

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO LIGERO CON  
INCORPORACIÓN DE VIRUTAS DE MADERA”**

**Presentado por:**

**BACH. LEDDY JHOANA BELLIDO YARLEQUE**

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

**Lima – Perú**

**2018**

## **DEDICATORIA**

Es mi deseo dedicar este trabajo a mis padres y mis hermanos, por haberme animando en los momentos difíciles y por mostrarme siempre su apoyo, sin su ayuda no hubiera logrado esto, muchas gracias.

Se lo dedico a Dios, ya que por su amor y gracia he logrado las metas que me he propuesto.

De manera especial se lo dedico a mi abuelo Alipio Bellido y a mi abuela Graciela Saldarriaga, siempre estarán presentes en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTOS**

A:

Dios Todopoderoso, por darme la oportunidad de terminar esta etapa junto a mi familia y amigos. Por haberme dado cada cosa que tengo y sobretodo, la vida y su amor.

Mis padres, Ledy e Hildebrando, por haberme dado las herramientas necesarias para poder desarrollarme cognitiva, social y afectivamente. Gracias por quererme, cuidarme y preocuparse por mi.

Mis hermanos, David y Joel, por ser mis amigos y consejeros, por apoyarnos y compartir lindos momentos juntos.

Mis abuelos, Graciela Saldarriaga, Leodegario Yarleque, Alipio Bellido y Susana Salcedo, porque de ustedes aprendí mucho y evoco sus sabias enseñanzas.

Estimado Ingeniero Carlos Bravo, por su eterna paciencia y confianza en mi para este proyecto.

Toda la plana docente del Departamento de Ordenamiento Territorial y Construcción, por sus valiosos aportes y comentarios.

A mis amigos, por su apoyo y motivación.

A Rocco y Motti también.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó las propiedades mecánicas del concreto con incorporación virutas de madera como adición en ciertos porcentajes del peso cemento mediante pruebas realizadas en el Laboratorio de Prueba y Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Agrícola. En primer lugar, se realizó la caracterización de agregados según la NTP 400.012.2001, la caracterización y mineralización de la viruta de madera; el diseño de mezcla por el método ACI211.1. El concreto se preparó para una resistencia de 17.5 MPa con las siguientes dosificaciones: concreto patrón (P1), concreto con 30 % de viruta (P1+F1), concreto con 60 % de viruta (P2+F2) y concreto con 90 % de viruta (P1+F3). Con esto, se prepararon 120 probetas de 8" de alto y 4" de diámetro, para ensayar la resistencia a la compresión y peso específico, 8 probetas de 12" de alto y 6" de diámetro para ensayarlas a la tracción a un y 8 probetas prismáticas de 10x10x40 cm para ensayarlas a la resistencia a la flexión a los tres puntos. Las virutas de madera fueron pesadas antes y después de la mineralización para obtener la variación en el porcentaje de humedad y peso específico por los tratamientos, luego fueron tamizadas para separar las virutas y el aserrín. Además para cada mezcla se realizó el ensayo de asentamiento, para poder determinar la trabajabilidad en cada porcentaje de viruta de madera añadida. Al finalizar, se hizo una prueba de hipótesis utilizando el software R, esto para poder verificar el tipo de concreto que cumpla con la especificación de peso específico para concreto ligero con resistencia moderada. De esta investigación se concluye que al incorporar virutas de madera se puede disminuir el peso específico hasta un máximo de 71.26 % y cumple con las especificaciones de resistencia a la compresión para concreto ligero de resistencia moderada. Además se redujo la trabajabilidad, aumento en el tiempo espera para desmolde y cambio el color del concreto. Asimismo se da una serie de pautas para una línea de investigación que se podrá desarrollar a futuro para la elaboración de paneles y planchas pre fabricados.

Palabras clave: concreto, concreto ligero, mineralización, virutas de madera, trabajabilidad.

## ABSTRACT

The present investigation evaluated the mechanical properties of the concrete weight with incorporation shavings of wood like addition in certain percentages of the cement by tests in the Laboratory of Test and Test of Materials of the Faculty of Agricultural Engineering. First, the characterization of aggregates was carried out according to the NTP 400.012.2001, the characterization and mineralization of wood chips; the mixing design by the ACI 211.1 method. The concrete was prepared for a strength of 17.5 MPa with the following dosages: concrete pattern (P1), concrete with 30% chip (P1 + F1), concrete with 60% chip (P2 + F2) and concrete with 90% chip (P1 + F3). With this, 120 specimens of 8 "high and 4" diameter were prepared to test the compressive strength and specific gravity, 8 samples of 12 "high and 6" diameter to test them to the traction at the three points and 8 prismatic test pieces of 10x10x40 cm to test them for flexural strength. The wood chips were weighed before and after the mineralization to obtain the variation in the percentage of moisture and specific weight for the treatments, then they were sifted to separate the shavings and the sawdust. In addition, for each mixture, the settlement test was carried out, in order to determine the workability in each percentage of wood chip added. At the end, a hypothesis test was performed using the R software, in order to verify the type of concrete that meets the specific weight specification for lightweight concrete with moderate strength. From this investigation it is concluded that when incorporating wood chips, the specific weight can be reduced up to a maximum of 71.26% and complies with the specifications of compressive strength for lightweight concrete of moderate strength. In addition, the incorporation of wood shavings caused the decrease in workability, increase in the expected time for demolding and change in color of the concrete. There is also a series of guidelines for a line of research that may be developed in the future for the elaboration of prefabricated panels and sheets.

Keywords: concrete, lightweight concrete, mineralization, wood shavings, workability.

## ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo Principal.....	3
1.2.2 Objetivo Específico .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1 Concreto .....	4
2.1.1 Concreto común.....	4
2.1.2 Concreto ligero .....	5
2.2 Componentes del concreto .....	5
2.2.1 Cemento.....	5
2.2.2 Agregados.....	6
2.2.3 Agua .....	7
2.2 Fibras en el concreto.....	7
2.3 Fibras .....	8
2.3.1 Fibras artificiales .....	8
2.3.2 Fibras sintéticas .....	8
2.3.3 Fibras naturales.....	8
2.4 Producción de la viruta de madera .....	9
2.5 Propiedades físicas de la madera .....	9
2.5.1 Contenido de humedad .....	9
2.5.2 Densidad básica .....	9
2.5.3 Contracción y expansión de la madera .....	10
2.6 Propiedades mecánicas de la madera.....	10

2.6.1 Resistencia a la flexión.....	10
2.6.2 Resistencia a la compresión.....	10
2.6.3 Dureza.....	10
2.6.4 Durabilidad natural de la madera.....	10
2.7 Mineralización de la madera.....	11
2.7.1 Catalizadores .....	12
2.7.2 Sulfato de aluminio.....	12
2.7.3 Silicato de sodio .....	12
2.7.4 Cloruro de calcio .....	13
2.8 Agrupamiento estructural de la madera.....	13
2.8.1 Procedimiento:.....	14
2.9 Propiedades mecánicas del concreto .....	15
2.9.1 Trabajabilidad.....	15
2.9.2 Resistencia a la compresión.....	15
2.9.3 Resistencia a la tracción por compresión diametral .....	16
2.9.4 Resistencia a la flexión en los puntos tercios .....	17
2.9.5 Peso unitario .....	17
2.10 Análisis estadístico .....	17
2.10.1 Variabilidad de datos .....	18
2.10.2 Prueba de Hipótesis .....	19
III. MATERIALES Y METODOLOGÍA .....	22
3.1 Materiales y Equipos .....	22
3.2 Metodología.....	24
3.2.1 Caracterización de los agregados .....	24
3.2.2 Caracterización de las virutas de madera .....	24
3.2.3 Mineralización de las fibras de madera .....	25
3.2.4 Caracterización de las virutas de madera .....	25

3.2.5	Diseño de mezcla.....	25
3.2.6	Diseño del experimento.....	28
3.2.7	Pruebas preliminares .....	29
3.2.8	Determinación del peso específico.....	31
3.2.9	Ensayos al concreto .....	31
3.2.10	Análisis Estadístico .....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUCIONES.....	33
4.1	Caracterización de los agregados .....	33
4.2	Caracterización de las virutas de madera .....	36
4.3	Mineralización de las virutas de madera .....	36
4.4.	Caracterización de la madera.....	38
4.5	Diseño de mezcla.....	39
4.6	Diseño del experimento.....	40
4.7.	Pruebas preliminares .....	42
4.7.1	Ensayo de asentamiento.....	42
4.7.2	Análisis Termogravimétrico TGA (proximal).....	44
4.8	Peso específico .....	44
4.8.1	Probetas tipo P1 .....	44
4.8.2	Probetas tipo P1+F1 .....	45
4.8.3	Probetas tipo P1+F2 .....	46
4.8.4	Probetas tipo P1+F3 .....	48
4.9	Ensayos de concreto .....	50
4.9.1	Resistencia a la compresión probetas P1 .....	50
4.9.2	Resistencia a la compresión probetas P1+F1 .....	51
4.9.3	Resistencia a la compresión probetas P1+F2 .....	53
4.9.4	Resistencia a la compresión probetas P1+F3 .....	55
4.9.5	Resistencia a la flexión.....	56



4.9.6 Resistencia a la tracción por compresión diametral .....	58
4.10 Análisis estadístico .....	59
4.10.1. Validación de datos para peso específico .....	59
4.10.2 Validación de datos para resistencia a la compresión .....	62
4.10.3 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F1 .....	63
4.10. 4 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F2 .....	66
4.10.5 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F3 .....	69
V. CONCLUSIONES .....	72
VI. RECOMENDACIONES .....	73
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
VIII. ANEXOS .....	77

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Densidad básica de la madera según el grupo estructural. ....	14
Cuadro N° 2: Módulo de elasticidad de la madera según el grupo estructural. ....	14
Cuadro N° 3: Nombre de máquina según el ensayo. ....	23
Cuadro N° 4: Nombres y códigos de ensayos para agregados. ....	24
Cuadro N° 5: Cantidad de probetas, desperdicios y rendimiento por tipo de probeta. ..	30
Cuadro N° 6: Granulometría del agregado fino. ....	33
Cuadro N° 7: Módulo de finura y porcentaje de humedad del agregado fino. ....	34
Cuadro N° 8: Resumen de granulometría del agregado grueso. ....	35
Cuadro N° 9: Módulo de finura y porcentaje de humedad. ....	36
Cuadro N° 10: Peso de las virutas antes y después del tratamiento. ....	37
Cuadro N° 11: Resultados de caracterización de las virutas y porcentaje de humedad. 38	
Cuadro N° 12: Resumen de diseño de mezcla. ....	40
Cuadro N° 13: Cantidad de probetas para ensayo de peso específico. ....	41
Cuadro N° 14: Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la compresión. ....	41
Cuadro N° 15: Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la flexión. ....	41
Cuadro N° 16: Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral. ....	42
Cuadro N° 17: Resultados del ensayo de asentamiento y sus respectivas variaciones. .	43
Cuadro N° 18: Peso específico de las probetas tipo P1 a los 0, 14 y 28 días de curado. 44	
Cuadro N° 19: Peso específico de las probetas tipo P1+F1 a los 0, 7, 14 y 28 días de curado. ....	45
Cuadro N° 20: Peso específico de las probetas tipo P1+F2 a los 0, 7, 14 y 28 días. ....	47
Cuadro N° 21: Peso específico de las probetas tipo P1+F3 a los 0, 7, 14 y 28 días de curado. ....	48
Cuadro N° 22: Promedio y variación del peso específico a los 28 días. ....	50
Cuadro N° 23: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1 a los 7, 14 y 28 días. .....	51
Cuadro N° 24: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1 a los 7, 14 y 28 días. ....	52
Cuadro N° 25: Variación de la resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1.53	

Cuadro N° 26: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2 a los 7, 14 y 28 días de curado. ....	54
Cuadro N° 27: Variación de la resistencia a la compresión para el tipo de probetas P1+F2.....	55
Cuadro N° 28: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3 a los 7, 14 y 28 días de curado. ....	55
Cuadro N° 29: Variación de la resistencia a la compresión para el tipo P1+F3. ....	56
Cuadro N° 30: Promedio y variación de la resistencia a la compresión según el tipo de concreto.....	56
Cuadro N° 31: Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión. ....	57
Cuadro N° 32: Variación de la resistencia a la flexión de las probetas según el tipo de concreto.....	57
Cuadro N° 33: Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral según el tipo.....	58
Cuadro N° 34: Variación de la resistencia a la compresión diametral según el tipo de probetas.....	59
Cuadro N° 35: Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1.....	60
Cuadro N° 36: Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F1.....	60
Cuadro N° 37: Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F2.....	61
Cuadro N° 38: Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F3.....	61
Cuadro N° 39: Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1.....	62
Cuadro N° 40: Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1.....	62
Cuadro N° 41: Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2.....	62
Cuadro N° 42: Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3.....	63
Cuadro N° 43: Resultados de prueba de normalidad usando el software RStudio. ....	63
Cuadro N° 44: Resultados de la prueba para el intervalo de confianza. ....	64

Cuadro N° 45: Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.....	65
Cuadro N° 46: Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F1 ...	65
Cuadro N° 47: Resultados de prueba de normalidad en el software RStudio. ....	66
Cuadro N° 48: Resultados de la prueba t.test para el intervalo de confianza.....	67
Cuadro N° 49: Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.....	68
Cuadro N° 50: Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F2. ..	68
Cuadro N° 51: Resultados de prueba de normalidad con el uso del software RStudio..	69
Cuadro N° 52: Resultados de la prueba para determinar el intervalo de confianza. ....	70
Cuadro N° 53: Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.....	70
Cuadro N° 54: Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F3. ..	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resistencia a la compresión de probetas de concreto en función de la edad, para una variedad de condiciones de curado.....	4
Figura 2: Método de tracción por compresión diametral .....	16
Figura 3: Método de ensayo a la flexión en los puntos tercios. ....	17
Figura 4: Campana de Gauss según el tipo de prueba de hipótesis.....	21
Figura 5: Identificación de especie de madera. ....	24
Figura 6: Virutas de madera, aserrín de madera y malla N°4. ....	25
Figura 7: Elementos para probetas preliminares. ....	28
Figura 8: Granulometría del agregado fino. ....	34
Figura 9: Granulometría del agregado grueso. ....	36
Figura 10: Pesado de las fibras de madera antes de la mineralización.....	37
Figura 11: Pesado de las fibras de madera después de la mineralización. ....	37
Figura 12: Reporte de análisis termogravimétrico - TGA (proximal).....	44
Figura 13: Probetas tipo P1+F3 a las 72 horas de desmolde.....	49
Figura 14: Probeta tipo P1+F3 a las 96 hora de desmolde. ....	50
Figura 15: Diagrama de cajas e histograma de los datos de peso específico para las probetas tipo P1+F1. ....	65
Figura 16: Diagrama de cajas e Histograma de los datos de peso específico de las probetas P1+F2. ....	68
Figura 17: Diagrama de cajas e histograma de los datos de peso específico para probetas tipo P1+F3 .....	71

