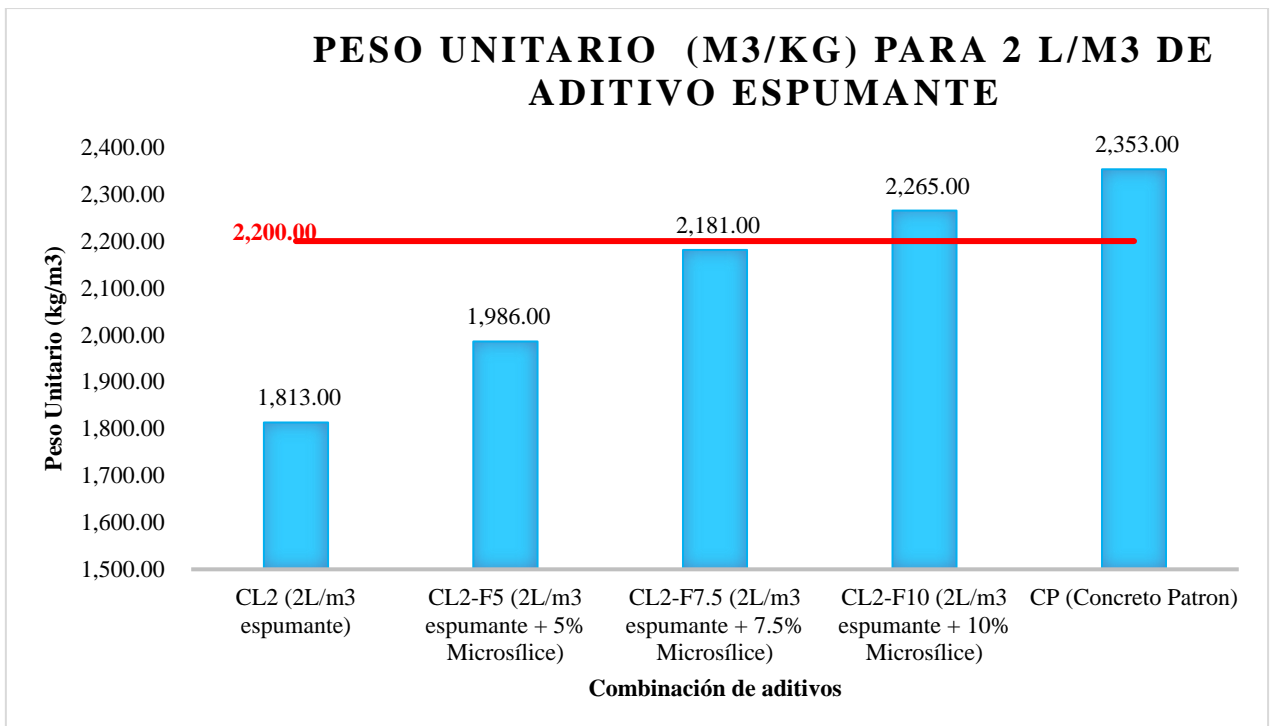
El asentamiento plástico requerido según la investigación de (Chuquilín, 2018), identifica el asentamiento considerado como plástico al rango superior a los 50mm de Slump, recomendado para la colocación en losas. En la tabla N° 4 clasifica el asentamiento de las mezclas entre 0 a 2'' como una mezcla seca poco trabajable, de 3'' a 4'' como plástica trabajable y para asentamientos mayores a 5'' como fluida muy trabajable.

**4.1.4. Influencia de los aditivos sobre el Peso Unitario del concreto.**



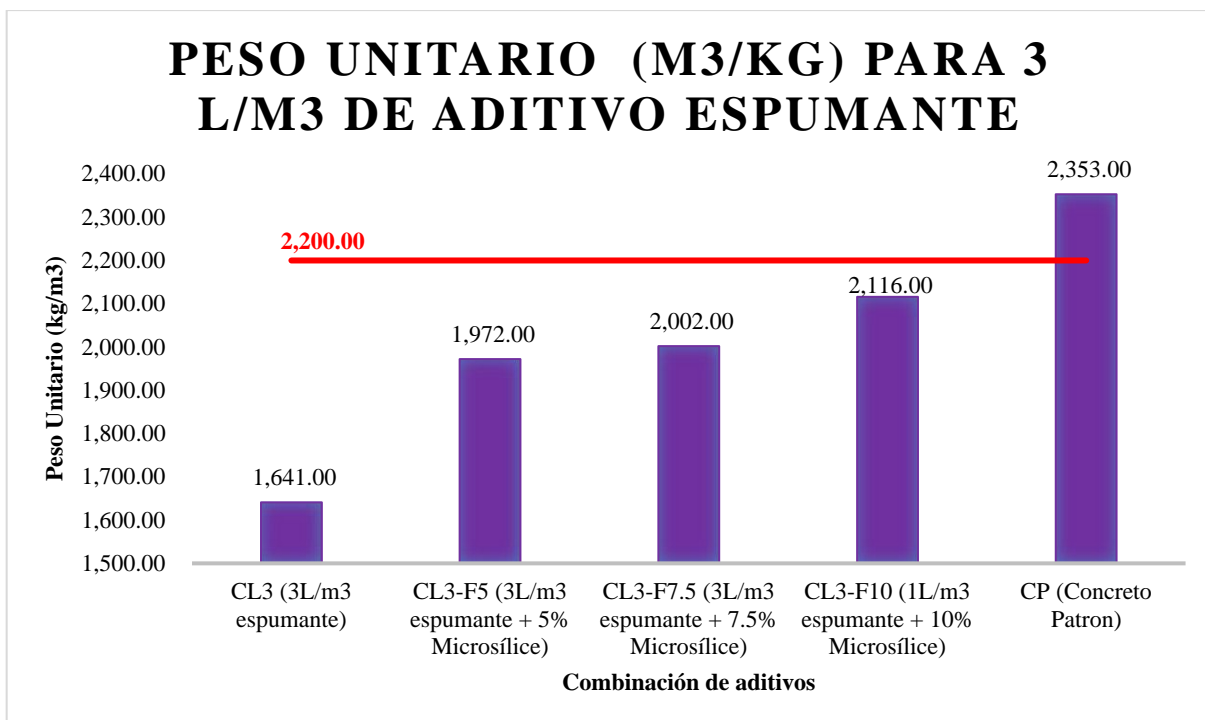
**Figura N° 16:** Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsílice en la dosificación de 2 L/m3 de aditivo espumante.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura N° 17:** Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsílice en la dosificación de 2 L/m3 de aditivo espumante.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura N° 18:** Peso unitario de concreto patrón y para todos los porcentajes de microsíllice en la dosificación de 3 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante.

**Fuente:** Elaboración propia.

El peso unitario para cada diseño seleccionado en la investigación, se ejecutó de acuerdo a la norma NTP 339.046, siguiendo los procedimientos descritos dentro de la misma norma. En las figuras 16, 17 y 18 se detallan los resultados para todos los grupos evaluados, en donde se puede evaluar que el peso unitario es mucho menor con la utilización de únicamente de aditivo espumante, pero al incorporar los porcentajes de microsíllice los pesos unitarios se ven afectados por la misma composición del aditivo, al ocupar los vacíos generados dentro de la composición celular a causa del agente espumante.

Dentro de los resultados, el peso unitario con menor valor por metro cúbico de concreto fue el diseño ligero con 3 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante (CL3), el cual registra 1,641 kg/m<sup>3</sup> y representa un 30.26 % de disminución de peso con respecto al concreto patrón. Sin embargo, el diseño de mezcla con 1 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 10 % de microsíllice (CL1 – F10), obtiene el peso unitario más elevado, al comparar con el resto de dosificaciones, con un valor de 2,301 kg/m<sup>3</sup> el cual tan solo representa un 2.21 % de disminución.

De acuerdo al antecedente de investigación denominada: “Influencia del porcentaje de perlas de poliestireno sobre su peso unitario, resistencia a la compresión y asentamiento en un concreto liviano estructural para losas aligeradas” de (Chuquilín, 2018), considera

a un concreto como ligero a las mezclas que obtengan un peso unitario menor a los 2,200 kg/m<sup>3</sup>. Por consiguiente, los diseños elaborados que cumplieron con la propiedad de concreto ligero son: CL1, CL2, CL2-F5, CL2-F7.5, CL3, CL3-F5, CL3-F7.5 y CL3-F10. Dichos grupos de análisis obtuvieron los porcentajes de disminución de 14.83 %, 22.95%, 15.60%, 7.31%, 30.26%, 16.19%, 14.92% y 10.07 % con respecto al concreto convencional.

**Tabla N° 53:** *Peso unitario del concreto convencional y ligero*

MEZCLA	Peso Unitario (m <sup>3</sup> /kg)	Disminución (%)
CP	2,353.00	<b>0.00%</b>
CL1	2,004.00	<b>14.83%</b>
CL2	1,813.00	<b>22.95%</b>
CL2-F5	1,986.00	<b>15.60%</b>
CL2-F7.5	2,181.00	<b>7.31%</b>
CL3	1,641.00	<b>30.26%</b>
CL3-F5	1,972.00	<b>16.19%</b>
CL3-F7.5	2,002.00	<b>14.92%</b>
CL3-F10	2,116.00	<b>10.07%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

De la misma manera, (Valarde, 2017) en su investigación: "Evaluación del polvo de aluminio fundido sobre el asentamiento, compresión, densidad, absorción en un concreto ligero", considera a un concreto convencional el cual obtiene una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, contiene un tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1'', ¾'' y ½'', con un slump de 3'' a 4'' y con un peso unitario en el rango de 2200 – 2400 kg/m<sup>3</sup>.

Chuquilín (2018), evalúa el concreto convencional a comparación del concreto con la adición de perlas de poliestireno en los porcentajes de 10%, 20%, 30%, 40% y 50%. En donde se obtuvo los siguientes resultados:

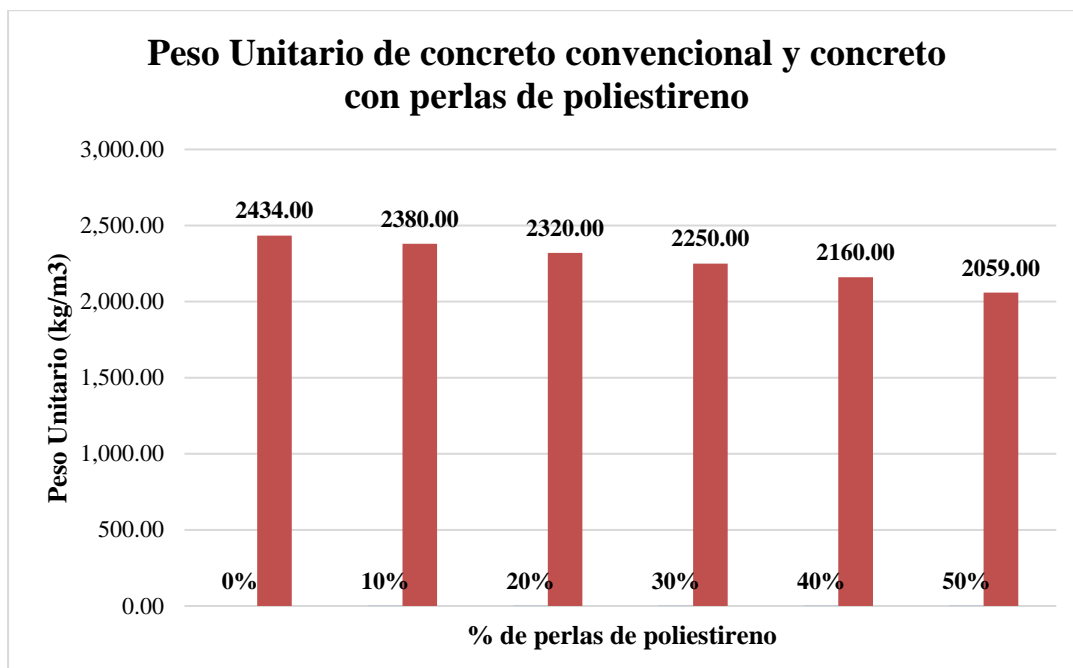
**Tabla N° 54:** *Peso Unitario del concreto convencional y con perlas de poliestireno (kg/m<sup>3</sup>)*

	0%	10%	20%	30%	40%	50%
	2434	2380	2315	2252	2157	2059
	2435	2383	2314	2251	2154	2058
	2433	2378	2317	2252	2160	2061

**Fuente:** (Chuquilín, 2018)



De la investigación de Chuquilín se obtiene pesos unitarios los cuales son representativos y están de acuerdo al porcentaje de sustitución de perlas de poliestireno en función al peso del agregado fino. A continuación, se presenta el gráfico del peso unitario promedio de los porcentajes considerados en la tesis mencionada, de la siguiente manera:



**Figura N° 19:** Peso Unitario promedio de concreto con perlas de poliestireno

**Fuente:** (Chuquilín, 2018).

Con los resultados obtenidos, se considera que los porcentajes de sustitución de perlas de poliestireno tiene dos sustituciones que cumplen como concretos ligeros, los cuales tienen un porcentaje de sustitución de 40% y 50% con peso unitario de 2,160 kg/m<sup>3</sup> y 2059 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. En tal sentido, ambos concretos se consideran ligeros por obtener pesos unitarios menores a los que posee un concreto convencional, el cual fluctúa entre el rango de 2.200 kg/m<sup>3</sup> y 2,600 kg/m<sup>3</sup>.

Las disminuciones más notables respecto al concreto convencional de manera porcentual son 11.38% y 15.41%, en comparación con la investigación en curso se obtienen concretos que por medio de la inclusión del agente espumante una reducción de peso de hasta 30.26%. Sin embargo, la disminución de peso en el concreto es adverso a la capacidad de compresión con respecto a los diseños que considera el antecedente de estudio. A continuación, se presentan los porcentajes de disminución que obtuvo (Chuquilín, 2018) en su investigación.