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 1: Granulometría del agregado fino. ....	34
Gráfica N° 2: Granulometría del agregado grueso. ....	35
Gráfica N° 3: Trabajabilidad de las probetas P1, P1+F1, P1+F2 y P1+F3. ....	43
Gráfica N° 4: Peso específico de las probetas tipo P1 según los días de curado. ....	45
Gráfica N° 5: Peso específico de las probetas tipo P1+F1 según el tiempo de curado. .	46
Gráfica N° 6: Peso específico de las probetas tipo P1+F2 según el tiempo de curado. .	47
Gráfica N° 7: Peso específico de las probetas tipo P1+F3 según el tiempo de curado. .	49
Gráfica N° 8: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1 según los días de curado.....	51
Gráfica N° 9: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1 según los días de curado.....	52
Gráfica N° 10: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2 según los días de curado.....	54
Gráfica N° 11: Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3 según el tiempo de curado.....	56

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1: Pesado de las fibras de madera antes y después de la mineralización. ....	77
Anexo N° 2: Catalizadores usadas en la mineralización. ....	78
Anexo N° 3: Mineralización en sus tres etapas. ....	79
Anexo N° 4: Secado de las fibras de madera dentro del LPYEM. ....	79
Anexo N° 5: Asentamientos recomendados según la construcción. ....	80
Anexo N° 6: Relación agua-cemento según la resistencia. ....	80
Anexo N° 7: Requerimientos de agua de mezclado según el asentamiento y tamaño máximo de agregados. ....	80
Anexo N° 8: Relación en peso agua-cemento según la incorporación de aire. ....	80
Anexo N° 9: Volumen de agregado grueso seco compacto por unidad de volumen de concreto. ....	81
Anexo N° 10: Estimación del peso del concreto en Kg/m <sup>3</sup> . ....	81
Anexo N° 11: Mezcla de áridos para el asentamiento. ....	81
Anexo N° 12: Procedimiento normados para la granulometría del agregado fino. ....	82
Anexo N° 13: Procedimientos normados para la granulometría del agregado grueso. ....	82
Anexo N° 14: Probeta P1+F1 en ensayo de compresión. ....	83
Anexo N° 15: Falla en la probeta tipo P1+F1. ....	83
Anexo N° 16: Falla en la probeta tipo P1+F2. ....	84
Anexo N° 17: Ensayo a la compresión de probeta tipo P1+F3. ....	84
Anexo N° 18: Probetas luego del ensayo a la resistencia a la compresión. ....	85
Anexo N° 19: Ensayo a la flexión del concreto tipo P1. ....	85
Anexo N° 20: Falla en la muestra tipo P1. ....	85
Anexo N° 21: Ensayo a la flexión del concreto tipo P1+F1. ....	86
Anexo N° 22: Falla de la muestra del concreto tipo P1+F1. ....	86
Anexo N° 23: Ensayo a la flexión del concreto tipo P1+F2. ....	87
Anexo N° 24: Falla de la muestra del concreto tipo P1+F2. ....	87
Anexo N° 25: Falla del concreto tipo P1+F3 a la flexión. ....	88
Anexo N° 26: Ensayo de tracción por compresión diametral en probetas tipo P1. ....	88
Anexo N° 27: Rotura de probeta tipo P1. ....	89

Anexo N° 28: Muestra ensayada a la tracción por compresión diametral. ....	89
Anexo N° 29: Ensayo de tracción por compresión diametral a probetas tipo P1+F1...	90
Anexo N° 30: Muestra P1+F1 ensayada a la tracción por compresión diametral.....	90
Anexo N° 31: Rotura de probeta tipo P1+F2 a la tracción por compresión diametral..	91
Anexo N° 32: Rotura de probeta tipo P1+F3 ensayada a la tracción por compresión diametral. ....	91
Anexo N° 33: Cambio de color de acuerdo a la adición de virutas de madera al concreto.....	92

## **I. INTRODUCCIÓN**

Desde el siglo pasado el concreto se ha convertido en un material ampliamente utilizado en el mundo, debido a su gran versatilidad en cuanto a forma, función y economía. Este material tiene como componentes principales al cemento, agua, agregados, eventualmente aditivos y algún tipo de refuerzo en los que se pueden incluir las fibras artificiales o naturales. La evolución que el sector construcción ha presentado en el Perú conlleva a la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materia prima y fabricar diferentes materiales para la construcción de edificaciones e infraestructura que permitan el crecimiento de ciudades a nivel global y que faciliten la integración social y la utilización eficiente de los recursos ambientales. Asimismo, existen muchos tipos de estructuras en los cuales no se requiere un concreto de resistencia tradicional y por lo tanto un concreto de baja densidad puede satisfacer la resistencia necesaria y proporcionar el aislamiento térmico con la ventaja de un menor peso estructural. Este tipo de concreto ligero se obtiene incorporando vacíos o espacios con aire de distintas maneras, una de las formas es usando un agregado con estructura celular ya que de esta manera se produce un concreto con células de aire dentro de las partículas.

En el Perú se considera que las virutas de madera son un subproducto de la industria forestal siendo eliminada por incineración o mediante disposición en el suelo. Sin embargo, estos destinos se han convertido en graves problemas ambientales con alto costo energético lo que ha llevado a la búsqueda y análisis de distintas alternativas para el aprovechamiento de este recurso.

La investigación de concreto ligero tiene como orientación mejorar la disposición de los residuos de las industrias madereras



## 1.1 JUSTIFICACIÓN

El uso del concreto ligero se usa especialmente en paneles pre fabricados ondulados o rectos, siendo este último uno de los usos más comunes, ya que estos permiten que la obra sea edificada hasta un 30 % más rápido, además presenta una serie de ventajas como su facilidad de transporte y carga, un mejor comportamiento térmico y un ahorro de hasta 32.2 % en costos de materiales y 45.7 % en costos de mano de obra con respecto a una construcción convencional<sup>1</sup>. En la presente investigación se propone un concreto ligero con adición de virutas de madera para uso no estructural, es decir, contrapisos, tabiquería y falso piso. El concreto ligero tiene como objetivo principal aligerar el peso propio de la estructura, disminuyendo el costo de la obra.

La producción de viruta en el Perú, según las estadísticas oficiales, ha ido de forma incremental en el transcurso de los años<sup>2</sup>. Además, la creciente concientización sobre la preservación del medio ambiente contribuye de manera clave a la búsqueda de información que pueda ser utilizada como posible solución que disminuya el impacto que los residuos tienen sobre el ambiente. Según el Decreto supremo 019-97-ITINCI: Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de actividades de la industria manufacturera, del Reglamento Ambiental del Sector Industrial, se tiene como una de las obligaciones ambientales específicas que el titular de cualquier actividad industrial manufacturera es responsable por la disposición de los desechos que se produzcan como resultado de sus actividades, además de poner y mantener en marcha programas a fin de eliminar o reducir la generación de elementos contaminantes. Frente a esto, esta investigación pretende dar una opción a las empresas forestales en la disposición de los residuos para el cumplimiento del reglamento.

Por lo mencionado, la búsqueda de alternativas para concreto ligero no estructural y el aprovechamiento de los residuos de industrias madereras justifican esta investigación.

---

<sup>1</sup> Tecnoblock, 2010.

<sup>2</sup> Insitituto Nacional de Estadística e Informática, 2015.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Principal**

Realizar un estudio de las propiedades mecánicas del concreto ligero con incorporación de virutas de madera.

### **1.2.2 Objetivo Específico**

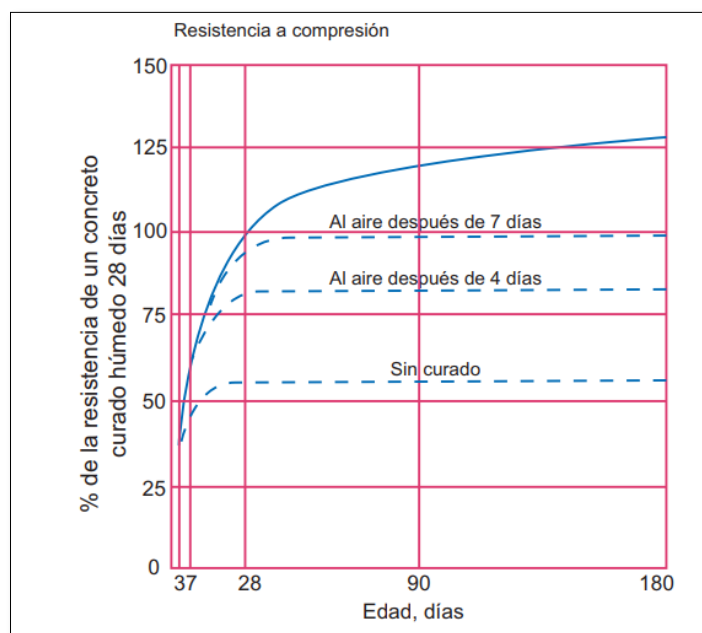
- Determinar las variaciones de peso específico y humedad de la viruta de madera antes y después de los tratamientos.
- Determinar el peso específico a diferentes dosificaciones de viruta incorporada.
- Determinar el esfuerzo por compresión a distintas dosificaciones viruta de madera incorporada al concreto.
- Determinar la resistencia a la flexión con distintas dosificaciones de viruta de madera.
- Determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral de concreto con distintas dosificaciones de viruta de madera.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Concreto

#### 2.1.1 Concreto común

Es la unión de cemento, agua, aditivos, grava y arena lo que nos da una mezcla llamada concreto. Según Sánchez de Guzmán (2001), el concreto puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland hidráulico), agregados, agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar esfuerzos.



**Figura 1:** Resistencia a la compresión de probetas de concreto en función de la edad, para una variedad de condiciones de curado.

**Fuente:** Kosmatka and Panarese, 1988.

En la Figura 1 se puede observar el incremento de la resistencia a la compresión según las condiciones de curado, la línea azul corrida representa el comportamiento a la compresión de las probetas curadas en agua.

### **2.1.2 Concreto ligero**

Según la National Ready Mixed Corporation (s.f), posee un peso unitario menor a 18000 N/m<sup>3</sup> en comparación con el concreto de peso normal que presenta un peso unitario de 22400 a 24000 N/m<sup>3</sup>. La mezcla de concreto se elabora con un agregado de peso liviano, en algunos casos una porción o la totalidad del agregado puede ser un producto de peso liviano.

Según Huerta (2004), como uso se tiene construcción de coberturas livianas, aislamientos, rellenos y elementos de amortiguación de impactos. Es ampliamente usado en la fabricación de paneles de concreto liviano de una sola capa, fábricas y para viviendas residenciales, entre otros.

Según Winter y Nilson (1986), pueden distinguirse tres clases de concretos ligeros: concreto ligero de baja densidad, que se utilizan principalmente para el aislamiento y cuyo peso específico raramente es superior a los 8000 N/m<sup>3</sup>; concreto ligero de resistencia moderada, cuyos pesos específicos oscilan entre 9500 y 13500 N/m<sup>3</sup> y con resistencias a compresión comprendidas entre 7 y 17.5 MPa y que se utilizan principalmente como material de relleno; y concretos ligeros estructurales cuyos pesos oscilan entre 14500 y 19500 N/m<sup>3</sup> y con resistencias a la compresión iguales a la concretos normales. Estos últimos se conocen como “concreto estructurales de áridos ligeros” y se definen como “hormigones que poseen una resistencia a la compresión a los 28 días superior a los 17.5 MPa y un peso específico colocados durante 28 días en aire seco no superior a 18500 N/m<sup>3</sup>”. La mayor parte de los concretos ligeros estructurales tiene un peso específico comprendido entre 16000 y 17500 N/m<sup>3</sup>, las resistencias a la compresión oscilan entre 20 y 28 MPa.

## **2.2 Componentes del concreto**

### **2.2.1 Cemento**

Es un conglomerado hidráulico, esto es, que con adición de agua endurece tanto al aire como bajo el agua. La clasificación de los cementos se puede llevar a cabo según criterios diferentes. Las principales características distintivas pueden ser:

- Las clases o categorías resistentes (resistencias mínimas o medias, usualmente las resistencias a la compresión a los 28 días).
- Los tipos de cemento (Portland, siderúrgicos, puzolánicos)

- Las propiedades características importantes: bajo calor hidráulico, resistencia frente a medios agresivos, etc. Dentro de este tipo de clasificación, la norma ASTM–C–150–99a indica lo siguiente:

- a. Tipo I, que es de uso general y sin propiedades especiales.
- b. Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de sulfatos.
- c. Tipo III, de resistencia temprana y elevado calor de hidratación.
- d. Tipo IV, de bajo calor de hidratación.
- e. Tipo V, de alta resistencia al ataque de sulfatos.

### **2.2.2 Agregados**

Es aquel material granular, el cual puede ser arena, piedra natural zarandeada o chancada, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero. Los agregados usados en el concreto ocupan aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto. Como son menos costosos que el cemento, es deseable usar la mayor cantidad de ellos como sea factible. Se emplean tantos agregados finos (usualmente arena) como gruesos (usualmente grava o piedra chancada) e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclados y endurecidos, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Se dividen según el tamaño medio de sus partículas en agregado fino y grueso. Cuando se usan materiales de peso ligero, tanto para los agregados finos como para los agregados gruesos, el concreto resultante se denomina de peso ligero o concreto ligero.

#### **a. Agregado fino**

Según Ortiz (s.f), es el producto de la desintegración química y mecánica de las rocas bajo meteorización y abrasión. Los agregados finos o arenas consisten en arena natural extraída de los ríos, lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales, esto es, que han sido triturados.

Se define al agregado fino como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, se emplea en el concreto para facilitar el acabado, impedir la segregación entre otros. Estas mejoras se logran, en parte, por la composición granulométrica, el tamaño, la forma y la textura de las superficies de las partículas.

## b. Agregado grueso

Son materiales extraídos de rocas de cantera, triturados o procesados, piedra bola o canto rodado, cuyas partículas comprenden tamaños desde unos 5 milímetros hasta 482.6 milímetros para los fragmentos más grandes. Por sus propiedades, es necesario que las gravas provengan de materiales duraderos, resistentes y sólidos mecánicamente, sin contaminantes o partículas dañinas que afecten el fraguado del concreto.

Se define al agregado grueso como aquel que queda retenido en la Malla N° 4. Puede usarse piedra partida en chancadora o grava zarandeada de los lechos de los ríos o vaciamientos naturales.

### **2.2.3 Agua**

Es aquel componente del concreto, en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer, para formar un sólido único con los agregados. Se clasifica en agua de mezclado y agua de curado.

- Agua de mezclado: El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento para producir una pasta suficientemente hidratada, tal que permita una incorporación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en su estado plástico.

- Agua de curado: Se define al curado del cemento como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento (Sánchez de Guzmán, 2001).

### **2.2 Fibras en el concreto**

Es aquel concreto que contiene fibras cortas uniformemente distribuidas y orientadas al azar. Las fibras están disponibles en variedad de formas, tamaños y espesores, pudiendo ser redondas, planas, onduladas. Estos elementos se añaden al concreto durante la mezcla.

## **2.3 Fibras**

Conjunto de filamentos que son la estructura básica de los materiales textiles. Se considera fibra textil cualquier material cuya longitud sea muy superior a su diámetro y que pueda ser hilado. Las fibras se clasifican en: artificiales, sintéticas y naturales.

### **2.3.1 Fibras artificiales**

Las fibras artificiales se fabrican a partir de la transformación química de productos naturales; las fibras sintéticas se elaboran mediante síntesis químicas, a través de un proceso denominado polimerización. Son manufacturada por el hombre a partir de materia prima natural, este tipo de fibras surgen como respuesta a la necesidad de obtener filamentos largos y resistentes para tejer materiales textiles de calidad.

### **2.3.2 Fibras sintéticas**

Se obtienen por síntesis de diversos productos derivados del petróleo como el poliéster o nylon, es decir, esta fibra es enteramente química, y tanto la elaboración de la materia prima como la fabricación de la hebra o filamento, son producto del hombre. Son económicos, versátiles, durables, resistentes y de fácil cuidado, lo cual brinda una mayor libertad a la hora de confeccionar.

### **2.3.3 Fibras naturales**

Provenientes de vegetales o animales que son hilables, tales como el algodón, lino, yute, seda, lana, etc. A diferencia de las otras fibras, éstas al estar en estado natural exigen una ligera adecuación (purificación o limpieza de la fibra).

#### **2.3.3.1 Aserrín de madera**

Partícula fina que se derivan del aserrado de la madera, está compuesto esencialmente por celulosa. De acuerdo a las normas para la clasificación de los agregados, ASTM Standard (American Society for Testing and Materials), el aserrín está contemplado dentro de los agregados ligeros: pasa en una malla de 9.5mm (tamiz 3/8”), queda retenido en una malla de 0.075 mm (malla N° 200).

#### **2.3.3.2 Viruta de madera**

Es aquel fragmento de material residual con forma de lámina curvada o espiral que se extrae mediante un cepillo u otras herramientas, tales como brocas, al realizar trabajos

de cepillado, desbastado o perforación, sobre madera o metales. Para los alcances de la presente investigación de tesis, se usará virutas de madera.

## **2.4 Producción de la viruta de madera**

No se ha encontrado información estadística relacionada a la producción de viruta de madera en Perú, sin embargo con los datos estadísticos del aumento de producción de madera aserrada se puede deducir el aumento o disminución de estos residuos madereros.

En el año 2014 se produjo un total de 667 mil 153 metros cúbicos de madera aserrada siendo las principales especies forestales utilizadas: el tornillo con 94 mil 142 metros cúbicos, cantidad menor en 16.6 % respecto a 2013 (112 mil 936 metros cúbicos); cumala con 83 mil 639 metros cúbicos, cantidad superior en 8 % respecto al año anterior (77 mil 428 metros cúbicos); y el eucalipto, con 46 mil 294 metros cúbicos, cantidad menor en 1.6 %, respecto al año 2013 (47 mil 60 metros cúbicos)<sup>3</sup>.

## **2.5 Propiedades físicas de la madera**

Influyen determinantemente en la aptitud tecnológica de uso y en procesos clave como son la transformación mecánica primaria y secundaria y el secado. Entre las principales propiedades físicas cabe mencionar las siguientes:

### **2.5.1 Contenido de humedad**

Es la cantidad de agua presente en la madera, este valor incrementa con la humedad relativa de una determinada zona y decrece con la temperatura.

### **2.5.2 Densidad básica**

Es la relación entre la masa de la madera seca al horno y su volumen en estado saturado, se expresa en N/m<sup>3</sup> para el Sistema Internacional. La densidad básica es utilizada para la clasificación de las maderas según su peso.

Existe una relación directa de la densidad con las propiedades mecánicas, a mayor densidad mayor resistencia. Por lo general las maderas de mayor densidad son más durables que las maderas livianas. Las maderas densas son más difíciles para ser trabajadas, secadas e inmunizadas.

---

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015.



### **2.5.3 Contracción y expansión de la madera**

Son los cambios dimensionales ya sea en sentido radial, tangencial y longitudinal, como consecuencia del cambio de su contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras.

## **2.6 Propiedades mecánicas de la madera**

Se refieren a la resistencia que ofrece la madera a los diferentes esfuerzos a que es sometida cuando está en uso. Se usan para calcular los valores de diseño estructural de elementos sometidos a carga.

### **2.6.1 Resistencia a la flexión**

Capacidad de la madera para resistir cargas de flexión o doblado, cuando se aplican en dirección perpendicular a las fibras (vigas, entrepaños, pasos de escalera, etc). Esto sucede cuando se utiliza la madera como vigas, viguetas, entablado, etc.

### **2.6.2 Resistencia a la compresión**

Capacidad de la madera para resistir fuerzas externas que tienden a acortar o disminuir la longitud de la madera, por ello se dice que la madera está comprimida o en compresión. Esta resistencia se puede dar en dos direcciones: En forma paralela o perpendicular a las fibras.

### **2.6.3 Dureza**

Es la resistencia que presenta una madera a la penetración, así como a las abolladuras y al desgaste. Depende de su densidad, edad, estructura y si se trabaja en sentido de sus fibras o en el perpendicular.

### **2.6.4 Durabilidad natural de la madera**

Es propiedad de la madera resistir, en mayor y menor grado, el ataque de diversos agentes destructores, ya sean biológicos (hongos, insectos), desgaste mecánico e intemperismo que causan alteración en su aspecto y comportamiento normal, ya que afecta a sus propiedades físicas y mecánicas. El grado de durabilidad de una pieza de madera varía en función de la especie. La durabilidad natural, depende de la composición química de la madera, la edad, las condiciones de crecimiento y la ubicación dentro del árbol.

#### a. Ataque de hongos

Son formas inferiores de plantas que invaden la madera para vivir o alimentarse de ella. Dependiendo del momento en que tiene lugar el ataque por estos organismos, se denomina podredumbre cuando se realiza sobre árbol vivo, y pudrición o degradación, cuando se trata de árboles ya muertos o de madera cortada.

#### b. Ataque de insectos

Daño que causan los insectos al alimentarse de la madera ya sea de árboles en pie, recién talados, a punto de secarse o en madera seca.

### **2.7 Mineralización de la madera**

Según Ludovico y Ballerini (2007), la mineralización de la madera es aquel proceso que ocurre mediante la conversión de la materia orgánica a un estado inorgánico, a través de la acción de microorganismos o catalizadores. Desde el inicio de la investigación en fibras naturales alternativas al asbesto en el concreto, entre los años 1960 y 1970<sup>4</sup>, los resultados han demostrado un incremento significativo de la resistencia en compresión en los casos donde se efectuó la mineralización de las partículas vegetales. Sin embargo, el efecto del lavado preliminar de las partículas vegetales no se mostró efectivo para algunas especies de madera. La mineralización evita que la madera se expanda en la mezcla, a causa del agua añadida, y se contraiga en el fraguado dejando espacios vacíos.

La interacción entre la biomasa vegetal y el cemento puede ser traducida de una manera simple por una especie de competencia. Mientras las sustancias solubles se desplazan hacia la superficie de las partículas vegetales, empieza la formación de los productos hidratados del cemento. Si el primer acontecimiento ha sido más efectivo se formará una capa impermeable altamente inhibidora al fraguado del cemento y entonces no se obtiene un concreto de propiedades adecuadas. No obstante si en el segundo acontecimiento ha sido predominante las sustancias inhibidoras no ejercerán los mismos efectos negativos como en el caso precedente. La acción de los aceleradores de fraguado consiste entonces en propiciar la formación de un ambiente más favorable al fraguado del cemento.

El uso de catalizadores se realizó tomando como referencia investigaciones internacionales, una investigación muy amplia fue desarrollada por Zhengtian &

---

<sup>4</sup> ACI544.1R. (1996). Report on Fiber Reinforced Concrete. Reported by ACI Committee 544.

Moslemi en 1985, evaluando el desempeño de 30 catalizadores, en donde los resultados más satisfactorios fueron obtenidos con los cloruros ( $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{AlCl}_3$  y  $\text{CaCl}_2$ ) utilizados en dosis de 5% al 6.5% con relación a la masa del cemento, para el concreto de bajo cemento se tuvo éxito con el empleo de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) y de  $\text{NaOH}$  al 5% en su fabricación.

Furuno en 1991 propuso la asociación del silicato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) o con sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) para proteger la madera contra el fuego y contra el ataque de los hongos. En esta investigación se propuso utilizar los tres catalizadores: sulfato de aluminio, silicato de sodio y cloruro de calcio.

### **2.7.1 Catalizadores**

#### **2.7.2 Sulfato de aluminio**

Según López y Alarcón (2011), es un mineral compuesto de sulfato de calcio dihidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  la materia prima se obtiene a través de diversos tipos de operaciones mineras, es un fertilizante natural de uso agrícola.

#### **2.7.3 Silicato de sodio**

Nombre común que se utiliza para compuestos de fórmula  $\text{Na}_2(\text{SiO}_2)_n$ . Producto químico tiene múltiples usos, es fácil de manejar, no tóxico y no inflamable. Cuando este compuesto es combinado con ingredientes de cemento, reaccionan químicamente para formar masas con fuertes propiedades ligantes. Una gran variedad de cementos se hacen con silicatos, tanto en polvo como en solución. Los silicatos son ingredientes importantes en las especialidades refractarias autofraguantes y morteros químicamente resistentes.

Las ventajas de los silicatos solubles como ligantes son: resistencia a la temperatura, resistencia a los ácidos, resistencia a disolventes después de su uso, facilidad de manejo, seguridad y bajo costo.

Además, las películas secas de silicatos no se afectan por aceites, sebo y grasas minerales, o de otras clases. Cuando se aplican en producto de papel o madera son resistentes al fuego y plagas y a prueba de grasas. El silicato de sodio ofrece dos aplicaciones diferentes para aumentar la durabilidad del concreto. Se puede aplicar una solución de silicato de sodio como agente curante a la superficie de la capa fresca de concreto después de que el área ha sido cubierta y mantenida húmeda durante 24 horas.

La aplicación de silicato cierra los poros de la superficie sellándolos mientras están húmedos.

#### **2.7.4 Cloruro de calcio**

Compuesto químico, inorgánico, mineral, una fuente de iones de calcio en una disolución, se utiliza como coagulante en algunos tipos de tratamientos de aguas residuales, tiene como fórmula molecular:  $CaCl_2$ . Se usa también, en mezclas de hormigón para acelerar su tiempo de fraguado, pero los iones de cloro son corrosivos para el hierro por lo que no debe usarse en el hormigón armado, puede servir para determinar la cantidad de humedad en el hormigón. También se usa en el agua de las piscinas como tampón del pH y para ajustar la dureza del agua y como aditivo en plásticos y en extintores, y en depuración de aguas.

#### **2.8 Agrupamiento estructural de la madera**

La Norma Técnica Peruana, Estructuras Norma E.010 Madera (2014), indica que mediante este agrupamiento se trata de establecer normalización que permita la incorporación de las especies maderables de los bosques peruanos al mercado de madera aserrada para uso estructural, ofreciendo al usuario un mayor número de especies utilizables. Los bosques del país son en su mayoría bosques tropicales con un gran número de especies, siendo el volumen de madera por especie no tan abundante, de manera que una utilización racional se logra al agrupar las especies en función de sus características. Se espera así, promocionar nuevas especies con características similares o mejores a las actualmente comercializadas, lo que evitaría la extracción selectiva y la posible extinción de las más conocidas. El agrupamiento obedece solamente a un ordenamiento a base de la resistencia y no implica ventaja relativa de un grupo con respecto al otro, un grupo no es superior o inferior a otro sino de características deferentes. El agrupamiento está basado en los valores de la densidad básica y de la resistencia mecánica según el Cuadro N° 1 y N° 2, se clasificará en tres clases: A, B y C.

**Cuadro N° 1:** Densidad básica de la madera según el grupo estructural.

<b>Grupo</b>	<b>Densidad Básica gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>A</b>	≥ 0.71
<b>B</b>	0.56 a 0.70
<b>C</b>	0.40 a 0.55

Fuente: Norma Técnica Peruana

**Cuadro N° 2:** Módulo de elasticidad de la madera según el grupo estructural.

<b>Grupo</b>	<b>Módulo de Elasticidad (E) MPa (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	
	E mínimo	E máximo
<b>A</b>	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
<b>B</b>	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
<b>C</b>	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Nota: el módulo de elasticidad ( E ) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras. Estos valores son para madera húmeda pero también pueden ser usados en madera seca.

Fuente: Norma Técnica Peruana

### **2.8.1 Procedimiento:**

- Se identifican las especies en forma botánica y se efectúa la descripción anatómica de las muestras de madera.
- Se determina la densidad básica promedio de las especie y se la compara en el cuadro de clasificación según la densidad básica, obteniéndose así un agrupamiento provisional.
- Se determinan los valores de la rigidez (Módulo de Elasticidad) y de la resistencia (Esfuerzo Admisible por flexión). Se comparan los módulos de elasticidad y los esfuerzos admisibles en flexión obtenidos. Si los valores obtenidos son superiores a los valores del grupo provisional obtenido por la densidad, se clasifica a la especie en dicho grupo, si los valores alcanzan los de un grupo más resistente se la clasifica en el grupo superior. En caso contrario, si los valores no alcanzan a los del grupo provisional se la clasifica en el grupo inferior.

- Si es necesario hallar los esfuerzos admisibles, se usará dependiendo de los grupos clasificados.

Para el presente trabajo de investigación, la agrupación de la especie usada en mayor proporción (tornillo) con una densidad básica entre 0.45 gr/cm<sup>3</sup> hasta 0.7 gr/cm<sup>3</sup>, lo que indica que pertenece al grupo B y su módulo de elasticidad entre los valores 108 000 MPa y 125 000 MPa lo que indica que pertenece al grupo A.

## **2.9 Propiedades mecánicas del concreto**

Las propiedades del concreto son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del concreto son: trabajabilidad, cohesividad, resistencia y durabilidad.