**Tabla N° 55:** % De disminución del concreto con perlas de poliestireno

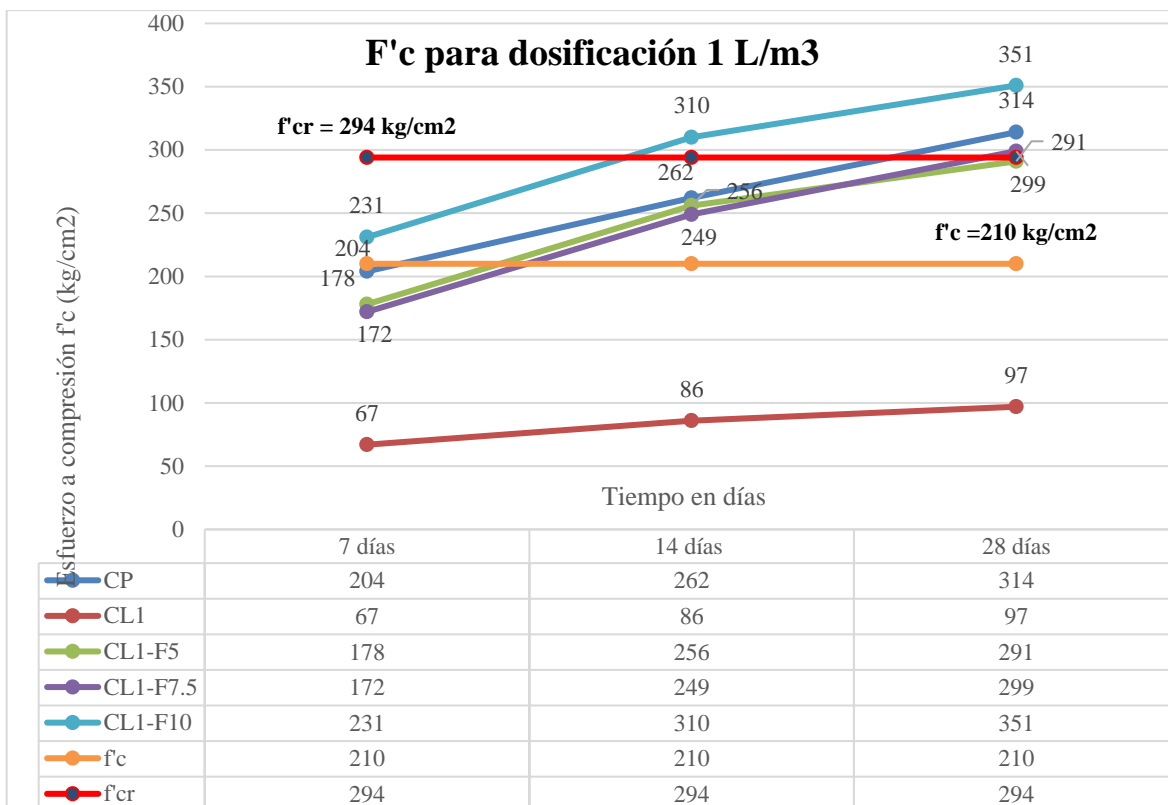
MEZCLA	Peso Unitario (m <sup>3</sup> /kg)	Disminución (%)
0%	2434	<b>0.00%</b>
10%	2380	<b>2.22%</b>
20%	2315	<b>4.89%</b>
30%	2252	<b>7.48%</b>
40%	2157	<b>11.38%</b>
50%	2059	<b>15.41%</b>

**Fuente:** (Chuquilín, 2018)

Finalmente, se verifica en la investigación de (Chuquilín, 2018), en donde indica que los concretos con peso unitario menor a 2,200 kg/m<sup>3</sup> son considerados ligeros, de la misma manera que se estableció en la presente tesis; en la tabla 53, se puede observar las mezclas que cumplen con el requerimiento para ser considerados como concretos ligeros en la presente tesis.

#### **4.1.5. Influencia de los aditivos en la resistencia a compresión.**

En el ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a la norma (NTP 339.034, 2015), después de curar las probetas cilíndricas, a edades de 7, 14 y 28 días. Las resistencias obtenidas alcanzan una resistencia máxima a los 28 días, en donde varían de acuerdo al contenido de aditivo espumante; a mayor cantidad de aditivo espumante, la resistencia a compresión disminuye. Además, para cada cantidad de aditivo espumante de 1, 2 y 3 L/m<sup>3</sup> se añadió microsílce en porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, para lo cual se puede observar el aumento significativo de la resistencia a la compresión, al incorporar las cantidades mencionadas, obteniendo una resistencia máxima de 351 kg/cm<sup>2</sup> para la mezcla CL1-F10 (1L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 10% de microsílce), por otro, lado la resistencia mínima es de 30kg/cm<sup>2</sup>, dicho valor representa a la mezcla CL3 (3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante). A continuación, se presentan figuras en donde se analiza la resistencia a compresión de cada mezcla con respecto al concreto patrón.



**Figura N° 20:** Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 1L/m3 de aditivo espumante  
**Fuente:** Elaboración propia

Para el primer grupo de análisis, dosificación de 1 L/m3 de aditivo espumante con la adición de microsíllice en 0%, 5%, 7.5% y 10%, en donde se observa que la resistencia a la compresión máxima se alcanza a los 28 días para todos los diseños de mezcla. La incorporación de microsíllice en el concreto ocasiona que la resistencia a la compresión aumente favorablemente, respecto al concreto sin la adición de microsíllice.

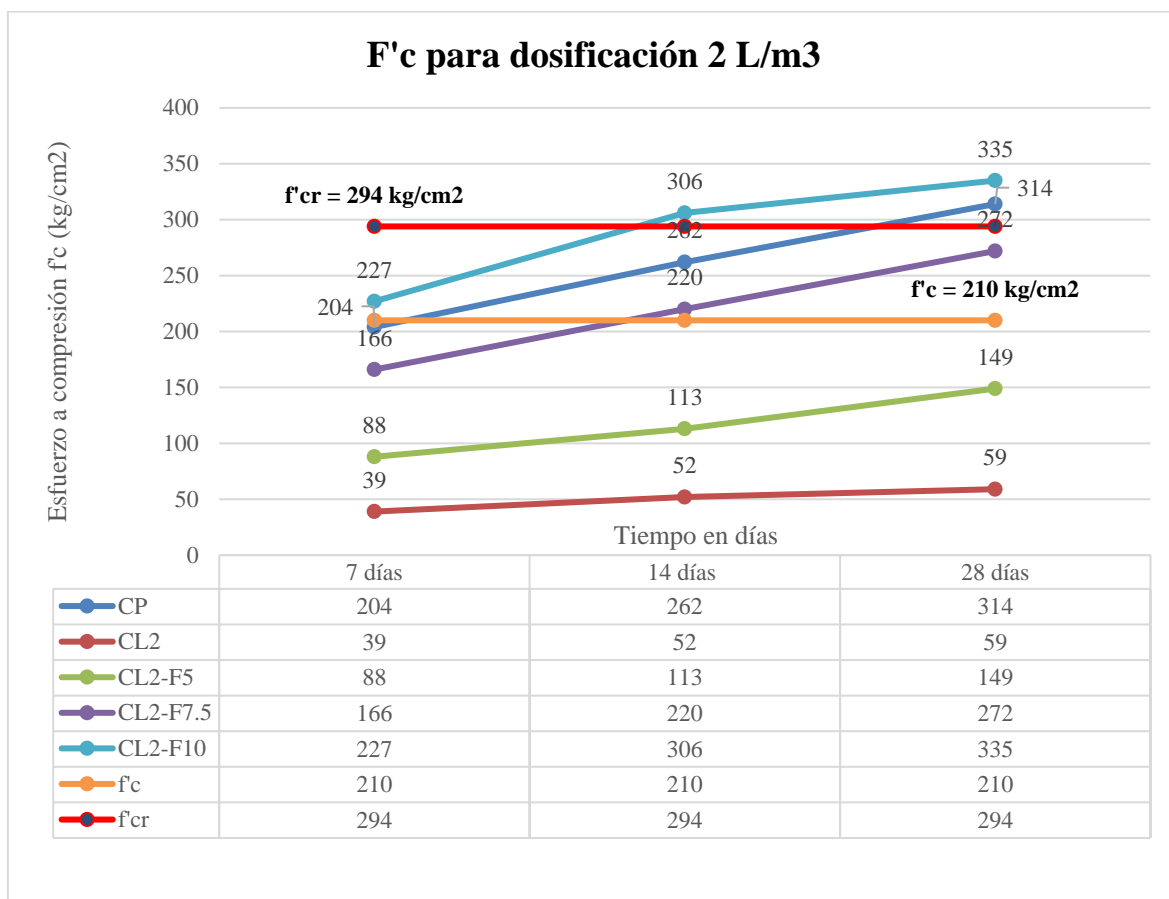
En tal sentido, la mezcla CL1-F10, obtiene una resistencia de 351 kg/cm2, superando al concreto patrón con una resistencia de 314 kg/cm2. En la tabla 56 se muestra la variación del desarrollo de resistencia de cada concreto comparado con el concreto convencional.

**Tabla N° 56:** Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 1L/m3 de aditivo espumante

Mezcla	CP	CL1	CL1-F5	CL1-F7.5	CL1-F10
<b>f'c(kg/cm2)</b>	314	97	291	299	351
<b>Desarrollo (%)</b>	100%	31%	93%	95%	112%
<b>Clasificación</b>	Estructural		Estructural	Estructural	Estructural

**Fuente:** Elaboración propia

La mezcla que contiene solo aditivo espumante "CL1", solo obtiene un desarrollo del 31% comparación del concreto patrón, sin embargo, los concretos con la adición de microsílíce al 5%, 7.5% y 10% obtienen una mejor resistencia con desarrollos de 93%, 95% y 112% respectivamente.



**Figura N° 21:** Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 2L/m3 de aditivo espumante

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 21, se muestra el segundo grupo de análisis, dosificación de 2 L/m3 de aditivo espumante con la adición de microsílíce en 0%, 5%, 7.5% y 10%, en donde se puede observar que la resistencia a la compresión máxima se alcanza a los 28 días para todos los diseños de mezcla; la incorporación de microsílíce en el concreto ocasiona que la resistencia a la compresión aumente favorablemente, respecto al concreto sin la adición de microsílíce.

De la misma manera, la mezcla CL2-F10, obtiene una resistencia de 335 kg/cm2, superando al concreto patrón con una resistencia de 314 kg/cm2. En la tabla 56 se muestra la variación del desarrollo de resistencia de cada concreto comparado con el concreto convencional.

La mezcla que contiene solo aditivo espumante a 2 L/m<sup>3</sup> "CL2", solo obtiene un desarrollo del 19% en comparación del concreto patrón, sin embargo, los concretos con la adición de microsílíce al 5%, 7.5% y 10% obtienen una mejor resistencia con desarrollos de 47%, 87% y 107% respectivamente.

**Tabla N° 57:** Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 2L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante.

Mezcla	CP	CL2	CL2-F5	CL2-F7.5	CL2-F10
<b>f'c(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	314	59	149	272	335
<b>Desarrollo (%)</b>	100%	19%	47%	87%	107%
<b>Clasificación</b>	Estructural			Estructural	Estructural

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 22, se muestra el tercer grupo de análisis, dosificación de 3 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante con la adición de microsílíce en 0%, 5%, 7.5% y 10%, en donde se puede observar que la resistencia a la compresión máxima se alcanza a los 28 días para todos los diseños de mezcla; la incorporación de microsílíce en el concreto ocasiona que la resistencia a la compresión aumente favorablemente, respecto al concreto sin la adición de microsílíce.



**Figura N° 22:** Resistencia a la compresión para todas las dosificaciones de 3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante.

Fuente: Elaboración propia

En tal sentido, la mezcla CL3-F10, obtiene una resistencia de 301 kg/cm<sup>2</sup>, el cual representa un desarrollo de resistencia del 96%, en este caso es una resistencia que está por debajo del concreto patrón el cual presenta una resistencia de 314 kg/cm<sup>2</sup>. En la tabla 58 se muestra la variación del desarrollo de resistencia de cada concreto comparado con el concreto convencional.

**Tabla N° 58:** Clasificación y porcentaje de desarrollo de resistencia a la compresión de mezclas de concreto con 2L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante.

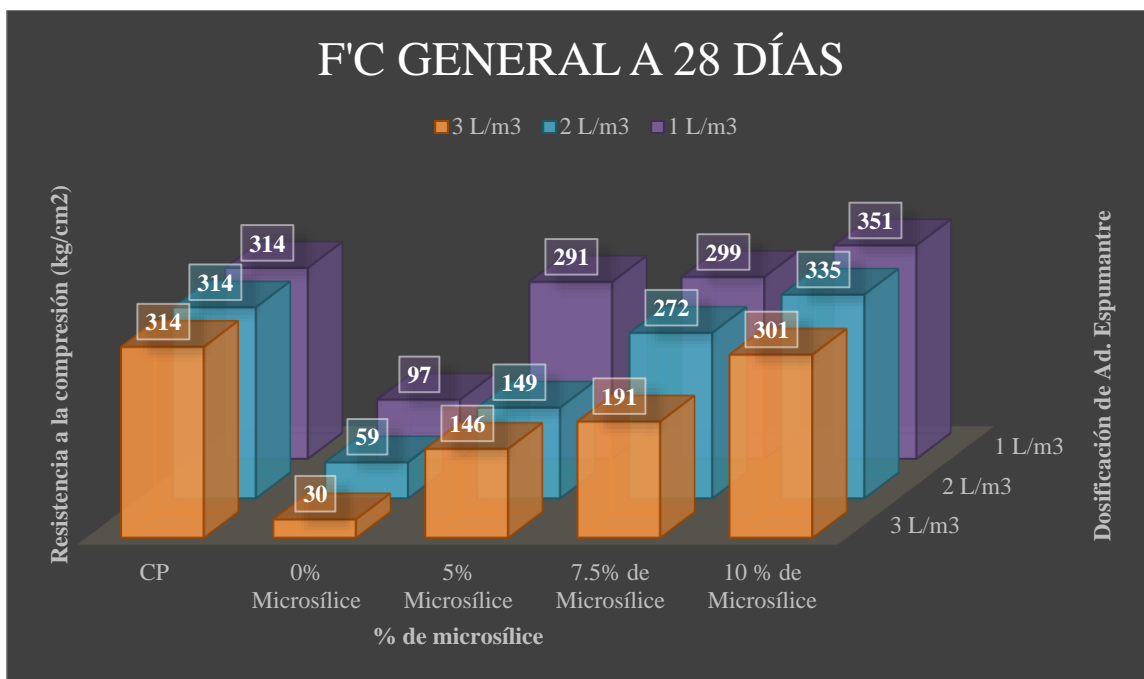
Mezcla	CP	CL3	CL3-F5	CL3-F7.5	CL3-F10
f'c(kg/cm <sup>2</sup> )	314	30	146	191	301
Desarrollo (%)	100%	10%	46%	61%	96%
Clasificación	Estructural			Estructural	Estructural

Fuente: Elaboración propia

La mezcla que contiene solo aditivo espumante a 3 L/m<sup>3</sup> "CL3", solo obtiene un desarrollo del 10% en comparación del concreto patrón, sin embargo, los concretos con la adición de microsíllice al 5%, 7.5% y 10% obtienen una mejor resistencia con desarrollos de 46%, 61% y 96% respectivamente.

Para los efectos de la investigación se establece de manera general que la adición de mayor cantidad de aditivo espumante en la mezcla, la resistencia a la compresión obtiene menores resultados; sin embargo, la adición de microsíllice aumenta la resistencia a mayor porcentaje incluido. En conclusión, se puede afirmar que la adición de aditivo espumante en el concreto es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión, por otro lado, la adición de microsíllice es directamente proporcional con la resistencia a la compresión, debido que, al aumentar su porcentaje, aumenta significativamente la resistencia a la compresión.

En la figura 23, se puede observar la disminución de la resistencia al incrementar la dosificación de 1, 2 y 3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante. Sin embargo, para cada dosificación de aditivo espumante, los porcentajes de inclusión de microsíllice genera resistencias mucho mayores.