### **2.9.1 Trabajabilidad**

Según el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (2000), es la principal propiedad del concreto en estado fresco y que de acuerdo con el Comité ACI 116, es “aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado”. La trabajabilidad es un concepto muy amplio e involucra aspectos del concreto fresco relacionado con todas las operaciones que se realizan con este, no se ha llegado a establecer un procedimiento único y confiable para medir la trabajabilidad de las mezclas de concreto. Por ello ha sido necesario acudir a otras propiedades del concreto fresco como el revenimiento, que es una característica propia de cada mezcla de concreto, que se evalúa directamente, con relativa facilidad y exactitud, y que permite juzgar su habilidad para comenzar a fluir exclusivamente por fuerzas de gravedad.

### **2.9.2 Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión es la medida más común de desempeño del concreto. Se mide con una máquina en donde se somete a ensayos a probetas cilíndricas de concreto, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (MPa) en unidades SI.

Para la evaluación de la resistencia a compresión se utilizan en general probetas de forma cilíndrica sobre las que se aplica una carga uniformemente distribuida (P). Para

calcular la resistencia a la compresión del espécimen por dividir la carga máxima alcanzada por el espécimen alcanzado en el ensayo entre el área promedio de la sección recta determinada y expresar el resultado con aproximación a 0.1 MPa.

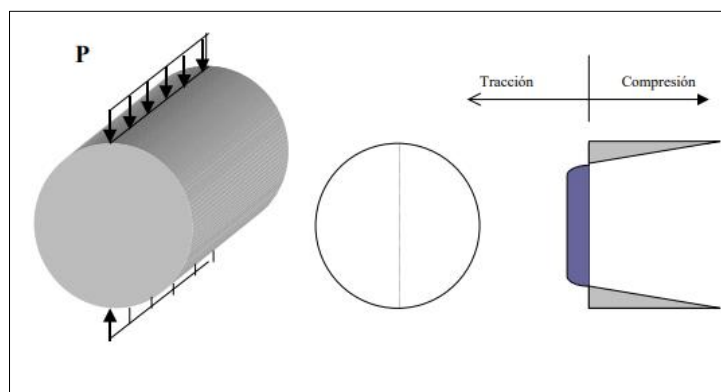
Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros moldeados se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en estructuras, para programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura.

### 2.9.3 Resistencia a la tracción por compresión diametral

Según Zebiano (s.f), El método de tracción indirecta o también denominado tracción por compresión diametral (splitting tensile test) se representa esquemáticamente en la Figura 1 y consiste en aplicar una carga linealmente distribuida a lo largo de dos generatrices opuestas de un cilindro del material. Esta carga lineal provoca la aparición de esfuerzos de tracción de un valor constante a lo largo de prácticamente todo el plano vertical coincidente con las generatrices con un valor igual a

$$F_t = 2.P / \pi . d . L$$

Donde P es la carga máxima, d el diámetro del cilindro inscripto y L la longitud a lo largo de la cual se aplica la carga. El método de cálculo posee validez en régimen elástico por lo que es estrictamente válido para evaluar la carga de fisuración.

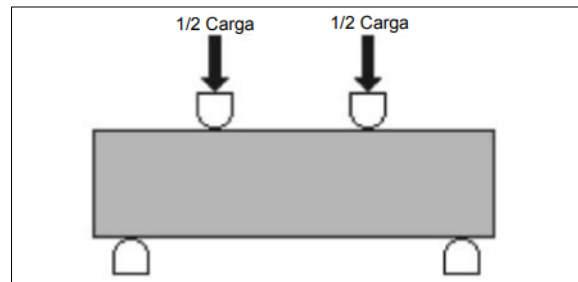


**Figura 2: Método de tracción por compresión diametral**

*Fuente: Zebiano, s.f.*

### 2.9.4 Resistencia a la flexión en los puntos tercios

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga a los tercios de la luz en una probeta de ensayo en la forma que se muestra en la Figura 2, hasta que ocurra la falla. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. A tensión máxima en el tercio medio de la viga.



**Figura 3: Método de ensayo a la flexión en los puntos tercios.**

*Fuente: ASTM C78, 2002.*

### 2.9.5 Peso unitario

Es el peso de cemento por unidad de volumen de los sólidos o partículas, excluyéndose el aire entre las partículas. También se le llama densidad, peso volumétrico o masa unitaria.

El concreto convencional normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico que varía desde 22000 N/m<sup>3</sup> hasta 24000 N/m<sup>3</sup> esta varía según la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido, las cantidades de agua y cemento, el tamaño máximo de los agregados, las cantidades de agua y cemento, etc. En el caso concreto ligero presenta un peso unitario menor a 18000 N/m<sup>3</sup>.

### 2.10 Análisis estadístico

Es aquel proceso de inspección, limpieza y transformación de datos para resaltar información útil, lo que sugiere conclusiones, y apoyo a la toma de decisiones. En este análisis tiene por objetivo determinar qué porcentaje de adición es el óptimo. La cantidad de muestras por cada variación fue decidido tomando de la ecuación:



$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 * p * (1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 * p * (1 - p)}{e^2 * N}};$$

En donde:

- N = tamaño de la población
- e = margen de error (porcentaje expresado con decimales)
- z = puntuación z (para un intervalo de confianza del 95 % es 1.96)

Para esta investigación se tomó el intervalo de confianza de 95 %, por lo tanto la puntuación z sería 1.96. Esto es un mínimo de 26 muestras, sin embargo se decidió extenderlo hasta 30 muestras por cada tipo de concreto, estas muestras fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días de curado, por lo tanto en cada prueba de compresión se ensayaron 10 probetas. Al ser un experimento con muestra menor a 30 se decidió usar la distribución t de student.

El software estadístico “R” será el programa con el que se realizará las pruebas de hipótesis, ajustes de modelos y análisis de diseños experimentales complejos. Se aplicará el diseño completamente al azar con distribución t de student.

### **2.10.1 Variabilidad de datos:**

Las medidas de variabilidad expresan cuantitativamente el grado de dispersión o agrupamiento de los datos. Conocer la variabilidad de un set de datos es esencial para describirlo, compararlo, realizar pruebas estadísticas y determinar tamaños de muestra.

- Rango: El rango es igual a la diferencia entre el valor máximo y mínimo de la serie estadística y al igual que las otras medidas de variabilidad, caracteriza a la distribución en términos de distancia. Al rango también se conoce como recorrido o ámbito.
- Desviación absoluta de la media: La desviación absoluta de la media indica la distancia absoluta de una observación dada con respecto a la media aritmética simple. Simbólicamente se expresa así:

$$D_i = |x - \bar{x}|;$$

- Desviación estándar: Es la sumatoria de las desviaciones de la media al cuadrado entre el número de observaciones. La desventaja de la varianza como indicador de

variabilidad es que su valor se expresa en unidades cuadradas. Por esta razón la varianza es poco utilizada para describir la variabilidad en series estadísticas.

- Desviación estándar o típica: Es la raíz cuadrada de la varianza y es la medida de variabilidad de uso más frecuente en trabajos estadísticos. Su fórmula es:

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

La varianza y la desviación estándar reflejan el grado de agrupamiento o dispersión de los datos alrededor de la media. Cuando los valores tienden a agruparse alrededor de la media, las desviaciones son pequeñas y por ende también lo es la media de las desviaciones cuadráticas. Por otro lado, cuando las observaciones se alejan de la media, la desviación estándar aumenta. En resumen, la desviación estándar es una función de la distancia con que las observaciones se alejan de la media. La desviación estándar es también útil para determinar si las diferencias entre dos medias son grandes o pequeñas.

- Error estándar: Es directamente proporcional a la desviación estándar e inversamente proporcional a la raíz cuadrada del número de observaciones en la muestra, también se puede expresar en porcentaje. Su expresión matemática es:

$$\text{Error estándar} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

El error estándar se utiliza con frecuencia como un índice de la precisión con que se estima la media aritmética simple. Además, es útil para determinar el tamaño de muestra requerido para obtener una precisión dada.

### **2.10.2 Prueba de Hipótesis**

Según Alvarado y Obagi (2008), una hipótesis estadística es una afirmación por verificar acerca de las características de una o más poblaciones.

Aquí se abordarán dos tipos de afirmaciones: aquellas que conciernen a los parámetros, y las que se relacionan con la distribución (función de probabilidad) de una variable aleatoria. A toda hipótesis que se establezca siempre se puede contraponer una segunda hipótesis que la niega. A esa pareja de hipótesis se le dará el nombre de hipótesis nula e hipótesis alternativa, ya que ambas no pueden ser simultáneamente verdaderas.

- Hipótesis Nula: La hipótesis nula es la conjetura inicial. La suposición que se hace sobre la base de la experiencia del pasado, el conocimiento a priori y las

necesidades; es, en un comienzo, la respuesta más lógica al problema que se ha planteado; es el valor que se asumiría como cierto de no poderse realizar la investigación. La hipótesis nula se denotará como  $H_0$ .

- Hipótesis Alternativa: La hipótesis alternativa es la posibilidad novedosa, aquella afirmación no tan elemental de suponer, la cual debe ser probada, de aquí en adelante se le denotará como  $H_1$ .

Toda prueba de hipótesis es susceptible de error intrínseco, por el hecho de basarse en datos muestrales (parciales) para inferir datos poblacionales (globales); en particular, hay dos tipos de error intrínsecos en toda prueba de hipótesis: error tipo I y error tipo II.

- Error tipo I: Es aquel error en que se incurre cuando se rechaza la  $H_0$ , dado que  $H_0$  es verdadera. La probabilidad de cometer este error se denota con la letra  $\alpha$  (alpha)
- Error tipo II: Es aquel error en que se incurre cuando no se rechaza la  $H_0$ , dado que  $H_0$  es falsa. La probabilidad de cometer este error se denota con la letra  $\beta$  (beta).

Así como hay dos tipos de errores, hay dos tipos de posibles aciertos, los cuales definen la fortaleza de la prueba: confianza de hipótesis y potencia.

- Confianza de hipótesis ( $1-\alpha$ ): Es la probabilidad de no rechazar  $H_0$ , dado que  $H_0$  es verdadera. En otras palabras, es la capacidad o sensibilidad de la prueba para detectar que  $H_0$  es verdadera, cuando en realidad lo sea. Es, por supuesto, el complemento de la probabilidad de incurrir en el error tipo I.
- Potencia ( $1-\beta$ ): Es la probabilidad de rechazar  $H_0$ , dado que  $H_0$  es falsa.

Tipos de pruebas de hipótesis estadísticas:

- Prueba de hipótesis bilateral: Esta hipótesis tiene la forma:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta \neq \theta_0$$

$\theta_0$  es un valor fijo para el parámetro. En este caso no es de interés saber si el valor del parámetro es menor o mayor al establecido, sino simplemente si es diferente.

- Prueba de hipótesis unilateral a la derecha: Esta hipótesis tiene la forma:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta > \theta_0$$

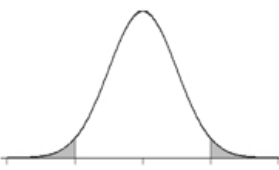

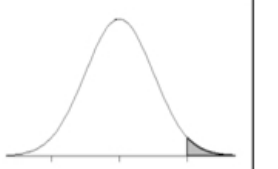
Se utiliza cuando es de interés conocer si el parámetro está por encima de lo establecido en la hipótesis nula.

- Prueba de hipótesis unilateral a la izquierda: Esta hipótesis tiene la forma:

$$H_0: \theta = \theta_0$$

$$H_1: \theta < \theta_0$$

Se utiliza cuando es de interés conocer si el parámetro está por debajo de lo establecido en la hipótesis nula. Las campanas según el tipo de prueba de hipótesis se observan en la Figura 3.

Hipotesis Nula	$H_0: \mu = \mu_0$	$H_0: \mu \geq \mu_0$	$H_0: \mu \leq \mu_0$
Hipotesis Alternativa	$H_1: \mu \neq \mu_0$	$H_1: \mu < \mu_0$	$H_1: \mu > \mu_0$
Representación grafica			

**Figura 4: Campana de Gauss según el tipo de prueba de hipótesis.**

*Fuente: Ramírez, 2015.*

En el caso de esta investigación se usará la prueba unilateral a la izquierda, ya que se busca que el peso específico sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>.

### **III. MATERIALES Y METODOLOGÍA**

En la presente investigación se evaluó las propiedades mecánicas del concreto ligero con incorporación de virutas de madera mediante el ensayo de testigos y viguetas, para la preparación de estas se realizaron los ensayos de caracterización de agregados fino y grueso. Una vez realizada estos ensayos se revisó en las bases estadísticas del INEI una recopilación de los distritos en Lima con mayor producción de madera aserrada, eligiéndose el distrito de San Luis, en el cual se consideró a la empresa Consorcio Wood & Service como proveedora de las fibras de madera. En el laboratorio de Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales se corroboró que el tipo de madera predominante es tornillo, un tipo de madera adicional, sin embargo la cantidad de este no es significativa en relación de la madera tornillo. Luego, se realizó la caracterización de los agregados y se realizaron la tratamientos de mineralización. Una vez realizada la mineralización de virutas de madera, se elaboró el diseño de mezclas por el método ACI, haciendo un adición de madera, en relación al cemento por las virutas de madera. El concreto fue preparado para una resistencia de 17.5 MPa, se preparó los siguientes tipos de concreto: concreto patrón (sin fibra), concreto con fibra al 30 %, 60 % y 90 % de viruta. Con estos tipos concretos se prepararon probetas de 4” de diámetro y 8” de alto para ensayarlas a la compresión, muestras primáticas de 10x10x40 cm para ensayarlas a la flexión y probetas de 15x30 cm para ensayarlas a la tracción por compresión diametral. Se tuvo un total 128 probetas y 8 viguetas, siendo 120 probetas para la resistencia la compresión y 8 probetas para resistencia a la tracción por compresión diametral, y 8 viguetas para resistencia a la flexión. Finalmente, se realizó un análisis estadístico para determinar la influencia de la viruta el concreto establecido.

#### **3.1 Materiales y Equipos**

Materiales:

- Cemento Portland Tipo I
- Piedra chancada de 3/4”

- Arena gruesa
- Agua potable
- Fibras de madera
- Cloruro de calcio
- Silicato de sodio
- Sulfato de aluminio
- Herramientas manuales
- Balanza de precisión.

Equipos:

**Cuadro N° 3:** Nombre de máquina según el ensayo.

NOMBRE DE LA MÁQUINA	FIGURA	ENSAYO
ADR Touch 1550 Compression - Ele International		Resistencia a la compresión
Ele International 37-6130 Prensa Flexión.		Resistencia a la flexión
LCD Compression Testing Machine CTM-2000 L.		Resistencia a la tracción por compresión diametral

Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Caracterización de los agregados

Se cumplió con las normas técnicas establecidas para la caracterización, estas fueron descritas en el Cuadro N° 4.