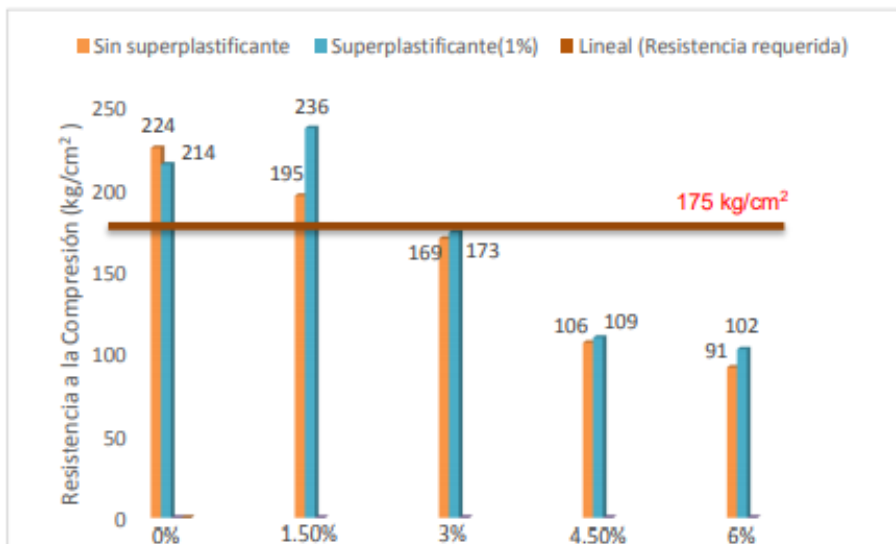
**Figura N° 23:** Resistencia a la compresión a 28 días de todas las proporciones de mezcla estudiadas.

**Fuente:** Elaboración propia

En las tablas 55, 56 y 57, se clasifica como concreto estructural a aquellas dosificaciones que superen los 175 kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo a lo establecido en la (NORMA E060), la cual clasifica como estructurales a aquellos concretos que superen dicha resistencia, que puede usarse para elementos estructurales, donde se prevea dicha propiedad.

Finalmente se establece que los concretos con una resistencia a la compresión estructural, de la investigación son: CL1-F5, CL1-F7.5, CL1-F10, CL2-F7.5, CL2-F10, CL3-F7.5 y CL3-F10, con sus resistencias de 291 kg/cm<sup>2</sup>, 299 kg/cm<sup>2</sup>, 351 kg/cm<sup>2</sup>, 272 kg/cm<sup>2</sup>, 335 kg/cm<sup>2</sup>, 191 kg/cm<sup>2</sup> y 301 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente

Valarde, (2017) en su investigación, de la misma manera considera a un concreto estructural a partir de los 175 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, en donde indica que el Reglamento Nacional de Edificaciones clasifica como un concreto estructural a aquellos que están por encima de los 175 kg/cm<sup>2</sup>. En su investigación encuentra resistencias estructurales promedio de 224 kg/cm<sup>2</sup>, 214 kg/cm<sup>2</sup>, 195 kg/cm<sup>2</sup> y 236 kg/cm<sup>2</sup> como resistencias estructurales con sus dosificaciones de polvo de aluminio a 0% y 1.50 %, incluidos y comparados con la incorporación de superplastificante a 0% y 1%. En la figura 24 se puede apreciar la comparación de sus resistencias.



**Figura N° 24:** Resistencia a la compresión a los 28 días de curado  
**Fuente:** (Valarde, 2017).

Chuquilín,( 2018) en su tesis, obtiene resistencias a la compresión para cada uno de sus porcentajes de sustitución de perlas de poliestireno en 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, donde obtuvo las siguientes resistencias promedio a una edad de curado de 28 días, en la siguiente tabla se muestran las resistencias obtenidas:

**Tabla N° 59:** Resistencia a la compresión promedio del concreto convencional y con perlas de poliestireno

% perlas de poliestireno	0%	10%	20%	30%	40%	50%
Resistencia a compresión (kg/cm²)	283	276	264	256	242	222

**Fuente:** (Chuquilín, 2018)

Se puede verificar que al incremento en el porcentaje de sustitución de perlas de poliestireno, la resistencia a la compresión disminuye, con respecto al concreto convencional. Las disminuciones van desde 2.50%, 6.79%, 9.52%, 14.67% y 21.72%. En la presente investigación se obtienen disminuciones respecto al concreto patrón que van desde 4.14% en la mezcla con 3 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 10% de microsíllice, hasta una disminución del 90.45 % en la mezcla que solo contiene 3 L/m<sup>3</sup>. Sin embargo las mezclas CL1-F10 y la mezcla CL2-F10, obtienen una resistencia mayor en 11.78% y 6.69% respecto al concreto convencional. A continuación se presenta la tabla 60 con los porcentajes de disminución obtenidos con los datos de resistencia a compresión:



**Tabla N° 60:** Porcentajes de disminución de resistencia a la compresión con respecto al concreto patrón

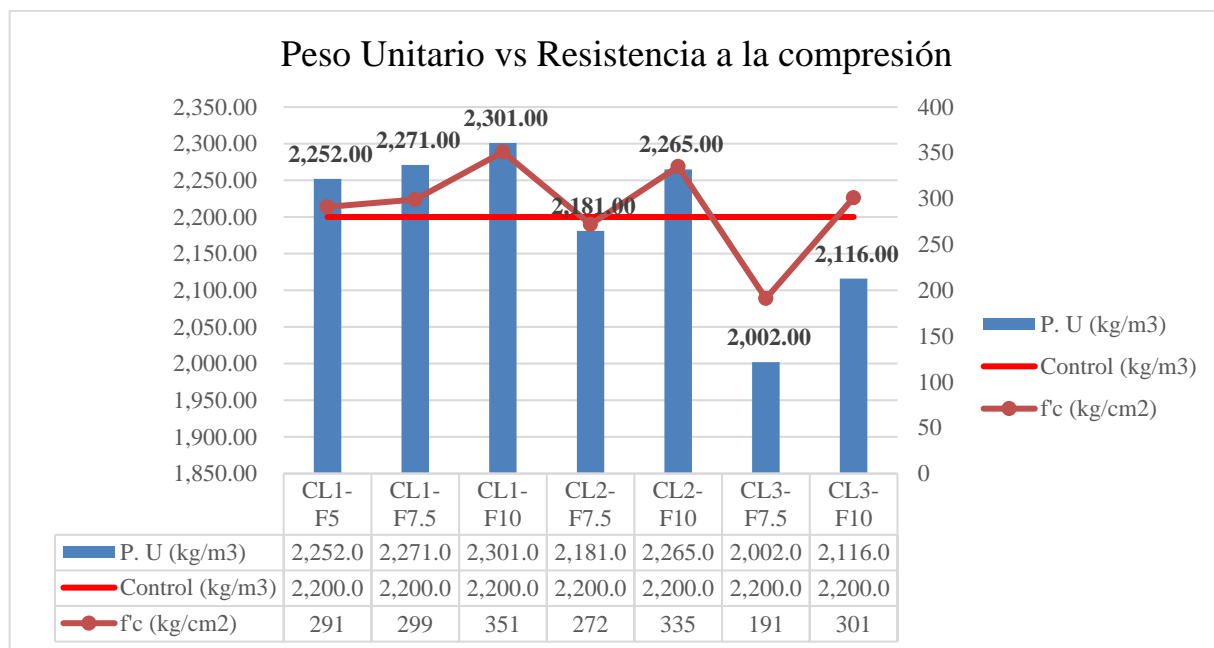
MEZCLA	1 L/m <sup>3</sup>	2 L/m <sup>3</sup>	3 L/m <sup>3</sup>
<b>0% Microsílice</b>	69.11%	81.21%	90.45%
<b>5% Microsílice</b>	7.32%	52.55%	53.50%
<b>7.5% de Microsílice</b>	4.78%	13.38%	39.17%
<b>10 % de Microsílice</b>	-11.78%	-6.69%	4.14%

Fuente: Elaboración Propia

Al comparar los resultados de resistencia a la compresión con respecto a la tesis de Chuquilin, podemos afirmar que al incrementar una adición en el concreto, en donde permita la disminución de peso, ya sea por la generación de espuma o otro método, como el remplazar el agregado convencional con perlas de poliestireno, permite que la resistencia a la compresión disminuya en función a sus características.

#### 4.1.6. Análisis de concretos que cumplen con la propiedad ligero – estructural

Con la finalidad de establecer en la tesis los diseños que son considerados y cumplen con la denominación de concreto ligero, se verifican los concretos que presentan un peso unitario menor a 2,200 kg/m<sup>3</sup> y además tengan una resistencia a la compresión superior a 175 kg/cm<sup>2</sup>. En la figura 22 se puede observar la interacción de los concretos que alcanzaron una resistencia estructural, con sus respectivos pesos unitarios, que finalmente se clasificará de acuerdo a las pretensiones mostradas en el análisis.



**Figura N° 25:** Resistencia a la compresión a los 28 días de curado

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 25, se muestran todos los concretos que obtuvieron una resistencia a la compresión considerada como estructural, cada uno de ellos, dentro de la misma gráfica presentan sus resultados de peso unitario. Seguidamente se evalúa el peso unitario que debe de estar por debajo de 2,200 kg/m<sup>3</sup> para ser denominado como concreto ligero.

Para tal efecto, los diseños que cumplen con los requerimientos para obtener un concreto ligero estructural son los concretos: CL2-F7.5, CL3-F7.5 y CL3-F10, con pesos unitarios de 2,181 kg/m<sup>3</sup>, 2,002 kg/m<sup>3</sup> y 2,116 kg/m<sup>3</sup> y con una resistencia a la compresión de 272 kg/cm<sup>2</sup>, 191 kg/cm<sup>2</sup> y 301 kg/cm<sup>2</sup>.

En la tesis de (Chuquilín, 2018), se encuentra con dos concreto que cumplen con la propiedad de ser ligeros estructurales, estas mezclas son las que presentan un reemplazo de perlas de poliestireno en 40% y 50%, las cuales tienen un peso unitario de 2,160 kg/m<sup>3</sup> y 2,059 kg/m<sup>3</sup> con resistencia a la compresión de 242 kg/cm<sup>2</sup> y 222 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Finalmente se puede comprobar; con los resultados de ambas investigaciones, que el peso unitario es directamente proporcional a la resistencia a la compresión; es decir, que, a menor peso del concreto por metro cúbico de concreto, la resistencia a la compresión tiende a ser menor.

#### 4.1.7. Análisis de costos

Para el análisis de costos, se considera los diseños que cumplen con la propiedad de ligero estructural, comparados con el concreto de diseño convencional. Para tal motivo se consideran los recursos de mano de obra, materiales y equipos correspondientes.

El costo se proyecta para la construcción de losas aligeradas.

*Tabla N° 61: Análisis de costos para el concreto convencional (CP)*

CONCRETO CONVENCIONAL ACI-211 (CP)						
<b>PARTIDA</b>	Concreto para losa f'c =210 kg/cm <sup>2</sup>			<b>RENDIMIENTO:</b>	25.00 M3/DÍA	
<b>UNIDAD</b>	m <sup>3</sup>			<b>PRECIO TOTAL:</b>	<b>S/352.42</b>	
	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>
	<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/92.94</b>
	Operario	HH	3	0.96	23.35	22.42
	Oficial	HH	2	0.64	18.45	11.81
	Peón	HH	11	3.52	16.68	58.71
	<b>MATERIALES</b>					<b>S/240.05</b>

Agregado Fino	M3		0.31	45.00	13.95
Agregado Grueso	M3		0.34	55.00	18.7
Cemento Ico 42.5 kg	BLS		9.00	22.90	206.10
Agua	M3		0.21	6.20	1.30
<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>					<b>S/19.43</b>
Mezcladora de concreto tambor 23 HP 11 P3	HM	1	0.32	52.00	16.64
Herramientas manuales	% MO		3.00%		2.79

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 61 se muestra el precio para un metro cúbico de concreto convencional, el cual asciende a un monto de S/. 352.42.

**Tabla N° 62:** Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL2-F7.5

CONCRETO 2L/M3 DE AD. ESPUMANTE + 7.5% DE MICROSÍLICE (CL2-F7.5)						
<b>PARTIDA</b>	Concreto Ligero		<b>RENDIMIENTO:</b>		25.00 M3/DÍA	
<b>UNIDAD</b>	m3		<b>PRECIO TOTAL:</b>		S/632.41	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CUADRILLA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PARCIAL</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>					<b>S/92.94</b>	
Operario	HH	3	0.96	23.35	22.42	
Oficial	HH	2	0.64	18.45	11.81	
Peon	HH	11	3.52	16.68	58.71	
<b>MATERIALES</b>					<b>S/520.04</b>	
Agregado Fino	M3		0.31	45.00	13.95	
Agregado Grueso	M3		0.34	55.00	18.7	
Cemento Ico 42.5 kg	BLS		9.00	22.90	206.10	
Agua	M3		0.21	6.20	1.30	
Aditivo espumante	L		2.00	5.20	10.40	
Microsílice	Kg		27.65	9.75	269.59	
<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>					<b>S/19.43</b>	
Mezcladora de concreto tambor 23 HP 11 P3	HM	1	0.32	52.00	16.64	
Herramientas manuales	% MO		3.00%		2.79	

**Fuente:** Elaboración propia

El costo para el concreto ligero estructural CL2-F7.5 es de S/. 632.41, dicho concreto tiene un peso unitario de 2,181 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 272 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 63: Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL3-F7.5**

<b>CONCRETO 3L/M3 DE AD. ESPUMANTE + 7.5% DE MICROSÍLICE (CL3-F7.5)</b>						
<b>PARTIDA</b>	Concreto Ligero				<b>RENDIMIENTO:</b>	25.00 M3/DÍA
<b>UNIDAD</b>	m3				<b>PRECIO TOTAL:</b>	<b>S/637.61</b>
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/92.94</b>
Operario	HH	3	0.96	23.35	22.42	
Oficial	HH	2	0.64	18.45	11.81	
Peon	HH	11	3.52	16.68	58.71	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/525.24</b>
Agregado Fino	M3		0.31	45.00	13.95	
Agregado Grueso	M3		0.34	55.00	18.7	
Cemento Ico 42.5 kg	BLS		9.00	22.90	206.10	
Agua	M3		0.21	6.20	1.30	
Aditivo espumante	L		3.00	5.20	15.60	
Microsílice	Kg		27.65	9.75	269.59	
<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>						<b>S/19.43</b>
Mezcladora de concreto tambor 23 HP 11 P3	HM	1	0.32	52.00	16.64	
Herramientas manuales	% MO		3.00%		2.79	

**Fuente:** Elaboración propia

El costo para el concreto ligero estructural CL3-F7.5 es de S/. 637.61, dicho concreto tiene un peso unitario de 2,000 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 191 kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabla N° 64: Análisis de costos para el concreto ligero estructural CL3-F10**