**Cuadro N° 4: Nombres y códigos de ensayos para agregados.**

NOMBRE DEL ENSAYO	CÓDIGO
Análisis granulométrico de los agregados fino y grueso.	NTP 400.012.2001
Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso	NTP 400.021.2002
Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.	NTP 400.022.2002
Contenido de humedad	NTP 339.185.2002

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Caracterización de las virutas de madera

Luego de la caracterización de los agregados se realizó el ensayo de Identificación de Especies de Madera, en el laboratorio Anatomía de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales, corroborando que la madera utilizada en la investigación es predominantemente tornilo, como se muestra en la Figura 5. Posteriormente, se realizó el análisis de contenido de humedad.



**Figura 5:** Identificación de especie de madera.

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.3 Mineralización de las fibras de madera

Se realizó el pesado de la fibras de madera antes de iniciar la mineralización (Ver Anexo N° 1). Se preparó los tres catalizadores pesándolos antes según el volumen de agua que se utilizó.

En el primer tratamiento se se añadió 3 % del volumen de cloruro de calcio al agua hirviendo, para luego realizar una inmersión de las fibras de madera en esta solución, posteriormente se realizó un prensado manual y se procedió con el segundo tratamiento. En el segundo tratamiento se dió inicio con la inmersión de las fibras en una solución de agua a temperatura ambiente y 10 % de silicato de sodio y se prensó manualmente. (Ver Anexo N°2). En el tercer tratamiento en 20 % sulfato de aluminio y se dejó secar al aire. (Ver Anexo N°3)

Al finalizar los tres tratamientos de mineralización se dejó ser las fibras de madera durante 72 horas y se realizó el pesado de estas. (Ver Anexo N°4)

### 3.2.4 Caracterización de las virutas de madera

Ya que las fibras de madera serán separadas en aserrín y viruta, se realizó un tamizado sometido a una vibración mecánica durante un tiempo, como se observa en la Figura 6, obteniéndose diferentes fracciones en peso de las fibras. Para esta investigación se usó en el concreto las virutas que queden retenidas en la malla N° 4.



**Figura 6:** Virutas de madera, aserrín de madera y malla N°4.

*Fuente:* Elaboración propia.

### 3.2.5 Diseño de mezcla

Se siguió el método ACI 211.1 por lo que era necesario tenerlos datos de la caracterización de los agregados.



- Elección del asentamiento: Ya que el concreto ligero es utilizado mayormente en losas y recubrimientos, se eligió el tipo de construcción como losas y pavimentos. (Ver Anexo N° 5).

- Elección del tamaño máximo del agregado: Por regla general, el tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En este caso, utilizamos un tamaño máximo nominal de ½ pulgada.

- Cálculo del agua de mezclado y del contenido del aire: En el Anexo N°6 proporciona la cantidad de agua y el porcentaje de aire atrapado en función de las siguientes variables:

a) Tipo de concreto: puede ser sin aire incluido o con aire incluido (dependiendo si el nivel de exposición es bajo, medio o extremo).

b) Revenimiento: de 1 a 2", de 3 a 4" o de 6 a 7".

c) Tamaño máximo nominal del agregado: Para 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 ½", 2", 3" y 6") (Ver Anexo N° 7).

Exposición moderada: Implica servicio en climas donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la humedad o a agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni a agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos. Como ejemplos pueden señalarse: vigas exteriores, columnas, muros, travesaños o losas que no estén en contacto con el terreno húmedo y que estén ubicadas de manera que no reciban aplicaciones directas de sales descongelantes.

Exposición severa: Cuando el concreto estará expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de lo anterior son: pavimentos, pisos de puentes, cunetas, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros.

- Selección de la relación agua – cemento: Se conoce como relación agua/cemento (A/C) a la razón existente entre el peso del agua con respecto al peso de cemento, es decir:

$$A/C = \text{Peso de agua} / \text{Peso de cemento}$$

Si se mantienen constantes las cantidades de agregado seco en una determinada proporción de concreto, se observa que a medida que la relación agua/cemento (A/C) se incrementa, esto conlleva una disminución en la resistencia del concreto. Por eso es importante tener un adecuado balance de dicha relación, de forma que permita que, para una determinada cantidad de cemento fija en la mezcla, se disponga de la suficiente cantidad de agua que permita una adecuada colocación del concreto y lograr la resistencia especificada (f'c). (Ver Anexo N° 8).

- Cálculo del contenido cemento: El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado dividido entre la relación A/C Si no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimiento de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

$$C=A/(A/C)$$

Donde:

C = Cantidad de cemento por m<sup>3</sup> de concreto

A = Cantidad de agua por m<sup>3</sup> de concreto

A/C = Relación agua-cemento

- Estimación del contenido de agregado grueso: En el Anexo N°9 se muestra el volumen de agregado, en m<sup>3</sup>, con base al volumen de agregado grueso seco compacto para un m<sup>3</sup> de concreto. Este volumen se convierte a peso seco del agregado grueso requerido en un m<sup>3</sup> de concreto, multiplicándolo por el peso unitario seco y compacto en seco por m<sup>3</sup> de agregado grueso.

- Estimación del contenido del agregado fino: La estimación del contenido de agregado fino se hizo restando al peso del concreto fresco con la suma de las cantidades de agua, cemento y agregado grueso que se han determinado previamente usando en Anexo N° 10.

Agregado fino = Peso del concreto-(peso del agua + peso del cemento + peso agregado grueso)

- Ajuste por humedad del agregado:

Agua a añadir = Agua neta de mezclado+ Agua en el agregado fino+ Agua en el agregado grueso

Agua en el agregado fino =  $W_{\text{arena seca}} (\omega_{\text{arena}} - \text{abs}_{\text{arena}}) / 100$

Agua en el agregado grueso =  $W_{\text{grava seca}} (\omega_{\text{arena}} - \text{abs}_{\text{arena}}) / 100$

- Cálculo de proporciones: Para el concreto las proporciones están compuestas por 3 materiales (cemento, grava y arena) se expresaron tomando como referencia al concreto. Fue calculado utilizando el peso y el volumen en estado suelto.

### 3.2.6 Diseño del experimento

Para iniciar el diseño del experimento se elaboró una muestra de concreto patrón y una muestra con adición de 30 % de virutas de madera en relación al cemento, a los 3 días fueron pesadas y sometidas al ensayo de resistencia a la compresión. De acuerdo a estos resultados se analizó el peso específico, trabajabilidad y variación en la resistencia para probetas con adición de 30 % de virutas de madera, siguiendo la misma metodología de elaboración que se detalla en la presente investigación. Se hizo con este porcentaje para decidir las siguientes variaciones de dosificación, es decir, se evaluó el comportamiento mecánico con testigos al 30% de virutas de madera para poder decidir si se debería aumentar o reducir los porcentajes de adición de viruta de madera.



**Figura 7:** Elementos para probetas preliminares.

*Fuente:* Elaboración propia.

Considerando lo expuesto y para mayor confiabilidad se elaborarán 5 muestras cilíndricas de 8" de alto y con diámetro de 4" para cada edad 7, 14 y 28 días, las que a su vez corresponden a 4 porcentajes de adición de viruta de madera y estos son 0 %, 30 %, 60 % y 90 %; 2 muestras prismáticas de 10x10x40 cm para el ensayo de resistencia a la flexión; y 2 muestras cilíndricas de 15x30 cm para ensayarlas a la tracción por compresión diametral.

### **3.2.7 Pruebas preliminares**

#### 3.2.7.1 Prueba de revenimiento:

- En una superficie plana, firme y uniforme se ordenaron los materiales: Cono de Abrams, varilla punta de bala y wincha.
- Se preparó la mezcla de concreto para un slump de 3". Ver Anexo N° 11.
- Se humedeció el tronco cónico y se colocó sobre una superficie plana, húmeda, no absorbente y rígida. La sección de diámetro inferior estuvo en la parte superior.
- El operador colocó los pies sobre la base del molde hasta concluir la prueba.
- Se vertió la mezcla de concreto hasta llenar aproximadamente 1/3 del volumen del molde, se compactó el concreto exactamente 25 veces con la varilla punta de bala, distribuyendo las penetraciones en forma de espiral sobre toda el área, hacia el centro del molde.
- Nuevamente se llenó con concreto hasta llenar 2/3 del volumen del cono y varilló de nuevo con 25 golpes a través de esta capa, de tal forma que los golpes pasen 2 cm de la capa anterior.
- Se llenó de concreto y varilló la capa superior con 25 golpes; para esta última capa. Con la varilla se eliminó el exceso de concreto de la parte superior del cono y se limpió el concreto derramado alrededor del fondo del cono.
- Después de que la capa superior fue varillada, se enrasó la superficie del molde, se limpió el área de la base de cualquier escurrimiento de concreto que hubiese durante el enrasamiento.

- Se retiró el cono cuidadosamente en dirección vertical, evitando giros o inclinación del cono que podrían arrastrar el concreto.
- Inmediatamente después de haber girado el cono se colocó sobre una superficie cercana al concreto, teniendo la varilla sobre la parte superior del cono en dirección del concreto receñado.
- Se midió el revenimiento, determinando la diferencia vertical entre la altura de la parte superior del molde y el centro del desplazamiento en la superficie del cono de concreto revenido. Se utilizó una cinta métrica. El tiempo transcurrido desde que se llena el molde hasta su levantamiento fue de 2 ½ minutos.

### 3.2.7.2 Rendimiento de mezcla:

Se preparó una mezcla con dosificación en peso para 0.0125 m<sup>3</sup> para los tres tipos de probeta, de los cuales se obtuvo las siguientes cantidades de probetas y desperdicios:

**Cuadro N° 5:** Cantidad de probetas, desperdicios y rendimiento por tipo de probeta.

	<b>Cantidad de probetas</b>	<b>Desperdicios (Kg)</b>	<b>Rendimiento (%)</b>
<b>Probetas tipo P1</b>	5	1.05	-
<b>Probetas tipo P1 + F1</b>	5	2.336	122.48
<b>Probetas tipo P1 + F2</b>	5	2.338	122.67
<b>Probetas tipo P1 + F3</b>	5	5.168	392.19

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.7.3 Prueba Termogravimétrica – TGA proximal.

Se usará esta prueba para determinar el contenido de humedad, materia volátil, el porcentaje de ceniza y de carbono fijo en la viruta de madera mineralizada. Este ensayo se sigue la norma ASTM D7582.

### **3.2.8 Determinación del peso específico**

Se determinó el peso específico mediante el pesado de cada muestra instantes después de desmoldarlas y antes de introducirlas en la cámara de curado, para las probetas patrón y de 30 % de adición de virutas de madera se realizó el pesado a las 24 horas después de elaborarlas, a diferencia de las probetas de 60 % que se pesaron después de 48 horas de elaboradas y las de 90 % de virutas de madera se pesaron 72 horas después. La diferencia en el tiempo fue debido al cambio del tiempo de fraguado según el porcentaje de viruta adicionada al concreto, ya que en las probetas con más cantidad de viruta el tiempo de fraguado era mayor.

### **3.2.9 Ensayos al concreto**

Ensayo de resistencia a la compresión: Se realizó de acuerdo a lo establecido en la norma NTP 339.034. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga de compresión axial a las testigos en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

Ensayo de resistencia a la flexión en los puntos tercios: Se siguió de acuerdo a la NTP 339.078.2012 en donde los especímenes de concreto de forma prismática se colocó de tal manera que la cara que expuesta del molde no estuvo en contacto con los dispositivos de carga, se centró con las cabezas de carga y los apoyos y se verificó que las cabezas de cargas estén aplicadas en los puntos tercios. Se llevó cada espécimen de forma gradual hasta la falla, se registró la carga máxima y las dimensiones del espécimen fracturado se calculó el módulo de ruptura.

Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral: Se realizó de acuerdo a la NTP 339.084 Se realizaron 8 ensayos con el objeto de obtener la resistencia a tracción del material. Para el reparto de la carga diametral se les adhirió un apoyo de madera de ancho despreciable, a lo largo de todo el espesor de la probeta.

### **3.2.10 Análisis Estadístico**

Después de realizados los ensayos es necesario validar estadísticamente los resultados obtenidos mediante las medidas de dispersión. Luego de validados se realizó el procesamiento de datos mediante el software R para realizar la prueba de hipótesis en donde se pueda asegurar que cierto tipo de probeta cumple con la especificación de ser menor a 18000 N/m<sup>3</sup> (requerimiento de concreto ligero). La distribución a usar será t de student.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Caracterización de los agregados

Luego se realizó el procedimiento indicado en las normas (Ver Anexo N° 12) se presenta el Cuadro N° 6 con los resultados de la granulometría de agregados y en la Gráfica N° 1 se puede observar el límite inferior y superior y la curva granulométrica del agregado fino, en el Cuadro N° 7 se presenta los resultados de contenido de humedad y módulo de finura. En la Figura 8 se muestra la granulometría del agregado fino separado en distintas bandejas.

En la Gráfica N°1 se puede observar curva granulométrica del agregado fino indica que se encuentra dentro del rango del límite inferior y superior indicado en la NTP 400.037. En el cuadro N°7 se presenta el contenido de humedad del agregado fino, de 10 % y su módulo de finura de 3.0.

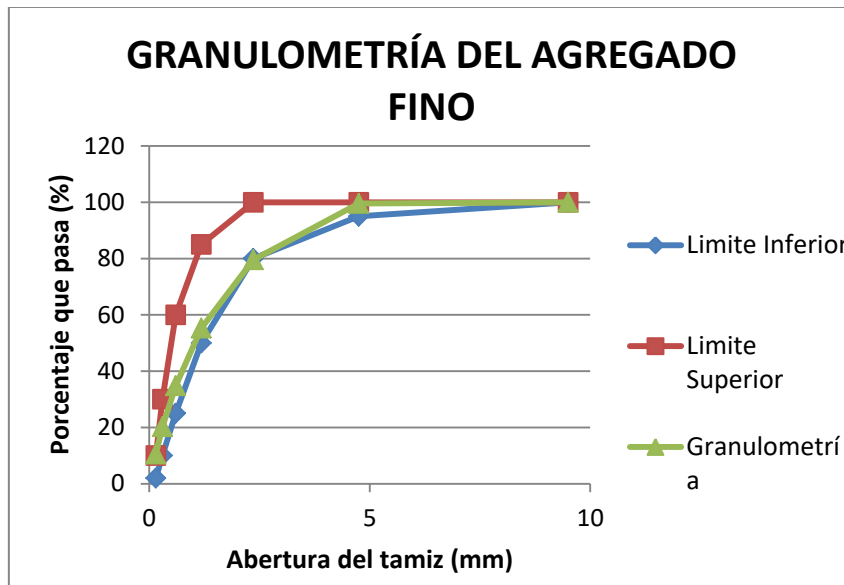
**Cuadro N° 6:** Granulometría del agregado fino.