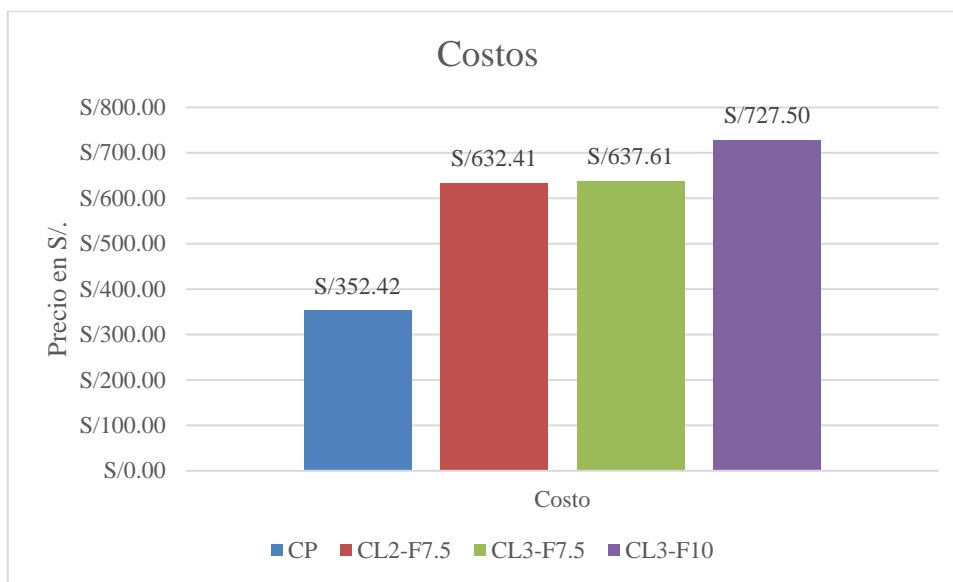
<b>CONCRETO 3L/M3 DE AD. ESPUMANTE + 10% DE MICROSÍLICE (CL3-F10)</b>						
<b>PARTIDA</b>	Concreto Ligero				<b>RENDIMIENTO:</b>	25.00 M3/DÍA
<b>UNIDAD</b>	m3				<b>PRECIO TOTAL:</b>	<b>S/727.50</b>
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL	
<b>MANO DE OBRA</b>						<b>S/92.94</b>
Operario	HH	3	0.96	23.35	22.42	
Oficial	HH	2	0.64	18.45	11.81	
Peon	HH	11	3.52	16.68	58.71	
<b>MATERIALES</b>						<b>S/615.13</b>
Agregado Fino	M3		0.31	45.00	13.95	
Agregado Grueso	M3		0.34	55.00	18.7	
Cemento Ico 42.5 kg	BLS		9.00	22.90	206.10	
Agua	M3		0.21	6.20	1.30	
Aditivo espumante	L		3.00	5.20	15.60	
Microsílice	Kg		36.87	9.75	359.48	
<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS</b>						<b>S/19.43</b>

Mezcladora de concreto tambor 23 HP 11

P3	HM	1	0.32	52.00	16.64
Herramientas manuales	% MO		3.00%		2.79

**Fuente:** Elaboración propia

El costo para el concreto ligero estructural CL3-F10 es de S/. 1,013.25 dicho concreto tiene un peso unitario de 2,116 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 301 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura N° 26:** Costos por m<sup>3</sup> de concreto patrón comparado con diseños de concreto ligero estructural

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 26 se puede apreciar el incremento del costo para los concretos denominados como concreto ligero estructural. Sin embargo, el concreto ligero estructural puede tener ventajas al momento de ser utilizado en los dimensionamientos de los elementos estructurales, es decir, que la disminución de espesores en elementos estructurales conlleva a elaborar menores cantidades de concreto de una manera global para un proyecto en específico.

#### 4.1.8. Análisis de datos

Para el análisis de datos se realizó el análisis de varianza bi factorial por el método Anova, en donde se evaluaron la influencia de las dos variables independientes ( aditivo espumante y % de microsíllice), sobre las variables dependientes (resistencia a la compresión y peso unitario).

#### 4.1.8.1. Resultado Anova – Resistencia a la compresión

##### Comprobación de hipótesis específica 01

La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

En la tabla 65 se presenta el resultado Anova para la resistencia a la compresión.

*Tabla N° 65: Análisis de varianza para resistencia a la compresión*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Mediade cuadrados	F experimental	F teórico
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Aditivo espumante	51665.1	2	25832.5	424.45	<b>3.40</b>
B: % Microsíllice	344391.	3	114797.	1886.21	<b>3.01</b>
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	18684.9	6	3114.16	51.17	<b>2.51</b>
RESIDUOS	1460.67	24	60.8611		
TOTAL (CORREGIDO)	416202.	35			

**Fuente:** Base de datos

Nota: Valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia a la compresión con un 95.0% de nivel de confianza.

##### Hipótesis

H1: Hipótesis alterna = El aditivo espumante y el % microsíllice si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

H0: Hipótesis nula = El aditivo espumante y el % microsíllice no influyen significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

Se observa que debido que el F experimental es mayor al F teórico, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H1) y se rechaza la nula (H0), demostrando que las variables independientes: % micro sílice y aditivo espumante si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto.

Del análisis estadístico se puede afirmar que la dosificación de 1L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante con 0% de microsíllice, obtiene el máximo valor de resistencia a la compresión del concreto. Por otro lado, la resistencia a la compresión más baja es la que contiene 3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante y 0% de microsíllice.

## Comprobación de hipótesis específica 02

La incorporación de aditivo espumante y el % de microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

En la tabla 66 se presenta el resultado Anova para la variable dependiente peso unitario del concreto.

*Tabla N° 67: Análisis de varianza para peso unitario*

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Media de cuadrados	F experimental	F teórico
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Aditivo espumante	451874.	2	225937.	6795.09	<b>3.40</b>
B:% Microsíllice	847500.	3	282500.	8496.24	<b>3.01</b>
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	65536.5	6	10922.7	328.50	<b>2.51</b>
RESIDUOS	798.0	24	33.25		
<b>TOTAL (CORREGIDO)</b>	<b>1.36571E6</b>	<b>35</b>			

**Fuente:** Base de datos

Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores. Puesto que 3 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Peso Unitario con un 95.0% de nivel de confianza.

## Hipótesis

H1: Hipótesis alterna = El aditivo espumante y el % microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

H0: Hipótesis nula = El aditivo espumante y el % microsíllice no influyen significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

Se observa que debido que el F experimental es mayor al F teórico, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna (H1) y se rechaza la nula (H0), demostrando que las variables independientes: % micro sílice y aditivo espumante si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto.

El análisis estadístico concluye que el mayor peso unitario lo contiene la adición de 1L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante y 10% de microsíllice, por el contrario, el concreto que

contiene 3 L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante y 0% de microsílíce obtiene el peso unitario más bajo.

#### 4.1.9. Limitaciones

Debido a la utilización interactiva de ambos aditivos, al incorporar mayores porcentajes de microsílíce, se produce una mayor absorción y se genera una mezcla más seca, por tanto, no se utilizó un aditivo plastificante o superplastificante para mejorar el asentamiento de algunas mezclas que se vieron afectados.

No se pudo evaluar a profundidad las bondades de la microsílíce, con la finalidad de que ayude a desarrollar resistencia a la compresión, sin tener que aumentar el peso unitario en el concreto, por ello, se propone estudiar sus características físicas para mejorar su aplicación en concretos ligeros.

El presente estudio se ejecutó un diseño de mezcla convencional con el método ACI 211, para indagar los cambios que producen los aditivos empleados en las propiedades de peso unitario y resistencia a la compresión, con la finalidad de obtener un concreto ligero estructural. Sin embargo, el criterio utilizado, no permite haber estudiado las posibilidades de evaluar los contenidos óptimos de los agregados en proporciones diferentes para aumentar la capacidad de peso-resistencia; por consiguiente, se propone evaluar e investigar el cambio que produce la cantidad de finos dentro de la mezcla para la obtención de concreto ligero estructural con un menor uso en cantidad de los aditivos. Dentro del objetivo de generar un concreto con la propiedad de ser ligero y estructural En la actualidad la disponibilidad de los aditivos, como microsílíce y aditivo espumante es escasa, debido a que su disponibilidad y ubicación en el mercado de la construcción es limitada. Sin embargo, la colocación de los aditivos está a disposición de la empresa Sika y es producida para proyectos de construcción en donde se requiere grandes cantidades de producción de concreto en donde especifique el uso adecuado de estos agentes cada uno para sus requerimientos de manera independiente, es decir, el aditivo espumante para disminuir el peso del concreto y la microsílíce para generar concretos con altas resistencias. Sin embargo, la empresa Sika en cuanto a las investigaciones dispone la utilización de sus productos y demanda de una cantidad apropiada, como en la presente investigación.



## 4.2. Conclusiones

En la presente investigación se ha determinado la influencia del aditivo espumante y la microsíllice sobre el peso unitario y resistencia a la compresión del concreto, en donde se verifica que el aditivo espumante en la mezcla de concreto genera una espuma celular dentro del concreto, lo cual genera que, al aumentar su dosificación dentro de la mezcla, su peso unitario disminuye significativamente; pero, esto ocasiona que su resistencia a la compresión se vea muy afectado, obteniendo unos pesos unitarios de 2,004 kg/m<sup>3</sup>, 1,813 kg/m<sup>3</sup> y 1,641 kg/m<sup>3</sup> con unas resistencias máximas a la edad de 28 días de curado de 97 kg/cm<sup>2</sup>, 59 kg/cm<sup>2</sup> y 30 kg/cm<sup>2</sup> para las dosificaciones de 1L/m<sup>3</sup>, 2 L/m<sup>3</sup> y 3 L/m<sup>3</sup> respectivamente. Sin embargo, al incorporar microsíllice se verifica que su adición también influye significativamente en el peso unitario y resistencia a la compresión, en donde los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% al contrario, dan paso al aumento de resistencia a la compresión y por lo mismo, también aumenta su peso unitario en comparación con los concretos que solo presentan aditivo espumante. Se generan nuevos datos, empezando para la dosificación de 1L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante con 5%, 7.5% y 10% se obtienen como peso unitario 2,252 kg/m<sup>3</sup>, 2,271 kg/m<sup>3</sup> y 2,301 kg/m<sup>3</sup> con unas resistencias a la compresión de 291 kg/cm<sup>2</sup>, 299 kg/cm<sup>2</sup> y 351 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Para la dosificación de 2L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante con 5%, 7.5% y 10% se obtienen como peso unitario 1,986 kg/m<sup>3</sup>, 2,181 kg/m<sup>3</sup> y 2,265 kg/m<sup>3</sup> con unas resistencias a la compresión de 149 kg/cm<sup>2</sup>, 272 kg/cm<sup>2</sup> y 335 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente. Del mismo modo, para la dosificación de 3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante con 5%, 7.5% y 10% se obtienen como peso unitario 1,972 kg/m<sup>3</sup>, 2,002 kg/m<sup>3</sup> y 2,216 kg/m<sup>3</sup> con unas resistencias a la compresión de 146 kg/cm<sup>2</sup>, 191 kg/cm<sup>2</sup> y 301 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

Finalmente, para la obtención de concreto estructural con las dosificaciones empleadas en la investigación, se realizó un análisis para que un concreto tenga la consideración de concreto ligero debe obtener un peso unitario por debajo de los 2,200 kg/m<sup>3</sup>; además, para ser considerado como estructural su resistencia a la compresión debe superar los 175 kg/cm<sup>2</sup>.

En tal sentido, se obtuvo tres mezclas con las adiciones de ambos aditivos que tomaron la propiedad ligero estructural, las cuales son: CL2-F7.5 (2L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 7.5% de microsíllice) con peso unitario de 2,181 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia de 272

kg/cm<sup>2</sup>, CL3-F7.5 (3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 7.5% de microsíllice) con peso unitario de 2,002 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia de 191 kg/cm<sup>2</sup> y finalmente el diseño CL3-F10 (3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante + 10% de microsíllice) con peso unitario de 2,116 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia de 301 kg/cm<sup>2</sup>.

La cantera seleccionada para las muestras de agregados fue "Cantera Quebrada el León El Milagro – Huanchaco", donde se realizó el análisis de las propiedades físicas de los agregados, siguiendo los procedimientos establecidos dentro de la NTP según corresponda al tipo de ensayo realizado. El agregado fino o arena gruesa presenta un peso específico de 2,650 kg/m<sup>3</sup>, un peso unitario compactado de 1,753 kg/m<sup>3</sup>, un peso unitario suelto de 1,595 kg/m<sup>3</sup>, con un contenido de humedad de 0.50 %, con una absorción de 1 % y un módulo de finura dentro del rango según las especificaciones de NTP 400.037, además, su distribución de partículas está dentro de los límites huso especificados en la misma norma. De la misma manera el agregado grueso presenta un peso específico de 2,072 kg/m<sup>3</sup>, un peso unitario compactado de 1,510 kg/m<sup>3</sup>, un peso unitario suelto de 1,336 kg/m<sup>3</sup>, con un contenido de humedad de 0.50 %, con una absorción de 1.10 %, un módulo de finura de 6.82 y un tamaño máximo nominal de ¾", el cual corresponde al tipo de material que se adquirió, además su distribución de partículas está dentro de los límites huso, según las especificaciones de NTP 400.037.

Se pudo elaborar el diseño de mezcla del concreto convencional considerado en la investigación, con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por la metodología de diseño ACI 211, el cual cumplió con sus propiedades establecidas en el diseño como asentamiento, considerado de 3" a 4", peso unitario de 2353 kg/m<sup>3</sup> y una resistencia a la compresión de 314 kg / cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Se incorporó las dosificaciones de 1 L/m<sup>3</sup>, 2 L/m<sup>3</sup> y 3L/m<sup>3</sup> de aditivo espumante Sikaligthcrete, de acuerdo a las recomendaciones y límites establecidos dentro de la hoja técnica del producto, el cual establece dosificaciones de 0.5 kg/m<sup>3</sup> a 4 kg/m<sup>3</sup>.

Se añadió el porcentaje de microsíllice establecido de acuerdo al rango de porcentajes recomendados en la hoja técnica del aditivo Sika Fume, en 5%, 7.5% y 10% del peso del cemento. La dosificación que indica la hoja técnica del producto indica dentro del rango entre 5 – 10% en peso de cemento, por ello fue conveniente analizar su influencia

con la menor proporción, con la media de la proporción y con la mayor proporción que se indica en el rango.

Se logró calcular la cantidad de materiales para el concreto y aditivos para todas las mezclas seleccionadas, en un total de 13 mezclas, 1 mezcla fue el diseño patrón de un concreto convencional y las otras 12 tienen los porcentajes de aditivo espumante + microsíllice según lo indicado.

Se elaboraron probetas de concreto con los moldes cilíndrico de 4'' de diámetro y 8'' de longitud, de acuerdo a la norma NTP 339.183; para cada diseño de mezcla se elaboraron 9 probetas en donde se ensayaron en grupo de 3 probetas a edades de 7, 14 y 28 días. En donde se concluye que para todas las proporciones de las mezclas la resistencia máxima se da a los 28 días de curado.

Se determinó el asentamiento del concreto de acuerdo a la norma (NTP 339.035, 2009), el cual varía dependiendo de las dosificaciones de aditivos que lo compongan obteniendo asentamientos no plásticos considerados poco trabajables con  $\frac{1}{2}$ '' de asentamiento hasta asentamientos muy trabajables con un valor de  $6\frac{1}{2}$ '' . La variación depende de la adición de microsíllice, a mayor porcentaje de microsíllice es menor el asentamiento.

El ejecutó el ensayo de temperatura del concreto con lo establecido en la norma (NTP 339.184, 2013) y se determinó el contenido de aire de la mezcla con la norma (NTP 339.080, 2011), el cual sirvió para verificar como variaban los concretos de acuerdo a estas propiedades.