<b>GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO</b>			
<b>TAMIZ #</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>LIMITE SUPERIOR</b>	<b>LIMITE INFERIOR</b>
3/8"	100	100	100
N°4	99.59	100	95
N°8	79.55	100	80
N°16	55.26	85	50
N°30	34.81	60	25
N°50	20.23	30	10
N°100	10.52	10	2
N°200	5.66	0	0
FONDO	0.00	0	0

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfica N° 1:** Granulometría del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 8:** Granulometría del agregado fino.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Cuadro N° 7:** Módulo de finura y porcentaje de humedad del agregado fino.

<b>M.F</b>	3.00
<b>Porcentaje de humedad</b>	10 %

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N°8 se presenta el resumen de la granulometría del agregado grueso en donde se observa que parte del agregado que pasa el tamiz  $\frac{3}{4}$ " está dentro del

rango del límite inferior y superior. En la Gráfica N° 2 se puede observar la curva granulométrica del agregado grueso. (Ver Anexo N° 13)

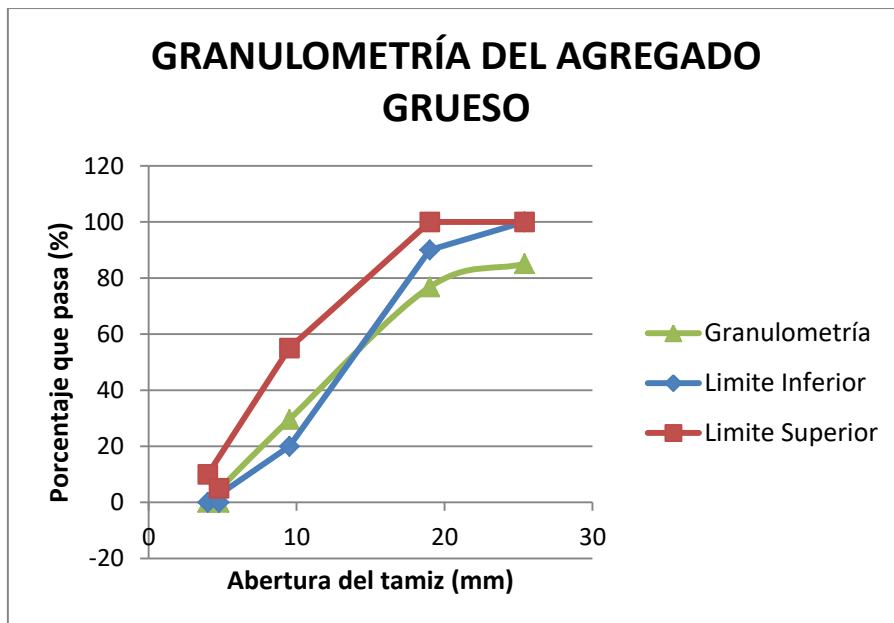
El contenido de humedad mostrado en el Cuadro N° 9 es de 12 % y su módulo de finura es 1.0.

**Cuadro N° 8:** Resumen de granulometría del agregado grueso.

<b>RESUMEN GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO</b>				
<b>TAMIZ</b>	<b>ABERTURA (MM)</b>	<b>% QUE PASA</b>	<b>LIMITE INFERIOR</b>	<b>LIMITE SUPERIOR</b>
2"	50	100	100	100
1"	25	85.09		
3/4"	19	76.80	90	100
1/2"	12.7	51.06		
3/8"	9.5	29.55	20	55
N°4	4.75	0	10	0

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica N° 2:** Granulometría del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.



**Figura 9:** Granulometría del agregado grueso.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Cuadro N° 9:** Módulo de finura y porcentaje de humedad.

<b>Módulo de Finura</b>	1.00
<b>Porcentaje de Humedad</b>	12 %

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2 Caracterización de las virutas de madera**

La caracterización de las virutas de madera mediante el ensayo Identificación de Especies de Madera dio como resultado la confirmación que la especie predominante en la muestra es de madera tornillo.

#### **4.3 Mineralización de las virutas de madera**

Los resultados de la mineralización de las virutas de madera se muestran en mediante el análisis termogravimétrica. En las Figuras 10 y 11 se muestra el pesado de madera antes y después de los tratamientos. En el Cuadro N° 10 se puede observar los pesos antes y después de los tratamientos, así también los pesos después de la separación mediante tamizado del aserrín de las virutas.



**Figura 10:** Pesado de las fibras de madera antes de la mineralización.

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 11:** Pesado de las fibras de madera después de la mineralización.

*Fuente: Elaboración propia.*

**Cuadro N° 10:** Peso de las virutas antes y después del tratamiento.

<b>ANTES</b>	29.4 kg
<b>DESPUÉS DEL TRATAMIENTO</b>	29.15 kg

Fuente: Elaboración propia.

Las virutas de madera sufrieron cambios de color después de los tratamientos con catalizadores, éstas inicialmente fueron color crema y al finalizar los tratamientos se tornaron de un color marrón oscuro. De la misma manera, las probetas de concreto con virutas de madera adicionadas sufrieron un cambio de color, este cambio dependió de la cantidad de virutas de madera adicionada, es decir, las probetas tipo P1+F1 fueron de un color más claro mientras que las tipo P1+F3 tuvieron un color más oscuro. (Ver Anexo N° 33).

Para la mineralización se recomienda disminuir el porcentaje de 20 % de sulfato de aluminio, ya que en la mezcla con agua se presenta un residuo al fondo del recipiente, lo que podría mostrar que la mezcla estuvo siendo sobresaturada.

#### 4.4. Caracterización de la madera

En el Cuadro N° 11 se muestran los pesos después de la caracterización de virutas, separándolas así del aserrín.

El porcentaje de error en esta caracterización se debió al desperdicio de una pequeña parte de la madera durante el proceso de tamizado.

**Cuadro N° 11:** Resultados de caracterización de las virutas y porcentaje de humedad.

TAMIZADO DE VIRUTAS		PORCENTAJE DE HUMEDAD	
VIRUTAS	27.35 kg	Semana 1	66%
ASERRÍN	1.35 kg	Semana 2	70%
TOTAL	28.70 kg	Semana 3	60%
ERROR (%)	1.55	Semana 4	71%

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro N° 11 se tiene también el porcentaje de humedad, ya que para la incorporación de virutas de madera a la mezcla de concreto se tomaron los porcentajes de humedad 4 días de los días de preparación de mezcla (1 vez por semana), esta humedad de calculo mediante el método gravimétrico, que es el secado de las virutas en el horno durante 3 horas con seguimiento constante luego de haberlas saturado en agua.

#### **4.5 Diseño de mezcla**

Se muestra en el Cuadro N° 12 el resumen de diseño de mezcla por el método ACI 211.1. Se diseñó la mezcla para 17.5 MPa debido al tipo de concreto ligero que se quiere llegar (concreto ligero de resistencia moderada).

El agregado grueso tuvo un tamaño máximo nominal de ½ pulgada debido a la disponibilidad en el mercado, ya que es este tamaño de piedra el más comercial.

En el Cuadro N° 12 se observa también el agua adicional que se le agregó a la mezcla, ya que se tuvo en consideración la propiedad hidrofílica de la madera, por lo que se añadió agua para que el  $f'c$  del concreto no fuera afectado. Este cálculo de la cantidad de agua adicional por la viruta de madera se obtuvo con el método gravimétrico para determinar el porcentaje de humedad de acuerdo con la cantidad de agua de mezclado del diseño de mezcla inicial.

**Cuadro N° 12:** Resumen de diseño de mezcla.

<b>RESUMEN DISEÑO DE MEZCLA</b>		
Calidad de los materiales		
<b>Cemento tipo IP</b>		
Peso específico	31500	N/m <sup>3</sup>
<b>Agregado fino</b>		
M.F	3	
Contenido de humedad	10	%
Absorción	1.4	%
<b>Agregado grueso</b>		
Contenido de humedad	12	%
Absorción	1.3	%
Datos de diseño		
f'c	17.5	MPa
Tamaño máximo nominal	1/2"	
Dosificación resultante por m <sup>3</sup>		
Cemento	356.46613	Kg
Agua de mezclado	229.39448	Litros
Agregado grueso	872.02236	Kg
Agregado fino	921.21943	Kg
Dosificación en volumen		
Cemento	0.266	m <sup>3</sup>
Agregado grueso	0.545	m <sup>3</sup>
Agregado fino	0.557	m <sup>3</sup>
Agua de mezclado	0.229	m <sup>3</sup>
Agua adicional virutas de madera: 0.2061 m <sup>3</sup>		
Proporción: cemento : grava : arena : agua		
Cemento	1.0	
Agregado grueso	2.0	
Agregado fino	2.1	
Agua de mezclado	0.9	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Diseño del experimento

En el Cuadro N° 13 se presenta la cantidad total de probetas a preparar para obtener el peso específico. En el Cuadro N°14 se tiene la cantidad total de probetas a preparar para el ensayo a la compresión. El Cuadro N° 15 presenta la cantidad total de probetas a preparar para el ensayo de resistencia a la flexión y el Cuadro N° 16 para el ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral. (Ver Anexo 18).

**Cuadro N° 13:** Cantidad de probetas para ensayo de peso específico.

<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO</b>				
Tipo de concreto	Número de días de curado			Total de probetas
	7	14	28	
P1	10	10	10	30
P1 + F1	10	10	10	30
P1 + F2	10	10	10	30
P1 + F3	10	10	10	30
				120

Elaboración propia.

**Cuadro N° 14:** Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la compresión.

<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>				
Tipo de concreto	Número de días de curado			Total de probetas
	7	14	28	
P1	10	10	10	30
P1 + F1	10	10	10	30
P1 + F2	10	10	10	30
P1 + F3	10	10	10	30
				120

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 15:** Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la flexión.

<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</b>	
Tipo de concreto	Días de curado
P1	2
P1 + F1	2
P1 + F2	2
P1 + F3	2
<b>TOTAL</b>	8

Fuente: Elaboración propia.



**Cuadro N° 16:** Cantidad de probetas para ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.

<b>PROBETAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL</b>	
Tipo de concreto	Días de curado
	28
P1	2
P1 + F1	2
P1 + F2	2
P1 + F3	2
<b>TOTAL</b>	8

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar de diseñar el experimento se observó que el rendimiento del concreto con fibras de madera fue incrementado según el porcentaje de adición, ya que para el concreto convencional (tipo P1) el desperdicio fue de 1.05 Kg, para el concreto con 30 % de adición de fibras de madera (tipo P1+F1) el desperdicio fue 2.336 Kg, lo que representa el aumento en el rendimiento de 22.48 %, para el concreto con 60 % de adición de fibras de madera (P1+F2) el desperdicio fue de 2.338 Kg, lo que representa el aumento en el aumento de 22.67 %, para el concreto con 90 % de adición de fibras de madera (P1+F3) el desperdicio fue de 5.168 Kg, lo que representa un aumento en el rendimiento de 292.19 %.

Además, se tuvo que el tiempo de desmolde para la probeta P1 + F1 fue de 24 horas, de mismo modo que para la probeta P1. Para el tipo de probeta P1+F2, el tiempo de desmolde fue de 42 horas, es decir, se debió esperar el triple de tiempo para desmoldar este tipo de probetas. Las probetas tipo P1 + F2 tuvieron que dejarse reposar durante 120 horas, es decir, cuatro veces más del tiempo, a comparación del tipo de probetas con concreto patrón.

#### **4.7. Pruebas preliminares**

##### **4.7.1 Ensayo de asentamiento**

En el ensayo de asentamiento para el concreto patrón (P1) se obtuvo un asentamiento de 3.2”, mientras que para el concreto tipo P1 +F1 (adición de 30 % de virutas de madera) se obtuvo un asentamiento es de 2.98”, para el concreto tipo P1 + F2 (adición de 60 %

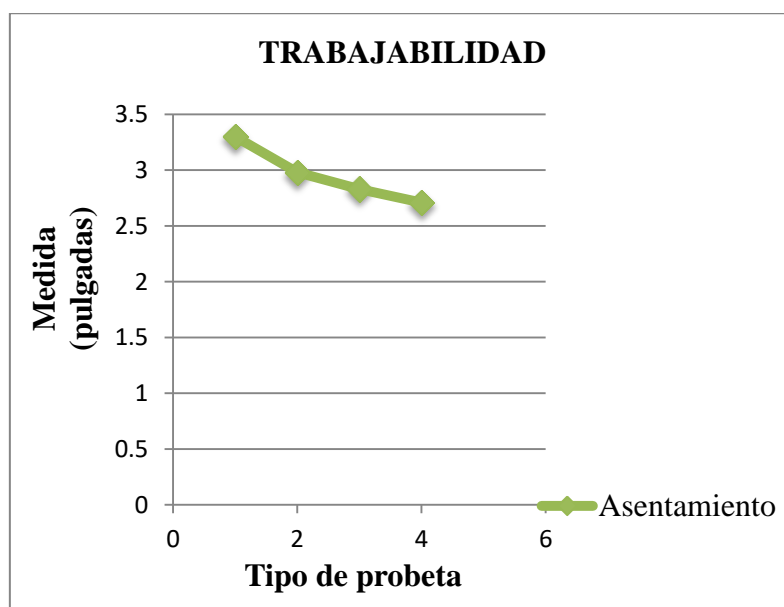
de virutas de madera) el asentamiento fue de 2.83” y finalmente para el concreto tipo P1 + F3 fue de 2.71”.

**Cuadro N° 17:** Resultados del ensayo de asentamiento y sus respectivas variaciones.

<b>ENSAYO DE ASENTAMIENTO CONO DE ABRAMS</b>				
<b>TIPO</b>	<b>% DE ADICIÓN</b>	<b>MEDIDAS (CM)</b>	<b>MEDIDAS (PULGADAS)</b>	<b>VARIACIÓN (%)</b>
1	P1	8.38	3.3	-
2	P1 + F1	7.57	2.98	10.74
3	P1 + F2	7.19	2.83	16.61
4	P1 + F3	6.88	2.71	21.77

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 3:** Trabajabilidad de las probetas P1, P1+F1, P1+F2 y P1+F3.



*Fuente:* Elaboración propia.

La trabajabilidad para el tipo de probetas P1 fue de 3.3”, para las probetas P1 + F1, 2.98”, es decir, es 0.32” lo que indica una disminución de la trabajabilidad del 10.74 %. Para el tipo de probetas P1 + F2 la trabajabilidad es de 2.83” lo que representa una disminución del 16.61 % de trabajabilidad en el concreto con 60 % de adición de virutas de madera en relación con el concreto patrón. Para las probetas tipo P1 + F3 la trabajabilidad fue de 2.71” es decir que para el tipo de probetas P1 disminuyó un 21.77 %.