Se elaboró el ensayo de peso unitario (densidad del concreto en estado fresco), mediante la norma (NTP 339.046, 2008), en donde se concluye que el aditivo espumante y la microsíllice influyen significativamente en el peso unitario de todas las mezclas que contienen sus adicciones. El aditivo espumante actúa favorablemente en términos de disminución del peso unitario, sin embargo para las mezclas que contienen porcentajes de microsíllice, el peso unitario del concreto aumenta de manera imprevista, es decir que los espacios que genera el aditivo espumante son ocupados por la masa de la microsíllice en un porcentaje determinado, sin embargo, para los diseños que contienen aditivo espumante más microsíllice experimentan porcentajes de disminución del peso unitario

que van desde el 2.21 % hasta un 30.26 %, comparados con el peso unitario del concreto convencional.

Se ensayaron las probetas de concreto a la resistencia a la compresión de acuerdo a la norma (NTP 339.034, 2015), a las edades de 7, 14 y 28 días correspondientes a su fecha de elaboración. La resistencia de las mezclas de concreto también es dependiente del aditivo espumante y la microsíllice, para esta propiedad se determinó que, a mayor cantidad de aditivo espumante en la mezcla de concreto, su resistencia iba a caer considerablemente; sin embargo, la incorporación de microsíllice aumentó notoriamente su resistencia, por lo tanto, la inclusión de mayor porcentaje de microsíllice en el concreto ayuda a mejorar la capacidad de resistencia a la compresión.

Se pudo comparar a los concretos adicionados con el concreto convencional, de tal manera que si se puede afirmar que la resistencia a la compresión y el peso unitario son variables que dependen de la incorporación de ambos aditivos seleccionados en la investigación.

#### **4.3. Recomendaciones**

- Se recomienda estudiar la microsíllice SikaFume, esencialmente su peso específico, para verificar el volumen que ocupa dentro de un 1m<sup>3</sup> de concreto, para luego determinar su influencia y añadir la cantidad requerida de aditivo espumante para reducir el peso y evitar una considerable disminución de resistencia a la compresión.
- Se recomienda añadir un aditivo plastificante o superplastificante, para evitar que la mezcla pierda fluidez y se pueda comparar los resultados con su incorporación.
- Se recomienda elaborar diseños de mezcla para la obtención de concretos ligeros estructurales con el remplazo parcial o total del agregado fino y verificar su influencia. No obstante, se recomienda evaluar los porcentajes de agregados dentro del diseño de mezcla, a fin de verificar cual presenta mejor desempeño para los resultados esperados.
- Se recomienda elaborar concretos ligeros con otra metodología, ya sea por agregados con baja densidad o concretos sin finos, para determinar el desempeño que puede

obtener la incorporación de microsílíce y se pueda de otra manera generar concreto ligero estructural o concretos ligeros con mayor desempeño.

## REFERENCIAS

- Abanto Castillo , F. (2009). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO* . LIMA PERÚ: SAN MARCOS EIRL.
- ACI 211.1. (2016). *Diseño de mezclas de concreto*.
- ACI UPC. (2019). "Comparación de la resistencia a la compresión del Concreto Ligero entre arcilla expandida y perlita expandida". *Concreto Ligero Estructural*, 9.
- Arana, M. A. (2016). El Concreto, Material Fundamental para la Infraestructura. *Voz del Experto*, 24.
- Arapa Cruz, J. E. (2016). *Análisis y diseño comparativo de Concreto Celular usando espuma de Poliestireno y Agente Espumante* . Juliaca - Perú .
- Caballero, K. (2017). Propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras metálicas. *Revistas Universidad Tecnológica de Panamá*.
- Carrillo, Y., & López, C. (2015). *DISEÑO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO ADICIONANDO DESPERDICIOS DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DE*. Nuevo Chimbote.
- Chuquilín, J. A. (2018). *NFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE PESO UNITARIO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y ASENTAMIENTO EN UN CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2018*. Trujillo.
- De Ayala, M. (1998). "Concreto aireado para la vivienda de interés social". *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.*
- EUCLID GROUP . (2016). Microsílice versión 2016. *TOXEMENT*.
- García, L. (2018). *CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO UTILIZANDO HORMIGÓN CON ADICIÓN DE MICROSÍLICE Y SUPERPLASTIFICANTE EN LA CIUDAD DE HUANCAYO*. HUANCAYO.
- Girón, P. F. (2017). *Propiedades del concreto de mediana a baja resistencia con aditivo plastificante y cal hidratada al 40%, 50% y 60%*. Lima.
- Ibañez, R. (2005). *DISEÑO DE LOSAS PREESFORZADAS DE CONCRETO LIGERO PARA*. Monterey: INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY.
- imcyc. (2012). Problemas, causas y soluciones. *El Concreto en Obra*.
- Mendoza, C., Aire, C., & Dávila, P. (2011). INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO. *Scielo*.
- Niño Hernandez , J. R. (2010). *Tecnología del Concreto Tomo 1*.

NORMA E060. (s.f.). *CONCRETO ARMADO*.

NPT 400.022. (2013). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Lima.

NRMCA. (s.f.). Concreto estructural de peso liviano NRMCA. *El Concreto en la práctica CIP - 36*.

NTP 339.034. (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Lima.

NTP 339.035. (2009). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. Lima.

NTP 339.046. (2008). *Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. Lima.

NTP 339.080. (2011). *Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión*. Lima: NTP.

NTP 339.183. (2013). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Lima.

NTP 339.184. (2013). *Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*. Lima.

NTP 339.185. (2013). *Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima.

NTP 400.012. (2013). *Análisis granulométrico del agregado*. Lima.

NTP 400.017. (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados*. Lima.

NTP 400.021. (2013). *Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. Lima.

Quesada, N. (2014). *Estudio exploratorio en diseños de mezclas de concreto liviano para Holcim (Costa Rica) S.A.* Costa Rica.

R. Robayo, P. M. (2013). Comportamiento mecánico de un Concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero. *SciELO*.

Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad de Cauca.

Rodrich, S., & Silva, J. (2018). *INFLUENCIA DEL AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN UN CONCRETO CONVENCIONAL, TRUJILLO 2018*. Trujillo: UPN.

Sika® Lightcrete PE. (2014). *Hoja Técnica Sika® Lightcrete PE*. Lima: Sika.

SikaFume®. (2021). *Hoja Técnica de SIKA FUME*. Lima: Sika.

Soto, D. (2017). *ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO DE BAJA DENSIDAD PARA USO ESTRUCTURAL ELABORADO CON AGREGADO GRUESO PROVINIENTE DE ARCILLAS EXPANDIDAS*. Caracas - Venezuela.

Terrones, L., & Carvajal, I. (2016). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO CONVENCIONAL ADIONADO FIBRA DE CÁÑAMO*. Bogota.

Valarde, A. (2017). *EVALUACIÓN DEL POLVO DE ALUMINIO FUNDIDO SOBRE EL ASENTAMIENTO, COMPRESIÓN, DENSIDAD, ABSORCIÓN EN UN CONCRETO LIGERO, TRUJILLO-2017*. Trujillo.

Veliz, A., & Vásquez, J. L. (2018). *Obtención de concreto ligero estructural mediante el uso de aditivos*. Arequipa.

Yagual, D., & Villacís, D. (2015). *HORMIGÓN LIVIANO DE ALTO DESEMPEÑO CON ARCILLA EXPANDIDA*. LA LIBERTAD - ECUADOR.



## ANEXOS

Anexo 01: Caracterización de agregados

Propiedades físicas del agregado fino.

*Tabla N° 68: % de humedad agregado fino*

### CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO


NORMA DE ENSAYO NTP 339.185

#### 1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

**MATERIAL** : AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.  
**FECHA DE ENSAYO** : 06/04/2021

#### 2. RESULTADOS DEL ENSAYO

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	gr	118.3	118.1	
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	1,372.6	1,294.4	
Peso recipiente + muestra seca	gr	1,366.1	1,289.7	
Peso de muestra húmeda	gr	1,254.3	1,176.3	
Peso de muestra seca	gr	1,247.8	1,171.6	
Peso de agua	gr	6.5	4.7	
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.5	0.4	<b>0.5</b>

  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

*Tabla N° 69: Peso unitario del agregado fino*

### PESO UNITARIO DE AGREGADO


NORMA DE ENSAYO NTP 400.017

#### 1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

**MATERIAL** : AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.  
**FECHA DE ENSAYO** : 06/04/2021

#### 2. RESULTADOS DEL ENSAYO

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	14.841	14.722	14.746	
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	15.974	15.730	15.944	
Peso de recipiente	kg	3.527	3.527	3.527	
Peso de muestra en estado suelto	kg	11.314	11.195	11.219	
Peso de muestra en estado compactado	kg	12.447	12.203	12.417	
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.00705	0.00705	0.00705	
<b>Peso unitario suelto</b>	kg/m <sup>3</sup>	1,605	1,588	1,591	<b>1,595</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	kg/m <sup>3</sup>	1,766	1,731	1,761	<b>1,753</b>

  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

*Tabla N° 70: Peso específico y absorción del agregado fino*

**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO**  
NORMA DE ENSAYO NTP 400.022

**1. DESCRIPCION DE LA MUESTRA**

**MATERIAL** : AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.  
**FECHA DE ENSAYO** : 07/04/2021

**2. RESULTADOS DEL ENSAYO**

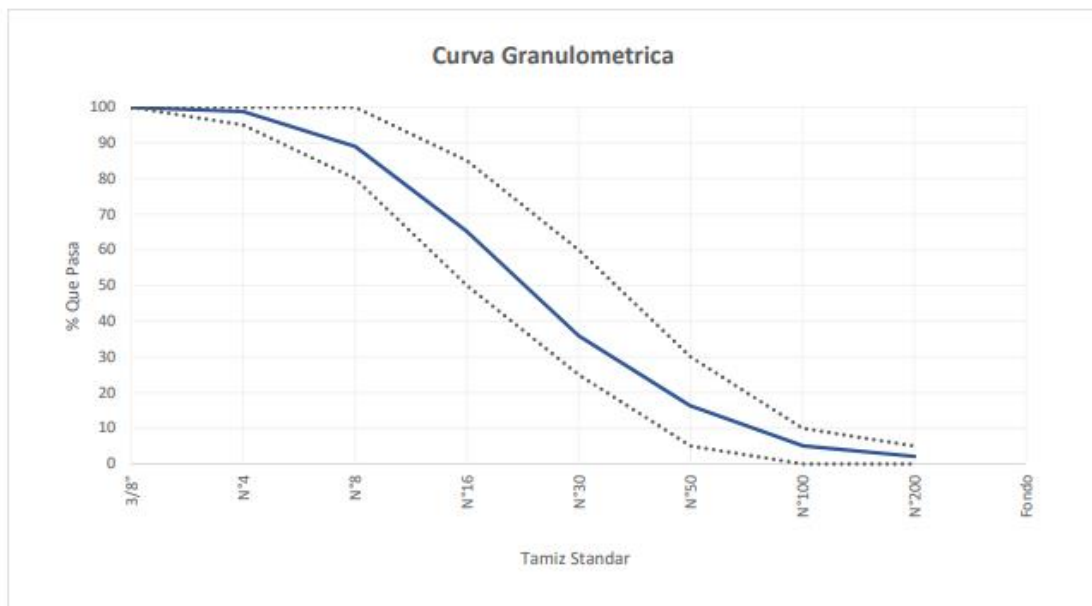
Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	628.3	637.0	
Peso del pignometro lleno de agua	gr	668.9	668.3	
Peso del pignometro lleno de muestra y agua	gr	1,066.4	1,071.6	
Peso de la muestra en estado SSS	gr	635.1	642.8	
<b>Peso específico base seca</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.64	2.66	<b>2.65</b>
Peso específico base SSS	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.68	2.68
<b>Absorción</b>	%	1.1	0.9	<b>1.0</b>

  
Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

*Tabla N° 71: Análisis granulométrico del agregado fino*

**MATERIAL** : AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS  
**FECHA DE ENSAYO** : 07/04/2021

Tamiz Estándar	Abert. (mm)	Peso Reten. (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum.	% Que Pasa	Límites (NTP 400.037)		Datos de la muestra	
						Mínimo	Máximo		
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100		
N°4	4.750	12.4	1.2	1.2	98.8	95	100	<b>Características físicas:</b>	
N°8	2.360	103.7	9.8	11.0	89.0	80	100	Tamaño Max. Nom. :	
N°16	1.180	251.0	23.8	34.8	65.2	50	85	Cont. de Humedad: <b>0.5 %</b>	
N°30	0.600	309.6	29.3	64.1	35.9	25	60	Modulo de Finura: <b>2.90</b>	
N°50	0.300	208.1	19.7	83.8	16.3	5	30		
N°100	0.150	118.3	11.2	94.9	5.1	0	10		
N°200	0.075	31.2	3.0	97.9	2.1	0	5		
Fondo	-	22.5	2.1	100.0	0.0				
		<b>1056.8</b>	<b>100.0</b>						



*Carla Euelin Vargas Toribio*  
Carla Euelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

*Figura N° 27: Curva granulométrica del agregado fino*

**Propiedades físicas del agregado grueso.**

*Tabla N° 72: % de humedad del agregado grueso*

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO  
NORMA DE ENSAYO NTP 339.185**

**1. DESCRIPCION DE LA MUESTRA**

**MATERIAL** : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4"  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS  
**FECHA DE ENSAYO** : 06/04/2021

**2. RESULTADOS DEL ENSAYO**

Descripcion	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso recipiente	gr	258	311	
Peso recipiente + muestra humeda	gr	3,292	3,390	
Peso recipiente + muestra seca	gr	3,279	3,372	
Peso de muestra humeda	gr	3,034	3,079	
Peso de muestra seca	gr	3,021	3,061	
Peso de agua	gr	13	18	
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.4	0.6	<b>0.5</b>

*Carla Euelin Vargas Toribio*  
Carla Euelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

*Tabla N° 73: Peso unitario del agregado grueso*

**PESO UNITARIO DE AGREGADO**  
NORMA DE ENSAYO NTP 400.017

**1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

**MATERIAL** : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4"  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS  
**FECHA DE ENSAYO** : 06/04/2021

**2. RESULTADOS DEL ENSAYO**

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente + muestra suelta	kg	12.989	12.916	12.934	
Peso recipiente + muestra apisonada	kg	14.164	14.163	14.187	
Peso de recipiente	kg	3.525	3.525	3.525	
Peso de muestra en estado suelto	kg	9.464	9.391	9.409	
Peso de muestra en estado compactado	kg	10.639	10.638	10.662	
Volumen del recipiente	m3	0.00705	0.00705	0.00705	
<b>Peso unitario suelto</b>	kg/m3	1,342	1,332	1,335	<b>1,336</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	kg/m3	1,509	1,509	1,512	<b>1,510</b>

  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

*Tabla N° 74: Peso específico y absorción del agregado grueso*

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO**  
NORMA DE ENSAYO NTP 400.021

**1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

**MATERIAL** : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4"  
**PROCEDENCIA** : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
**LABORATORIO** : QUALITY CONTROL EXPRESS  
**FECHA DE ENSAYO** : 07/04/2021

**2. RESULTADOS DEL ENSAYO**

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire	gr	2,955	3,858	
Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	2,987	3,897	
Peso de la muestra saturada en agua	gr	1,899	2,474	
<b>Peso específico base seca</b>	gr/cm3	2.72	2.71	<b>2.72</b>
Peso específico base SSS	gr/cm3	2.75	2.74	2.75
<b>Absorción</b>	%	1.1	1.0	<b>1.1</b>