#### 4.7.2 Análisis Termogravimétrico TGA (proximal)

El análisis termogravimétrico de las virutas de madera mineralizadas indicó que el contenido de humedad disminuyó en 19.41 % en la semana con menos humedad) y en 28.41 % en la semana con mayor humedad (Ver Cuadro N° 11), además se observa que la materia volátil es de 46.85 %, materia volátil 46.85 % y carbono fijo 6.99 %.

N. LABORATORIO	CÓDIGO DE CAMPO	BASE HUMEDA			
		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MATERIA VOLÁTIL (%)	CENIZAS (%)	CARBONO FIJO (%)
UBE-(11/2018)-0246	Viruta de madera tornillo	40.59	46.85	5.56	6.99

**Figura 12: Reporte de análisis termogravimétrico - TGA (proximal)**

*Fuente: Laboratorio de Energías Renovables, 2018.*

#### 4.8 Peso específico

##### 4.8.1 Probetas tipo P1

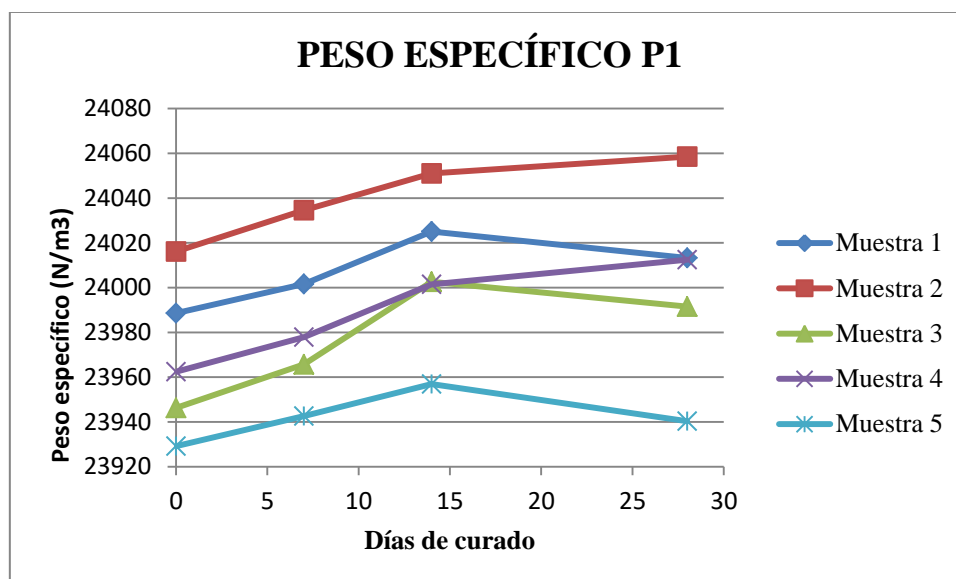
Se realizó el pesado de cada probeta de acuerdo al tipo de porcentaje de adición de virutas de madera. El tiempo de fraguado para el tipo de probetas P1 es de 24 horas, es decir, no hubo variación en el tiempo de fraguado.

**Cuadro N° 18: Peso específico de las probetas tipo P1 a los 0, 14 y 28 días de curado.**

DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1)							
Ensayo a los 0 días		Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Peso específico (N/m3)	Muestra	Peso específico (N/m3)	Muestra	Peso específico (N/m3)	Muestra	Peso específico (N/m3)
1	23945.4	1	23958.4	1	24050.4	1	24088.5
	24031.8		24044.8		23999.7		23938
2	23960.4	2	23979.4	2	24090.4	2	24026.7
	24071.8		24089.8		24011.7		24090.4
3	23971.3	3	23980.3	3	23995.9	3	23971.8
	23921.2		23951.2		24009.4		24011.2
4	23916.4	4	23926.4	4	24034.2	4	24061.5
	24008.4		24029.4		23968.7		23963.4
5	23964.9	5	23975.9	5	23994.1	5	23898
	23893.4		23909.4		23919.7		23982.7

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 4:** Peso específico de las probetas tipo P1 según los días de curado.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.2 Probetas tipo P1+F1

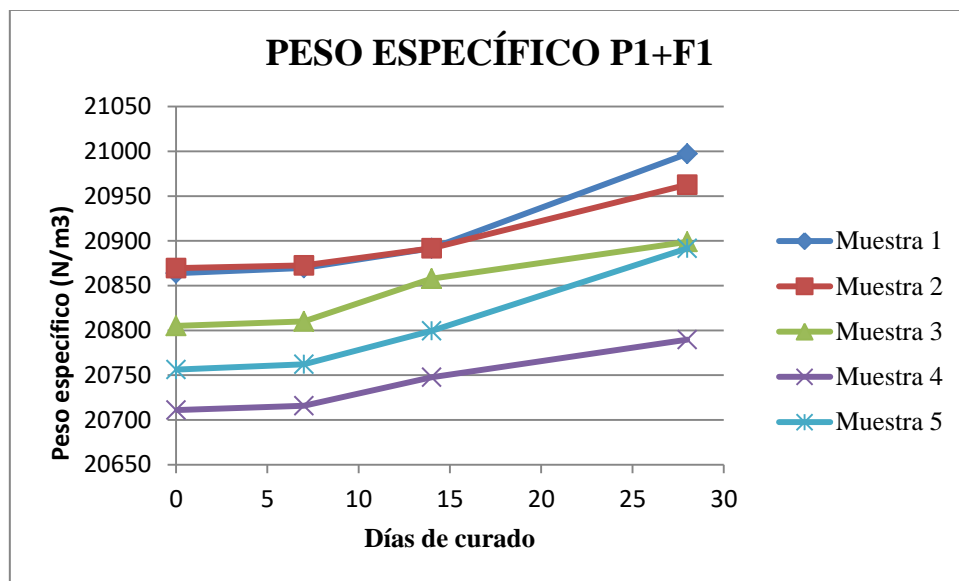
Para las probetas tipo P1 +F1 se presentan los resultados de peso específico en la Cuadro N° 19.

**Cuadro N° 19:** Peso específico de las probetas tipo P1+F1 a los 0, 7, 14 y 28 días de curado.

DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1+F1)							
Ensayo a los 0 días		Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Peso específico (N/m³)	Muestra	Peso específico (N/m³)	Muestra	Peso específico (N/m³)	Muestra	Peso específico (N/m³)
1	20893.3	1	20903.3	1	20830.8	1	20985.5
	20834.4		20836.4		20952.6		21009.1
2	20843.2	2	20849.2	2	20967.2	2	20996.3
	20895.9		20896.1		20816.5		20929.2
3	20811.6	3	20819.6	3	20851.8	3	20900.1
	20798.6		20800.6		20863.7		20897.7
4	20631	4	20635.3	4	20804.7	4	20750.1
	20791.1		20796.3		20690.8		20829.1
5	20750.3	5	20756.3	5	20804.5	5	20865.5
	20762.2		20767.9		20794.7		20812.8

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 5:** Peso específico de las probetas tipo P1+F1 según el tiempo de curado.



Fuente: Elaboración propia.

Para el tipo de probetas P1 + F1 el tiempo de fraguado fue de 24 horas, es decir, fue la a comparación del tipo de probetas P1. La trabajabilidad en este tipo de probetas fue similar al del tipo de probetas P1, la homogeneidad y facilidad de trabajo no tuvieron variación.

#### 4.8.3 Probetas tipo P1+F2

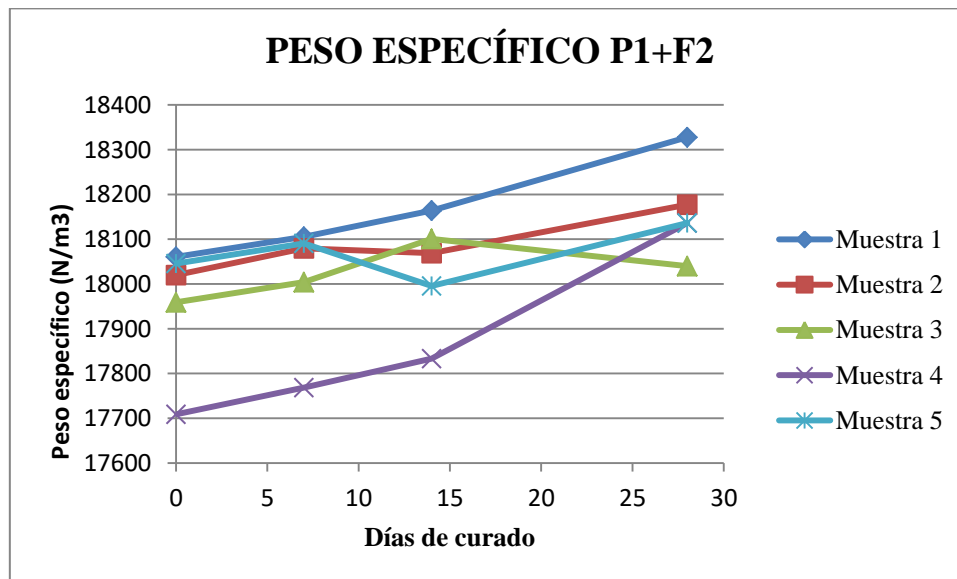
Para las probetas de tipo P1+F2 se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro N° 19. En la Gráfica N°6 se presenta el comportamiento del peso específico en relación a los días de curado, como se puede observar hubo un ligero incremento del peso específico al aumentar los días de curado.

**Cuadro N° 20:** Peso específico de las probetas tipo P1+F2 a los 0, 7, 14 y 28 días.

DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1+F2)							
Ensayo a los 0 días		Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )
1	18412.5	1	18462.5	1	18375.3	1	18297.9
	17708.5		17748.5		17952.6		18357.9
2	18017.2	2	18097.2	2	17938.6	2	18931.5
	18022.3		18062.3		18199.2		17422.6
3	18005.9	3	18025.9	3	18057.2	3	18017.2
	17912.1		17982.1		18144.2		18062.8
4	17802.1	4	17882.1	4	17680	4	17897.5
	17615.2		17655.2		17986.4		17910
5	18191.3	5	18211.3	5	18110.3	5	18075.6
	17899.7		17969.7		17880.8		18196.8

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 6:** Peso específico de las probetas tipo P1+F2 según el tiempo de curado.



Fuente: Elaboración propia.

Para el tipo de probetas P1 + F2 el tiempo de fraguado fue de 72 horas, es decir, fue el triple a comparación del tipo de probetas P1+ F1. La trabajabilidad en este tipo de probetas fue menor al del tipo de probetas P1+ F1, sin embargo, la facilidad y

#### 4.8.4 Probetas tipo P1+F3

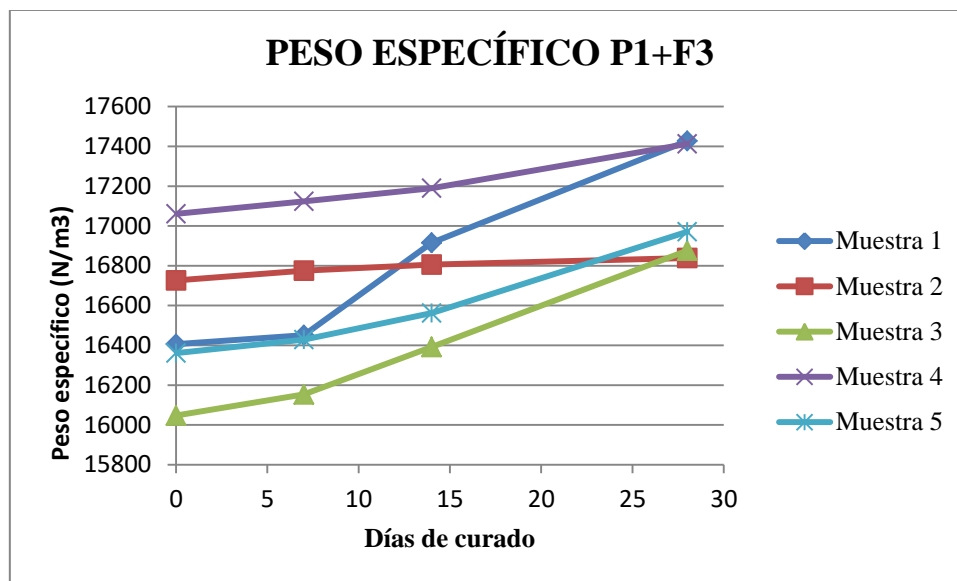
Para las probetas de tipo P1+F3 se obtuvieron los resultados mostrados en el Cuadro N° 21. En la Gráfica N°7 se presenta el comportamiento del peso específico en relación a los días de curado, como se puede observar hubo un ligero incremento del peso específico conforme pasaron los días en la piscina de curado.

**Cuadro N° 21:** Peso específico de las probetas tipo P1+F3 a los 0, 7, 14 y 28 días de curado.

DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1+F3)							
Ensayo a los 0 días		Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )	Muestra	Peso específico (N/m <sup>3</sup> )
1	17400	1	17438	1	16437.1	1	17201
	15412.2		15464		17393		17653.5
2	16801.1	2	16835.5	2	16750.1	2	16728.3
	16651.2		16714.5		16861.9		16949.5
3	15811.7	3	15998.9	3	16484.6	3	16915.3
	16283.2		16308.2		16299.2		16837.1
4	17171.1	4	17214.3	4	17145.5	4	17435.2
	16950.1		17033.1		17234.3		17389.8
5	16690.9	5	16744.5	5	16991.7	5	16948.5
	16030.3		16113.3		16132.4		16993.6

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 7:** Peso específico de las probetas tipo P1+F3 según el tiempo de curado.



Fuente: Elaboración propia.

Para el tipo de probetas P1 + F3 el tiempo de fraguado fue de 120 horas, es decir, fue cuatro veces más del tiempo de fraguado de las probetas P1+ F1. Se intentó desmoldar a las 72 horas, obteniéndose una muestra blanda, sin firmeza y con muy poca resistencia a la manipulación, como se muestra en la Figura 13 y el desmolde a las 96 horas obtuvo como resultado una ruptura como se muestra en la Figura 14.



**Figura 13:** Probetas tipo P1+F3 a las 72 horas de desmolde.

Fuente: Elaboración propia.





**Figura 14:** Probeta tipo P1+F3 a las 96 hora de desmolde.

*Fuente: Elaboración propia.*

La trabajabilidad en este tipo de probetas fue menor al del tipo de probetas P1+ F2, además, la homogeneidad de la mezcla disminuyó considerablemente.

**Cuadro N° 22:** Promedio y variación del peso específico a los 28 días.

<b>Promedio a los 28 días (N/m<sup>3</sup>).</b>	24003.2	20897.5	18117	17105.2
<b>Variación (%)</b>	-	12.94	24.52	28.74

Fuente: Elaboración propia.