  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

Tabla N° 75: Análisis granulométrico del agregado grueso

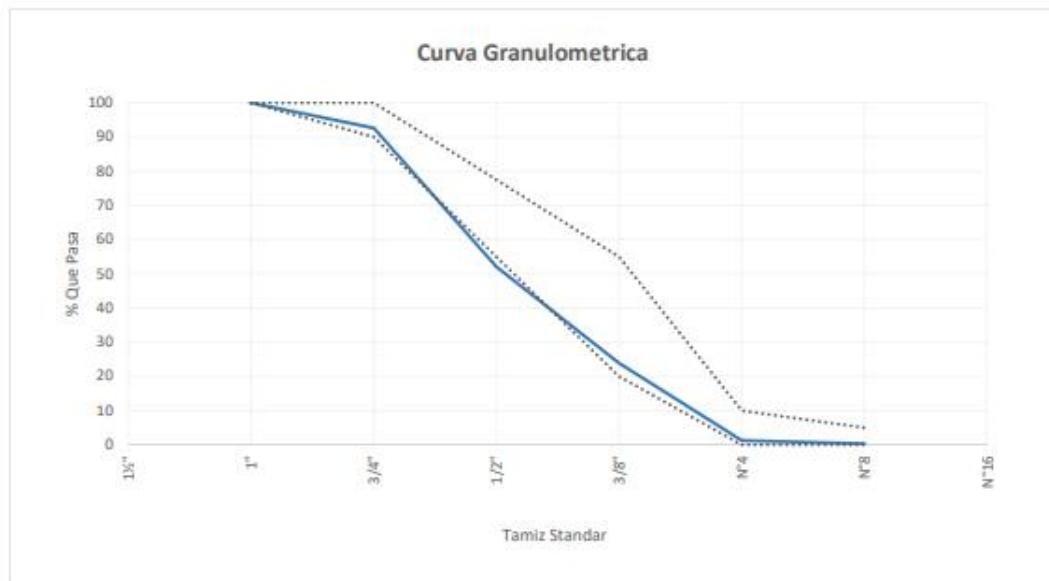
### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO

NORMA DE ENSAYO NTP 400.012

MATERIAL : AGREGADO GRUESO - PIEDRA CHANCADA 3/4"  
 PROCEDENCIA : CANTERA QUEBRADA EL LEON - EL MILAGRO - HUANCHACO  
 LABORATORIO : QUALITY CONTROL EXPRESS  
 FECHA DE ENSAYO : 07/04/2021

Tamiz Estándar	Abert. (mm)	Peso Reten. (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acum.	% Que Pasa	Límites Huso 67 (NTP 400.037)		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
2"	50.00							
1½"	37.50							Características físicas: Tamaño Max. Nom. : <b>3/4"</b> Cont. de Humedad: <b>0.5 %</b> Módulo de Finura: <b>6.82</b>
1"	25.00	0	0.0	0.0	100.0	100	100	
¾"	19.00	372	7.4	7.4	92.6	90	100	
½"	12.50	2050	40.6	47.9	52.1			
3/8"	9.50	1423	28.2	76.1	23.9	20	55	
N°4	4.75	1145	22.7	98.8	1.2	0	10	
N°8	2.36	44	0.9	99.6	0.4	0	5	
N°16	1.18		0.0	99.6	0.4			
Fondo	-	18	0.4	100.0	0.0			
		<b>5052</b>	<b>100.0</b>					

Tabla N° 76: Análisis granulométrico del agregado grueso



*Carla Evelyn Vargas Toribio*  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

## Anexo 02: Fichas técnicas de los aditivos



# HOJA TÉCNICA

## Sika® Lightcrete PE

Aditivo espumante-cohesionador líquido para mezclas cementicias

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Lightcrete PE es un líquido que actúa como agente espumante concentrado para elaborar mezclas cohesivas y livianas ya sea de concreto, mortero, rellenos hidráulicos, etc.; entre 800 y 1,800 kg/m<sup>3</sup>, según la dosificación utilizada y tipos de agregados empleados.

No contiene cloruros.

#### USOS

Para uso en rellenos

- Para rellenos hidráulicos cuando las mezclas se segregan o tienen exudación excesiva, cuando los agregados son de granulometría abierta (deficiencia de finos).
- Para morteros de nivelación o afinado de pisos de bajo peso previos a la colocación del acabado final.
- Relleno de zanjas y excavaciones en minas o en obras civiles, rellenos fluidos de densidad y resistencia controlada sin usar compactadores.
- Relleno de tuberías y tanques de almacenamiento de combustibles enterrados que estén fuera de uso.
- Como capas de soporte de bajo tráfico y áreas deportivas sobre suelos con baja capacidad portante

Concretos o morteros con fines estructurales

- Elaboración de elementos prefabricados de bajo peso.
- Estructuras de bajo peso vaciadas in situ con el fin de llevar a cabo ampliaciones.
- Revestimiento de estructuras de acero.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Muy fácil dosificación y no requiere equipo adicional para generar espuma.
- Baja densidad, en función a la dosificación usada.
- Gran estabilidad de la espuma.
- Inclusión de aire hasta un 40% del volumen de la mezcla.

Hoja Técnica  
Sika® Lightcrete PE

**Figura N° 28:** Ficha técnica de aditivo espumante Sika® Lightcrete-1

Fuente: Sika Perú

- Fácil colocación, mezclado y transporte en obra por su bajo peso.
- Menor presión sobre el encofrado.
- Como consecuencia del alto porcentaje de vacíos que incluye permite ofrecer un importante aislamiento térmico y acústico.
- Resistencia a la compresión en función a la densidad, la cual puede ser incrementada con el uso de aditivos superplastificantes Sikament y Viscocrete.

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>ASPECTO</b> Líquido <b>COLOR</b> Transparente, tonalidad amarilla <b>PRESENTACIÓN</b> Cilindro x 200 L
<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> 1 año bajo techo en su envase original cerrado a temperaturas entre 5 °C y 30°C.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1,01 kg/L ± 0,01

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO</b>  Se recomienda utilizar dosis de 0.5 kg. a 4 kg por metro cúbico de mezcla.  Adicionar el aditivo con la última parte del agua de la mezcla y agitar vigorosamente unos 10 minutos, asegurándose de obtener una mezcla vigorosa, puede emplearse menor tiempo de mezclado realizando ensayos previos y dependiendo del tipo de mezclador.  Transporte y colocación.  La mezcla que se obtiene generalmente es muy fluida, esto facilita el transporte, el bombeo, la colocación y el acabado del mismo.
<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSIDERACIONES GENERALES</b>  La mezcla puede ser bombeada sin problemas mediante bombas convencionales.  Para altos volúmenes de colocación, puede ser necesario prever un incremento de 100 a 200 kg/m <sup>3</sup> en su densidad.  El contenido de espuma incorporada y el grado de cohesión en las mezclas depende de la temperatura ambiente, de la mezcla, los agregados, velocidad y tiempo de mezclado, cantidad de cemento, etc.

Hoja Técnica

*Figura N° 29: Ficha técnica de aditivo espumante Sikaligthcrete-2*

Fuente: Sika Perú

CONSTRUYENDO CONFIANZA



## HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

# SikaFume®

Adición mineral - Microsilíce

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFume® es un aditivo para concreto en forma de polvo, basado en tecnología de humo de sílice.

### USOS

SikaFume® se utiliza en hormigón proyectado, hormigón estructural, hormigón prefabricado y otros campos de construcción de hormigón en los que se imponen altas exigencias a la calidad del hormigón fresco y endurecido.

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

SikaFume® contiene dióxido de silicio reactivo latente extremadamente fino. La presencia de esta sustancia imparte una gran cohesión interna y retención de agua en el concreto fresco. El concreto se vuelve extremadamente flexible y la capacidad de bombeo se mejora sustancialmente. En el concreto endurecido, el humo de sílice reactivo latente forma un enlace químico con la cal libre (CaOH<sub>2</sub>). La formación adicional de productos de hidratación da como resultado una matriz de cemento significativamente más densa.

Con el uso de SikaFume®, el concreto mostrará las siguientes propiedades:

- Alta estabilidad del hormigón verde.
- Mayor durabilidad.
- Excelente resistencia a la congelación y la sal de deshielo si se usa un agente de arrastre de aire al mismo tiempo.
- Mayores fortalezas finales.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Mayor estanqueidad al agua.
- Mayor estanqueidad al gas.
- Penetración reducida del cloruro.

SikaFume® no contiene cloruros ni otras sustancias que promueven la corrosión del acero y, por lo tanto, se puede usar sin ninguna restricción para la construcción de concreto reforzado y pretensado.

### CERTIFICADOS / NORMAS

SikaFume® confirma a EN 13263-1: 2005 tabla 4.

### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Una mezcla de ingredientes reactivos latentes.
Empaques	Bolsa de 25 kg Bolsa de 20 kg
Apariencia / Color	polvo gris o crema
Vida Útil	36 meses de vida útil a partir de la fecha de producción si se almacena correctamente en el empaque original sellado, sin daños y sin abrir.
Condiciones de Almacenamiento	Almacenamiento en un ambiente seco, no sensible a las heladas.
Densidad	~0.65 kg/l
Contenido Total de Iones de Cloruro	< 0.3 M-%

Hoja De Datos Del Producto  
SikaFume®  
Enero 2021, Versión 01.02  
021403031000000019

*Figura N° 30: Ficha técnica de aditivo Sikafume – microsilíce - 1*

Fuente: Sika Perú



## INFORMACIÓN TÉCNICA

<b>Guía de Vaciado de Concreto</b>	Se deben seguir las reglas estándar de buenas prácticas de hormigonado, relativas a la producción y la colocación. Las pruebas de laboratorio deben llevarse a cabo antes del hormigonado en el sitio, especialmente cuando se usa un nuevo diseño de mezcla o se producen nuevos componentes de concreto. El concreto fresco se debe curar adecuadamente y el curado debe aplicarse lo antes posible.
<b>Diseño de la Mezcla de Concreto</b>	Cuando se usa SikaFume®, se debe tener en cuenta un diseño de mezcla adecuado y se deben probar las fuentes de material locales.
<b>Tiempo de Mezclado del Concreto</b>	SikaFume® se agrega con el cemento y los agregados en la planta de procesamiento por lotes antes del medidor de agua. Tiempo óptimo de mezclado en húmedo: 60 segundos.

## INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

<b>Dosificación Recomendada</b>	5 - 10% en peso de cemento.
---------------------------------	-----------------------------

## NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

## ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

## RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

## NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe). La presente edición anula y reem-

### Anexo 03: Ficha técnica del cemento tipo Ico



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 04

Planta: Pacasmayo

## CEMENTO EXTRAFORTE

11 de febrero de 2021

### Cemento Pórtland Tipo ICo

Periodo de despacho 01 de enero de 2021 - 31 de enero de 2021

### REQUISITOS NORMALIZADOS

NTP 334.090 Tablas 1 y 2

#### QUÍMICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
MgO (%)	6.0 máx.	1.9
SO3 (%)	4.0 máx.	2.5

#### FÍSICOS

Requisitos	Especificación	Resultado de ensayos
Contenido de aire del mortero (volumen %)	12 máx.	5
Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)	^	5800
Retenido M325 (%)	^	2.4
Expansión en autoclave (%)	0.80 máx.	0.04
Contracción en autoclave (%)		-
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	^	2.97
Resistencia a la compresión (MPa)		
1 día	^	10.6
3 días	13.0 mín.	21.3
7 días	20.0 mín.	28.2
28 días	25.0 mín.	37.3
Tiempo de fraguado Vicat (minutos)		
Inicial	45 mín.	144
Final	420 máx.	255

^ No específica

El (la) RC 28 días corresponde al mes de diciembre del 2020

Certificamos que el cemento descrito arriba, al tiempo de envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.090.2016.




Ing. Dennis R. Rodas Lavado

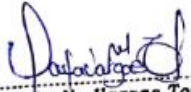
Superintendente de Control de Calidad


Solicitado por:

Distribuidora Norte Pacasmayo S. R. L.


**Anexo 04:** Guía de observación 01, resultados de las propiedades del concreto en estado fresco.

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 10/05/2021	CÓDIGO: CZ10-CP
HORA: 3:20 pm	MEZCLA: Concreto Patron (1)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
Dosificación aditivo Espumante	<p>FOTOGRAFÍA:</p> 
1) 1 L/m3	
2) 2 L/m3	
3) 3 L/m3	
Microsilíce (%)	
a) 00.00 %	
b) 05.00 %	
c) 07.50 %	
d) 10.00 %	
Masa del recipiente Mm (kg)	
3.525	0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m3)
20.123	2,353.00
Asentamiento y Temperatura	% Aire
3 1/2" y 21°	1.5%

  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO				
INFORMACIÓN GENERAL				
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE			
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC			
FECHA: 10/05/2021	CÓDIGO: CL1			
HORA: 03:50 pm	MEZCLA: 1 L/m <sup>3</sup> LC + 0% Microsilice (2)			
INFORMACIÓN ESPECÍFICA				
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA:			
<input checked="" type="checkbox"/> 1 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 2 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>				
Microsilice (%)				
<input checked="" type="checkbox"/> a) 00.00 % <input type="checkbox"/> b) 05.00 % <input type="checkbox"/> c) 07.50 % <input type="checkbox"/> d) 10.00 %				
<table border="1"> <tr> <th>Masa del recipiente Mm (kg)</th> <th>Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <td>3.525</td> <td>0.007053</td> </tr> </table>		Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )	3.525
Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )			
3.525	0.007053			
<table border="1"> <tr> <th>Masa del recipiente con concreto Mc (kg)</th> <th>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <td>17.659</td> <td>2,004.00</td> </tr> </table>	Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	17.659	2,004.00
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )			
17.659	2,004.00			
<table border="1"> <tr> <th>Asentamiento y Temperatura</th> <th>% Aire</th> </tr> <tr> <td>5 1/4" y 21°</td> <td>14.5%</td> </tr> </table>	Asentamiento y Temperatura	% Aire	5 1/4" y 21°	14.5%
Asentamiento y Temperatura	% Aire			
5 1/4" y 21°	14.5%			


  
 Carla Buelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

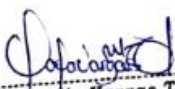
GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO		
INFORMACIÓN GENERAL		
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE	
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC	
FECHA: 10/05/2021	CÓDIGO: CL1F5	
HORA: 4:30 pm	MEZCLA: 1 <sup>l</sup> /m <sup>3</sup> L.C + 5% Microsilice (3)	
INFORMACIÓN ESPECÍFICA		
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	<p>FOTOGRAFÍA:</p> 	
<input checked="" type="checkbox"/> 1 L/m3 <input type="checkbox"/> 2 L/m3 <input type="checkbox"/> 3 L/m3		
<b>Microsilice (%)</b>		
<input type="checkbox"/> a) 00.00 % <input checked="" type="checkbox"/> b) 05.00 % <input type="checkbox"/> c) 07.50 % <input type="checkbox"/> d) 10.00 %		
<b>Masa del recipiente Mm (kg)</b> 3.525		<b>Volumen del recipiente (m3)</b> 0.007053
<b>Masa del recipiente con concreto Mc (kg)</b> 19.405		<b>Peso Unitario (kg/m3)</b> 2,252
<b>Asentamiento y Temperatura</b> 2" y 21°	<b>% Aire</b> 5.00%	



  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO		
INFORMACIÓN GENERAL		
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE	
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC	
FECHA: 10/05/2021	CÓDIGO: CL1 F7.5	
HORA: 4:55 pm	MEZCLA: 1 <sup>l</sup> /m <sup>3</sup> LC + 7.5% Microsilice (4)	
INFORMACIÓN ESPECÍFICA		
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA:	
<input checked="" type="checkbox"/> 1 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 2 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>		
Microsilice (%)		
<input type="checkbox"/> a) 00.00 % <input type="checkbox"/> b) 05.00 % <input checked="" type="checkbox"/> c) 07.50 % <input type="checkbox"/> d) 10.00 %		
Masa del recipiente Mm (kg)		Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )
3.525		0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	
19.541	2,271	
Asentamiento y Temperatura	% Aire	
1 1/2" y 21°	5.00%	

  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889



GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO		
INFORMACIÓN GENERAL		
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE	
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC	
FECHA: 10/05/2021	CÓDIGO: CL1 F10	
HORA: 05:30 pm	MEZCLA: 1 <sup>L</sup> /m <sup>3</sup> LC + 10% Microsilice (5)	
INFORMACIÓN ESPECÍFICA		
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA:	
<input checked="" type="checkbox"/> 1 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 2 L/m <sup>3</sup> <input type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>		
Microsilice (%)		
<input type="checkbox"/> a) 00.00 % <input type="checkbox"/> b) 05.00 % <input type="checkbox"/> c) 07.50 % <input checked="" type="checkbox"/> 10.00 %		
Masa del recipiente Mm (kg)		Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )
3.525		0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	
19.751	2,301	
Asentamiento y Temperatura	% Aire	
1" y 22°	4%	

  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889



GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO													
INFORMACIÓN GENERAL													
INVESTIGADOR	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE												
LABORATORIO	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC												
FECHA: 11/05/2021	CÓDIGO: CL2												
HORA: 3:40 pm	MEZCLA: 2 L/m <sup>3</sup> L.C + 0% Microsilice (6)												
INFORMACIÓN ESPECÍFICA													
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA:												
1) 1 L/m <sup>3</sup> <del>2) 2 L/m<sup>3</sup></del> 3) 3 L/m <sup>3</sup>													
Microsilice (%) <del>a) 00.00 %</del> b) 05.00 % c) 07.50 % d) 10.00 %													
<table border="1"> <tr> <th>Massa del recipiente Mm (kg)</th> <th>Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <td>3.525</td> <td>0.007053</td> </tr> <tr> <th>Massa del recipiente con concreto Mc (kg)</th> <th>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</th> </tr> <tr> <td>16.314</td> <td>1,813</td> </tr> <tr> <th>Asentamiento y Temperatura</th> <th>% Aire</th> </tr> <tr> <td>6 1/2" y 22°</td> <td>25%</td> </tr> </table>	Massa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )	3.525	0.007053	Massa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	16.314	1,813	Asentamiento y Temperatura	% Aire	6 1/2" y 22°	25%	
Massa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )												
3.525	0.007053												
Massa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )												
16.314	1,813												
Asentamiento y Temperatura	% Aire												
6 1/2" y 22°	25%												

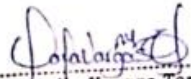
  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889




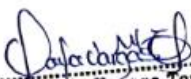
GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 11/05/2021	CÓDIGO: CLZF5
HORA: 04:30 pm	MEZCLA: 2 <sup>l</sup> /m <sup>3</sup> LC + 5% Microsilice (7)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	FOTOGRAFIA: 
1) 1 L/m3 <input checked="" type="checkbox"/> 2 L/m3 3) 3 L/m3	
<b>Microsilice (%)</b>	
a) 00.00 % <input checked="" type="checkbox"/> b) 05.00 % c) 07.50 % d) 10.00 %	
Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m3)
3.525	0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m3)
17.534	1,986
Asentamiento y Temperatura	% Aire
3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " y 22°	15%



*Carla Evelyn Vargas Toribio*  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 11/05/2021	CÓDIGO: CL2F7.5
HORA: 05:10 pm	MEZCLA: 24/m <sup>3</sup> LC + 7.5/l Microsilice (8)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA
1) 1 L/m <sup>3</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 2 L/m <sup>3</sup> 3) 3 L/m <sup>3</sup>	
Microsilice (%) a) 00.00 % b) 05.00 % <input checked="" type="checkbox"/> 07.50 % d) 10.00 %	
Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )
3.525	0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
18.905	2,181
Asentamiento y Temperatura	% Aire
2 3/4" y 22°	8%
	



  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO		
INFORMACIÓN GENERAL		
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE	
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC	
FECHA: 11/05/2021	CÓDIGO: CL2F10	
HORA: 6:00 pm	MEZCLA: 2 <sup>l</sup> /m <sup>3</sup> L.C + 10% Microsilice (9)	
INFORMACIÓN ESPECÍFICA		
Dosificación aditivo Espumante	FOTOGRAFÍA:	
1) 1 L/m <sup>3</sup>		
<input checked="" type="checkbox"/> 2 L/m <sup>3</sup>		
3) 3 L/m <sup>3</sup>		
Microsilice (%)		
a) 00.00 %		
b) 05.00 %		
c) 07.50 %		
<input checked="" type="checkbox"/> 10.00 %		
Masa del recipiente Mm (kg)		Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )
3.525		0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	
19.499	2,265	
Asentamiento y Temperatura	% Aire	
1/2" y 21°	4%	



  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 13/05/2021	CÓDIGO: C 13
HORA: 3:10 pm	MEZCLA: 3 L/m <sup>3</sup> L.C + 0% Microsílice (10)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	<b>FOTOGRAFIA:</b>
1) 1 L/m <sup>3</sup> 2) 2 L/m <sup>3</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>	
<b>Microsílice (%)</b> <input checked="" type="checkbox"/> a) 00.00 % b) 05.00 % c) 07.50 % d) 10.00 %	
<b>Masa del recipiente Mm (kg)</b> 3.525	<b>Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)</b> 0.007053
<b>Masa del recipiente con concreto Mc (kg)</b> 15.098	<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b> 1,641
<b>Asentamiento y Temperatura</b> 6 1/2" y 22°	<b>% Aire</b> 16%
	



*Carla Euelin Vargas Toribio*  
 Carla Euelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 13/05/2021	CÓDIGO: CL3F5
HORA: 03:52 pm	MEZCLA: 3 <sup>L</sup> /m <sup>3</sup> L.C + 5% Microsilice (11)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	FOTOGRAFIA: 
1) 1 L/m <sup>3</sup> 2) 2 L/m <sup>3</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>	
<b>Microsilice (%)</b>	
a) 00.00 % <input checked="" type="checkbox"/> 05.00 % c) 07.50 % d) 10.00 %	
Masa del recipiente Mm (kg)	Volumen del recipiente (m <sup>3</sup> )
3.525	0.007053
Masa del recipiente con concreto Mc (kg)	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
17.436	1,972
Asentamiento y Temperatura	% Aire
3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> " y 21°	11.5%

*Carla Ebelin Vargas Toribio*  
 Carla Ebelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 13/05/2021	CÓDIGO: CL3 F7.5
HORA: 04:23 pm	MEZCLA: 3L/m <sup>3</sup> L.C + 7.5M Microsilice (12)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	FOTOGRAFÍA:
1) 1 L/m <sup>3</sup> 2) 2 L/m <sup>3</sup> <input checked="" type="checkbox"/> 3 L/m <sup>3</sup>	
<b>Microsilice (%)</b>	
a) 00.00 % b) 05.00 % <input checked="" type="checkbox"/> 07.50 % d) 10.00 %	
<b>Masa del recipiente Mm (kg)</b>	<b>Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)</b>
3.525	0.007053
<b>Masa del recipiente con concreto Mc (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>
17.646	2,002
<b>Asentamiento y Temperatura</b>	<b>% Aire</b>
3" y 21°	11%.
	

*Carla Evelin Vargas Toribio*  
 .....  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

GUÍA DE OBSERVACIÓN 01, PESO UNITARIO DEL CONCRETO	
INFORMACIÓN GENERAL	
INVESTIGADOR:	VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE
LABORATORIO:	QUALITY CONTROL EXPRESS SAC
FECHA: 13/05/2021	CÓDIGO: CL3F10
HORA: 05:20 pm	MEZCLA: 3 <sup>L</sup> /m <sup>3</sup> LC + 10% Microsilice (13)
INFORMACIÓN ESPECÍFICA	
<b>Dosificación aditivo Espumante</b>	FOTOGRAFIA:
1) 1 L/m <sup>3</sup> 2) 2 L/m <sup>3</sup> <del>3) 3 L/m<sup>3</sup></del>	
<b>Microsilice (%)</b>	
a) 00.00 % b) 05.00 % c) 07.50 % <del>d) 10.00 %</del>	
<b>Masa del recipiente Mm (kg)</b>	<b>Volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)</b>
3.525	0.007053
<b>Masa del recipiente con concreto Mc (kg)</b>	<b>Peso Unitario (kg/m<sup>3</sup>)</b>
18.450	2,116
<b>Asentamiento y Temperatura</b>	<b>% Aire</b>
1 1/2" y 21°	6%
	

*Carla Evelyn Vargas Toribio*  
 Carla Evelyn Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

**Anexo 04:** Resultados de la resistencia a la compresión a 28 días



**INFORME DE ENSAYO N° 0657-2021-QCE/TRJ**

Fecha de Emisión: 07/06/2021

**1. INFORMACION DEL SOLICITANTE**

SOLICITANTE : VICTOR MANUEL VASQUEZ VALVERDE

PROYECTO : INFLUENCIA DE ADITIVO ESPUMANTE Y MICROSÍLICE SOBRE EL PESO UNITARIO Y RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO EN LA OBTENCION DE CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL, TRUJILLO 2021.

ID MUESTRA : CONCRETO PATRON F'c = 210 KG/CM2

**2. TIPO DE ENSAYO:**

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

**3. RESULTADO DE ENSAYOS:**

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CP210 (7)	210	10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	25502	318	151%	1
CP210 (8)	210	10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	25398	317	151%	1
CP210 (9)	210	10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	24606	307	146%	2
Promedio								<b>314</b>	<b>150%</b>	

**NOTAS**

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
 Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

**QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.**

Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés, Trujillo // (044) 705879, 951441959 // ventas@qce.com.pe



ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (1.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

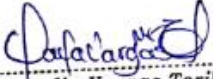
Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL1 (7)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	7717	96		2
CL1 (8)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	8024	100		2
CL1 (9)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	7521	94		2

Promedio 

97
----

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (1.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 5% DE MICROSILICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

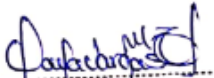
Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL1F5 (7)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	22808	285		2
CL1F5 (8)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	23066	288		1
CL1F5 (9)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	23958	299		1

Promedio 

291
-----

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (1.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 7.5% DE MICROSÍLICE)

## 2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

## 3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia a Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL1F7.5 (7)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	24304	303		1
CL1F7.5 (8)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	23527	294		1
CL1F7.5 (9)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	23965	299		2

Promedio **299**

### NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (1.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 10% DE MICROSÍLICE)

## 2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

## 3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia a Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL1F10 (7)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	28789	359		1
CL1F10 (8)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	27253	340		2
CL1F10 (9)		10/05/2021	07/06/2021	28	10.1	80.12	28325	354		1

Promedio **351**

### NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (2.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia a Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL2 (7)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	4560	57		2
CL2 (8)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	4822	60		4
CL2 (9)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	4718	59		3
Promedio								59		

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (2.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 5% DE MICROSILICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia a Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL2F5 (7)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	12484	156		1
CL2F5 (8)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	11928	149		1
CL2F5 (9)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	11485	143		2
Promedio								149		

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (2.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 7.5% DE MICROSÍLICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL2F7.5 (7)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	22294	278		1
CL2F7.5 (8)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	19570	244		2
CL2F7.5 (9)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	21930	274		1
Promedio								265		

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (2.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 10% DE MICROSÍLICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

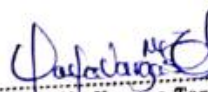
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL2F10 (7)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	27913	348		1
CL2F10 (8)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	27302	341		1
CL2F10 (9)		11/05/2021	08/06/2021	28	10.1	80.12	25419	317		2
Promedio								335		

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (3.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:


Identificación Testigo	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL3 (7)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	2287	29		3
CL3 (8)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	2506	31		3
CL3 (9)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	2449	31		4

Promedio 

30
----

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (Fc), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (3.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 5% DE MICROSILICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL3F5 (7)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	11784	147		1
CL3F5 (8)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	11520	144		2
CL3F5 (9)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	11766	147		2

Promedio 

146
-----

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (Fc), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39

  
Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (3.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 7.5% DE MICROSILICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:


Identificación Testigo	F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL3F7.5 (7)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	15554	194		1
CL3F7.5 (8)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	15624	195		1
CL3F7.5 (9)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	14738	184		2

Promedio

191

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

ID MUESTRA : CONCRETO LIGERO (3.0 LT/M3 DE ADITIVO ESPUMANTE + 10% DE MICROSILICE)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díametro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CL3F10 (7)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	23063	288		2
CL3F10 (8)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	24276	303		1
CL3F10 (9)		13/05/2021	10/06/2021	28	10.1	80.12	24958	312		1

Promedio

301

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° PT-LF-061-2021, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelyn Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

Anexo 05: Certificado de calibración de equipos



## PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

PT - LF - 061 - 2021

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

<p><b>1. Expediente</b></p> <p><b>2. Solicitante</b></p> <p><b>3. Dirección</b></p> <p><b>4. Equipo</b></p> <p>    <b>Capacidad</b></p> <p>    <b>Marca</b></p> <p>    <b>Modelo</b></p> <p>    <b>Número de Serie</b></p> <p>    <b>Procedencia</b></p> <p>    <b>Identificación</b></p> <p>    <b>Indicación</b></p> <p>    <b>Marca</b></p> <p>    <b>Modelo</b></p> <p>    <b>Número de Serie</b></p> <p>    <b>Resolución</b></p> <p>    <b>Ubicación</b></p> <p><b>5. Fecha de Calibración</b></p>	<p>0244-2021</p> <p><b>QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.</b></p> <p>AV. AMERICA SUR 4138 URB. SAN ANDRES - TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD.</p> <p><b>PRENSA DE CONCRETO</b></p> <p>2000 kN</p> <p>ALFA</p> <p>B-001/LCD/2</p> <p>050220/21</p> <p>NO INDICA</p> <p>NO INDICA</p> <p>DIGITAL</p> <p>ALFA</p> <p>B001-2DI4C</p> <p>NO INDICA</p> <p>0.1 / 0.1 kN (*)</p> <p>LABORATORIO DE CONCRETO</p> <p>2021-04-12</p>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>PERUTEST S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
--	---	--

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

2021-04-13

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES



Calle: Yahuar Huaca 215 - Urb San Agustín - Comas - Lima  
email: ventasperutest@gmail.com celulares: 955618013 - 982337399 - #947419158



**PERUTEST S.A.C.**  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

**PERUTEST S.A.C.**

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA- QUIMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**PT - LF - 061 - 2021**

Página 2 de 3

### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

### 7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.

MZA. G LOTE. 16 INT. 208 URB. VISTA HERMOSA LA LIBERTAD - TRUJILLO - TRUJILLO

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	18.7 °C	18.7 °C
Humedad Relativa	65 % HR	65 % HR

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Código: PF-001 Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE-038-21
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1131- 2020

### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



Calle: Yahuar Huaca 215 - Urb San Agustín - Comas - Lima  
email: ventasperutest@gmail.com celulares: 955618013 - 982337399 - #947419158





## PERUTEST S.A.C

CALIBRACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

SUELOS - MATERIALES - CONCRETOS - ASFALTOS - ROCAS - FISICA - QUIMICA

RUC N° 20602182721

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
PT - LF - 061 - 2021

### 11. Resultados de Medición

Página 3 de 3

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso)			
%	$F_i$ (kN)	$F_1$ (kN)	$F_2$ (kN)	$F_3$ (kN)	$F_{promedio}$ (kN)
10	100	100.8	99.7	100.8	100.3
20	200	201.1	200.8	200.8	200.9
30	300	302.2	301.3	301.5	301.5
40	400	401.9	401.3	401.6	401.5
50	500	502.6	501.7	501.6	501.8
60	600	602.5	601.6	601.6	601.9
70	700	702.3	701.7	701.9	701.9
80	800	802.3	802.1	802.6	802.3
90	900	901.3	900.9	901.2	901.2
100	1000	1001.9	1001.5	1001.4	1001.5
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo $F$ (kN)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre $U$ (k=2) (%)
	Exactitud $q$ (%)	Repetibilidad $b$ (%)	Reversibilidad $v$ (%)	Resol. Relativa $\sigma$ (%)	
100	-0.27	1.10	-0.20	0.10	0.82
200	-0.43	0.15	-0.02	0.05	0.58
300	-0.50	0.30	0.03	0.03	0.59
400	-0.37	0.15	0.04	0.03	0.58
500	-0.37	0.20	0.03	0.02	0.58
600	-0.31	0.15	-0.02	0.02	0.58
700	-0.26	0.10	0.01	0.01	0.58
800	-0.29	0.06	-0.02	0.01	0.58
900	-0.13	0.04	-0.02	0.01	0.58
1000	-0.15	0.04	0.01	0.01	0.58

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_0$ )	0.00 %
---	--------

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Calle: Yahuar Huaca 215 - Urb San Agustín - Comas - Lima  
email: [ventasperutest@gmail.com](mailto:ventasperutest@gmail.com) celulares: 955618013 - 982337399 - #947419158



## Anexo 06: Análisis estadístico

### ANOVA BIFACTORIAL

#### Nivel de significancia

Se determinó un 95% de confianza con una significancia de ( $\alpha=0.05$ ), de acuerdo a los criterios seleccionados para la obtención de la muestra.

#### Criterio de Rechazo

- Se rechaza la hipótesis nula si  $F_0$  es mayor a  $F_\alpha$
- $F_0$  es obtenido de manera experimental
- $F_\alpha$  es el teórico, obtenido mediante tablas

#### Grados de Libertad para F teórico

G.L de las variables independientes

- Aditivo Espumante (A)

$$G.L = a - 1$$

$$G.L = 3 - 1$$

$$G.L = 2$$

- % de microsíllice (B)

$$G.L = b - 1$$

$$G.L = 4 - 1$$

$$G.L = 3$$

G.L para las variables conjugadas

- $G.L = (a - 1) \times (b - 1)$

$$G.L = (3 - 1) \times (4 - 1)$$

$$G.L = 6$$

G.L del error (residuos)

- $G.L = a \times b \times (n - 1)$

$$G.L = 3 \times 4 \times (3 - 1)$$

$$G.L = 24$$

Tabla N° 77: Tabla de Fisher para cálculo de  $F$  teórico con nivel de significancia de 0.05

V <sub>2</sub>	Grados de libertad del numerador (V <sub>1</sub> )														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30
2		199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1
3		19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46
4	161.4	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75
5	18.51	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50
6	10.73	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81
7	7.71	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38
8	6.61	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08
9	5.99	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86
10	5.59	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70
11	5.32	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57
12	5.12	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47
13	4.96	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38
14	4.84	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31
15	4.75	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25
16	4.67	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19
17	4.60	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15
18	4.54	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11
19	4.49	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07
20	4.45	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04
21	4.41	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01
22	4.38	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98
23	4.35	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96
24	4.32	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94
25	4.30	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92
26	4.28	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90
27	4.26	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88
28	4.24	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87
29	4.23	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85
30	4.21	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84
40	4.20	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74
60	4.18	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65
120	4.17	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55
Inf.	4.08	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46
	4.00														
	3.92														
	3.84														

## CÁLCULO DEL F EXPERIMENTAL PARA LOS VALORES DE COMPRESIÓN

### Hipótesis específica 1

#### Datos

H1: Hipótesis alterna = El aditivo espumante y el % microsíllice si influye significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

H0: Hipótesis nula = El aditivo espumante y el % microsíllice no influyen significativamente sobre la resistencia a la compresión del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

$$n = 3$$

Espumante  $a = 3$

%Microsílice  $b = 4$

Dónde: "a" es el número de niveles para el aditivo espumante, "b" es el número de niveles del porcentaje de microsílice y "n" es el número de réplicas.

*Tabla N° 78: Resultados de las resistencias a 28 días de los concretos adicionados*

1. Solución mediante Cálculo Matemático						
% MICROSILICE: B						
		B1 = 0	B2 = 5	B3 = 7.5	B4 = 10	
ADITIVO ESPUMANTE (L/m <sup>3</sup> ) : A	L1	96	285	303	359	
		100	288	294	340	
		94	299	299	354	
	L2	57	156	278	348	
		60	149	264	341	
		59	143	274	317	
	L3	29	147	194	288	
		31	144	195	303	
		31	147	184	312	

Fuente: Elaboración Propia

*Tabla N° 79: Cálculo de Yj para la data de compresión del concreto*

Aditivos		% MICROSILICE: B				
		B1 = 0	B2 = 5	B3 = 7.5	B4 = 10	
ADITIVO ESPUMANT E (L/m <sup>3</sup> ) : A	L1	290.00	872.00	896.00	1053.00	
	L2	176.00	448.00	816.00	1006.00	
	L3	91.00	438.00	573.00	903.00	
	Yj	557.00	1758.00	2285.00	2962.00	
	Yj <sup>2</sup>	310249.0	3090564.0	5221225.0	8773444.0	

Fuente: Elaboración Propia

*Tabla N° 80: Cálculo de Yi para la data de compresión del concreto*

Aditivos	% MICROSILICE: B				Yi	
	B1 <sup>2</sup>	B2 <sup>2</sup>	B3 <sup>2</sup>	B4 <sup>2</sup>	Yi	Yi <sup>2</sup>
ADITIVO ESPUMANT E (L/m <sup>3</sup> ) : A	84100.0	760384.0	802816.0	1108809.0	3111.00	9678321.0
	30976.0	200704.0	665856.0	1012036.0	2446.00	5982916.0
	8281.0	191844.0	328329.0	815409.0	2005.00	4020025.0
					Yt	7562.00

Fuente: Elaboración Propia

## CÁLCULO DE LA SUMA DE CUADRADOS

- **Suma de cuadrados del factor A**

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = \frac{(9678321+5982916^2+4020025^2)}{4x3} - \frac{7562^2}{3x4x3}$$

$$SS_A = 51665.06$$

- **Suma de cuadrados del factor B**

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = \frac{310249.0 + 3090564.0 + 5221225.0 + 8773444.0}{3x3} - \frac{7562^2}{3x4x3}$$

$$SS_B = 344391.22$$

- **Suma de cuadrados subtotales**

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = \frac{(84100^2 + 30976^2 + 8281^2 + \dots + 1012036^2 + 815409^2)}{3} - \frac{7562^2}{3x4x3}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 414741.22$$

- **Suma de cuadrados de la interacción de los factores AxB**

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 414741.22 - 51665.06 - 344391.22$$

$$SS_{AxB} = 18684.94$$

- **Suma de cuadrados totales**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_T = (96^2 + 285^2 + \dots + 184^2 + 312^2) - \frac{7562^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_T = 2004642 - \frac{7562^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_T = 416201.89$$

- **Suma de cuadrados del error**

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 416201.89 - 51665.06 - 344391.22 - 18684.94$$

$$SS_E = 1460.667$$

### CÁLCULO DE LA MEDIA DE CUADRADOS

- **Media del cuadrado del factor A**

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{51665.06}{3 - 1}$$

$$MS_A = 25832.528$$

- **Media del cuadrado del factor B**

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{344391.22}{4 - 1}$$

$$MS_B = 114797.074$$

- **Media del cuadrado de la interacción de AxB**

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1) \times (b - 1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{18684.94}{(3 - 1) \times (4 - 1)}$$

$$MS_{AxB} = 3114.157$$

- **Media del cuadrado del error**

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb) \times (n - 1)}$$

$$MS_E = \frac{1460.667}{(3 * 4) * (3 - 1)}$$

$$MS_E = 60.861$$

## CÁLCULO DE F EXPERIMENTAL

### - Cálculo del $F_0$ (A).

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{25832.528}{60.861}$$

$$F_0(A) = 424.45$$

### - Cálculo del $F_0$ (B).

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{114797.074}{60.861}$$

$$F_0(B) = 1886.21$$

### - Cálculo del $F_0$ (AxB).

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{3114.157}{60.861}$$

$$F_0(AxB) = 51.16$$

## CÁLCULO DEL F EXPERIMENTAL PARA LOS VALORES DE PESO UNITARIO

### Hipótesis específica 1

#### Datos

H1: Hipótesis alterna = El aditivo espumante y el % microsíllice si influye significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

H0: Hipótesis nula = El aditivo espumante y el % microsíllice no influyen significativamente sobre el peso unitario del concreto para la obtención de concreto ligero estructural.

Pruebas  $n = 3$

Espumante  $a = 3$

%Microsíllice  $b = 4$

Dónde: “a” es el número de niveles para el aditivo espumante, “b” es el número de niveles del porcentaje de microsíllice y “n” es el número de réplicas.

*Tabla N° 81: Resultados de las resistencias a 28 días de los concretos adicionados*

1. Solución mediante Cálculo Matemático					
		% MICROSILICE: B			
		B1 = 0	B2 = 5	B3 = 7.5	B4 =10
ADITIVO ESPUMANTE (L/m3) : A	L1	2008	2255	2269	2298
		2000	2253	2274	2305
		2004	2248	2270	2300
	L2	1815	1990	2176	2275
		1810	1986	2178	2261
		1814	1982	2189	2259
	L3	1640	1978	2004	2111
		1652	1967	1995	2117
		1631	1971	2007	2120

Fuente: Elaboración Propia

*Tabla N° 82: Cálculo de Yj para los datos de peso unitario*

Aditivos		% MICROSILICE: B			
		B1 = 0	B2 = 5	B3 = 7.5	B4 =10
ADITIVO ESPUMANTE (L/m3) : A	L1	6012.00	6756.00	6813.00	6903.00
	L2	5439.00	5958.00	6543.00	6795.00
	L3	4923.00	5916.00	6006.00	6348.00
	Yj	16374.00	18630.00	19362.00	20046.00
	Yj <sup>2</sup>	268107876.0	347076900.0	374887044.0	401842116.0

Fuente: Elaboración Propia



Tabla N° 83: Cálculo de  $Y_i$  para los datos de peso unitario

Aditivos	% MICROSILICE: B				Yi	
	B1 <sup>2</sup>	B2 <sup>2</sup>	B3 <sup>2</sup>	B4 <sup>2</sup>	Yi	Yi <sup>2</sup>
ADITIVO ESPUMANTE (L/m <sup>3</sup> ) : A	36144144.0	45643536.0	46416969.0	47651409.0	26484.00	701402256.0
	29582721.0	35497764.0	42810849.0	46172025.0	24735.00	611820225.0
	24235929.0	34999056.0	36072036.0	40297104.0	23193.00	537915249.0
				Yt	<b>74412.00</b>	

Fuente: Elaboración Propia

### CÁLCULO DE LA SUMA DE CUADRADOS

- Suma de cuadrados del factor A

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_A = \frac{(701402256+611820225+537915249)}{4 \times 3} - \frac{74412^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_A = 451873.50$$

- Suma de cuadrados del factor B

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axn} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_B = \frac{268107876 + 347076900 + 374887044 + 401842116}{3 \times 3} - \frac{74412^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_B = 847500.00$$

- Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{n} - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = \frac{(36144144^2 + 29582721^2 + \dots + 46172025 + 40297104)}{3} - \frac{74412^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_{SUBTOTAL} = 1364910.00$$

- **Suma de cuadrados de la interacción de los factores AxB**

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AxB} = 1364910.00 - 451873.50 - 847500.00$$

$$SS_{AxB} = 65536.50$$

- **Suma de cuadrados totales**

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxn}$$

$$SS_T = (2008^2 + 2000^2 + \dots + 2117^2 + 2120^2) - \frac{74412^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_T = 155175312.0 - \frac{74412^2}{3 \times 4 \times 3}$$

$$SS_T = 1365708.00$$

- **Suma de cuadrados del error**

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

$$SS_E = 1365708.00 - 451873.50 - 847500.00 - 65536.50$$

$$SS_E = 798.00$$

### CÁLCULO DE LA MEDIA DE CUADRADOS

- **Media del cuadrado del factor A**

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

$$MS_A = \frac{451873.50}{3 - 1}$$

$$MS_A = 225936.750$$

- **Media del cuadrado del factor B**

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

$$MS_B = \frac{847500.00}{4 - 1}$$

$$MS_B = 282500.00$$

- **Media del cuadrado de la interacción de AxB**

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a-1)x(b-1)}$$

$$MS_{AxB} = \frac{65536.50}{(3-1)x(4-1)}$$

$$MS_{AxB} = 10922.75$$

- **Media del cuadrado del error**

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)x(n-1)}$$

$$MS_E = \frac{798.00}{(3*4)x(3-1)}$$

$$MS_E = 33.25$$

### CÁLCULO DE F EXPERIMENTAL

- **Cálculo del F<sub>0</sub> (A).**

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

$$F_0(A) = \frac{225936.750}{33.25}$$

$$F_0(A) = \mathbf{6795.09}$$

- **Cálculo del F<sub>0</sub> (B).**

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

$$F_0(B) = \frac{282500.00}{33.25}$$

$$F_0(B) = \mathbf{8496.24}$$

- **Cálculo del F<sub>0</sub> (AxB).**

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

$$F_0(AxB) = \frac{10922.75}{33.25}$$

$$F_0(AxB) = \mathbf{328.50}$$

**Anexo 06:** Panel fotográfico



*Figura N° 32:* Verificación del asentamiento del concreto



*Figura N° 33:* Varillado del recipiente para el ensayo de peso unitario



*Figura N° 34:* Comprobación y registro del Peso Unitario



*Figura N° 35:* Elaboración de probetas de concreto



*Figura N° 36:* Desmoldado y codificación de los testigos de concreto



*Figura N° 37:* Enrasado final para el ensayo de Peso Unitario y % de aire



*Figura N° 38:* Curado de las probetas de concreto



*Figura N° 39:* Ensayo de resistencia a la compresión



*Figura N° 40: Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL3-F10 a los 28 días de curado*



*Figura N° 41: Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL3-F7.5 a los 28 días de curado*



*Figura N° 42: Resistencia máxima que alcanzó el diseño CL2-F7.5 a los 28 días de curado*