Del Cuadro N° 22 se puede observar el promedio de peso específico a los 28 días del concreto tipo P1+F1 es de 20897.5 N/m<sup>3</sup>, que representa una disminución de 12.94 %, mientras que en el concreto tipo P1+F2 es de 18117 N/m<sup>3</sup>, que significa una reducción en 24.52 % de peso específico y el concreto tipo tiene un peso promedio de 17105.2 N/m<sup>3</sup>, lo que representa una disminución del 28.74 % del peso respecto al concreto patrón.

## 4.9 Ensayos de concreto

### 4.9.1 Resistencia a la compresión probetas P1

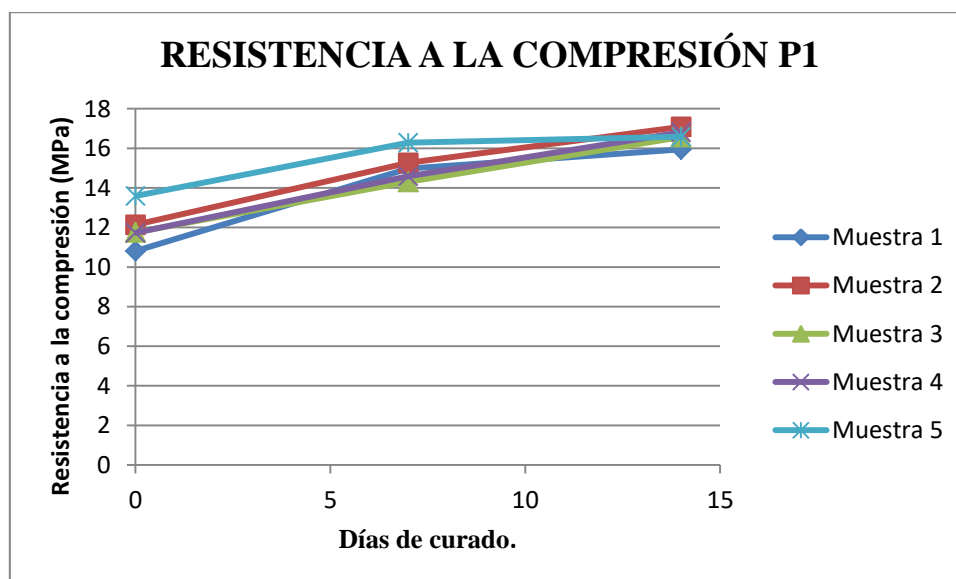
El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a los 7, 14 y 28 días de curado. En el concreto tipo P1, se puede observar que los valores están dentro del rango de la curva teórica de resistencia a la compresión de la Figura 1.

**Cuadro N° 23:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1 a los 7, 14 y 28 días.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TIPO P1					
Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Resistencia (MPa)	Muestra	Resistencia (MPa)	Muestra	Resistencia (MPa)
1	10.196	1	14.93	1	16.455
	11.428		15.02		15.431
2	12.843	2	17.021	2	17.02
	11.427		13.506		17.157
3	10.319	3	13.49	3	16.111
	13.1926		15.112		17.02
4	11.523	4	13.24	4	16.692
	11.9432		15.933		16.921
5	12.4655	5	17.241	5	16.54
	14.716		15.32		16.635

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 8:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1 según los días de curado.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.2 Resistencia a la compresión probetas P1+F1

Según el Cuadro N° 23 los valores de resistencias obtenidas en el ensayo de resistencia a la compresión son menores a los obtenidos en el concreto de tipo P1. En el Cuadro N°23 se puede observar el porcentaje de variación de resistencia a la compresión del tipo P1 + F1 con el tipo P1 a los 28 días, siendo esta un promedio de 16.24 %. En la

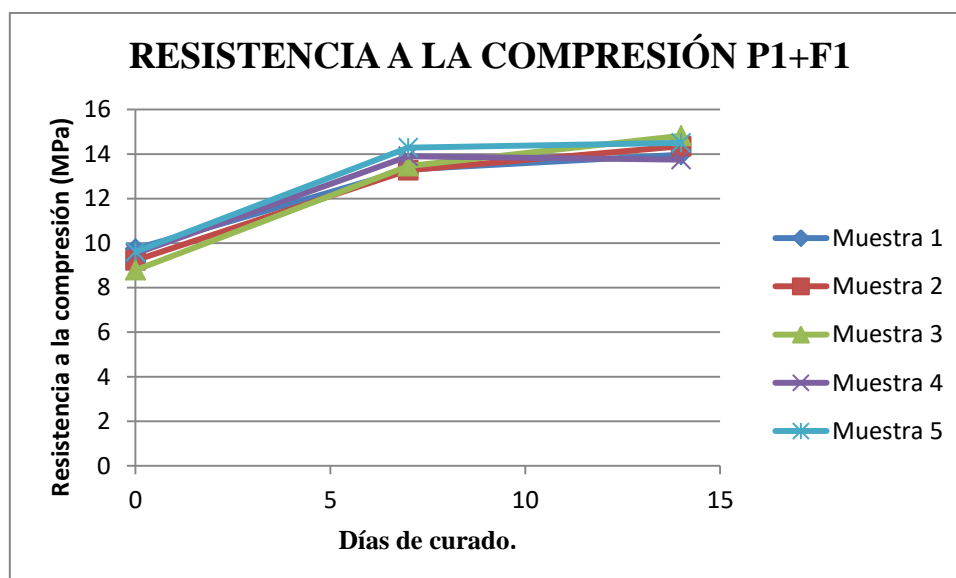
Gráfica N°9 se puede observar la relación de la resistencia a la compresión según los días de curado, observando que esta resistencia aumenta considerablemente al pasar los días de curado. (Ver Anexo N° 14 y N°15). Además, según el Cuadro N°22 los resultados de la resistencia a la compresión de todas las muestras cumplen el requerimiento para concreto ligero de resistencia moderada (7-15MPa).

**Cuadro N° 24:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1 a los 7, 14 y 28 días.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TIPO P1 + F1					
Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Resistencia (Mpa)	Muestra	Resistencia (Mpa)	Muestra	Resistencia (Mpa)
1	9.54	1	13.055	1	14.872
	9.952		13.565		13.075
2	9.456	2	12.946	2	15.03
	8.994		13.597		13.674
3	9.146	3	13.356	3	14.894
	8.433		13.57		14.74
4	10.326	4	14.05	4	13.56
	8.753		13.754		13.943
5	10.053	5	14.83	5	14.843
	9.16		13.75		14.165

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 9:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1 según los días de curado.



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 25:** Variación de la resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	A los 7 días		A los 14 días		A los 28 días	
	P1	P1 + F1	P1	P1 + F1	P1	P1 + F1
Promedio	12.005	9.381	15.081	13.647	16.598	14.280
Variación Promedio (%)	27.97		10.51		16.24	

Fuente: Elaboración propia.

Las probetas tipo P1+F1 que fueron ensayadas a los 28 días tuvieron una variación de 16.24 % en la resistencia a la compresión, mientras las de tipo P1+F2 tuvieron una variación del 31.23 % y las probetas de tipo P1+F3 de 96.46 % con respecto al tipo de probetas patrón P1.

En el tipo de probetas P1 se puede observar que al pasar de los días de curado, la resistencia a la compresión aumenta, sin embargo el peso específico es constante. Sin embargo, en las probetas de tipo P1 + F1 se puede observar que a mayor sea el tiempo de curado, tiene una mayor resistencia a la compresión y mayor peso específico. Las probetas de tipo P1 + F2 presentaron un aumento en el peso específico y en la resistencia a la compresión mientras aumentaba el tiempo de curado. Este aumento de peso específico fue gradual y el valor de este fue menor que el peso específico de las probetas P1 y P1 + F1.

#### **4.9.3 Resistencia a la compresión probetas P1+F2**

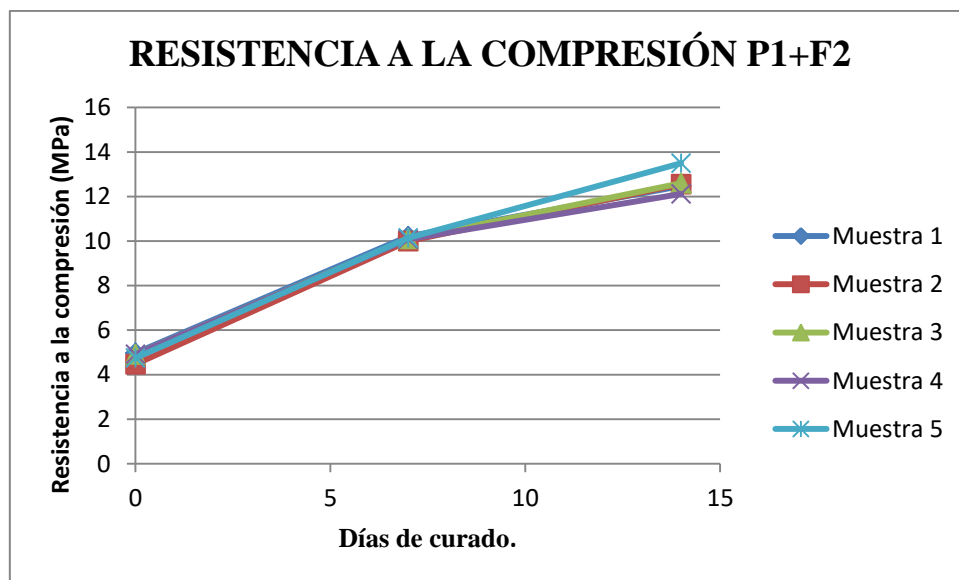
Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión para el tipo P1 + F2 son menores a los obtenidos en el concreto de tipo P1 se pueden ver en el Cuadro N°24. En el Cuadro N°25 se presenta el porcentaje de variación de resistencia a la compresión, a los 28 días de curado, del tipo P1 + F2 respecto al tipo P1 siendo esta un promedio de 31.23 % . Esta variación es mayor a la obtenida entre el tipo P1 y el tipo P1 + F1. En la Gráfica N°10 observa el aumento de la resistencia a la compresión al pasar los días de curado. (Ver Anexo 16). Según el Cuadro N°24 los resultados de la resistencia a la compresión, todas las probetas cumplen el requerimiento para concreto ligero de resistencia moderada (7-15MPa).

**Cuadro N° 26:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2 a los 7, 14 y 28 días de curado.

<b>ENSAYO DE COMPRESIÓN TIPO P1 + F2</b>					
<b>Ensayo a los 7 días</b>		<b>Ensayo a los 14 días</b>		<b>Ensayo a los 28 días</b>	
<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>
1	5.024	1	10.265	1	12.35
	4.918		10.153		12.59
2	5.136	2	9.942	2	12.067
	3.794		10.054		13.046
3	5.012	3	10.265	3	13.197
	4.799		9.932		12.001
4	5.091	4	10.1325	4	11.985
	4.735		10.035		12.246
5	5.142	5	10.432	5	13.053
	4.357		9.843		13.945

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 10:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2 según los días de curado.



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 27:** Variación de la resistencia a la compresión para el tipo de probetas P1+F2.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	A los 7 días		A los 14 días		A los 28 días	
	P1	P1 + F2	P1	P1 + F2	P1	P1 + F2
Promedio	12.005	4.801	15.081	10.105	16.598	12.648
Variación Promedio (%)	150.07		49.24		31.23	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9.4 Resistencia a la compresión probetas P1+F3

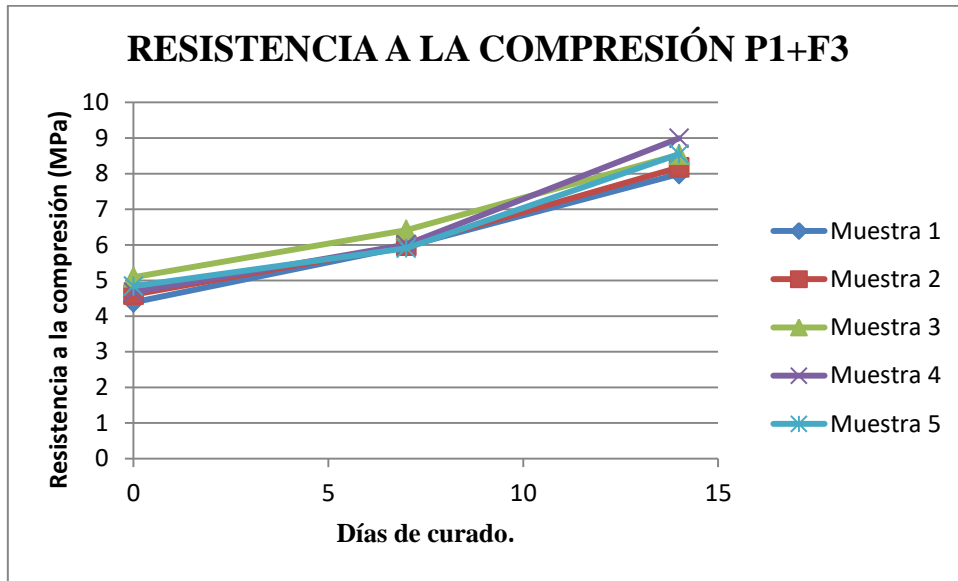
En el ensayo aplicado a las probetas tipo P1 + F3 se obtuvo los resultados de resistencia a la compresión más bajos de todo el experimento, siendo la variación con respecto al promedio de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1 es de 96.46 % . En la Gráfica N°11 observa el aumento de la resistencia a la compresión al pasar los días de curado. (Ver Anexo N° 17) Según el Cuadro N°26 los resultados de la resistencia a la compresión de todas las probetas cumplen el requerimiento para concreto ligero de resistencia moderada (7-15MPa).

**Cuadro N° 28:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3 a los 7, 14 y 28 días de curado.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TIPO P1 + F3					
Ensayo a los 7 días		Ensayo a los 14 días		Ensayo a los 28 días	
Muestra	Resistencia (Mpa)	Muestra	Resistencia (Mpa)	Muestra	Resistencia (Mpa)
1	4.598	1	6.125	1	8.054
	4.175		5.792		7.932
2	4.376	2	6.032	2	8.14
	4.833		5.923		8.215
3	5.022	3	6.54	3	7.901
	5.163		6.29		9.165
4	4.25	4	5.914	4	8.954
	5.102		6.102		9.032
5	4.334	5	5.814	5	8.143
	5.349		6.001		8.952

Fuente: Elaboración propia.

**Gráfica N° 11:** Resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3 según el tiempo de curado.



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 29:** Variación de la resistencia a la compresión para el tipo P1+F3.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	A los 7 días		A los 14 días		A los 28 días	
	P1	P1 + F3	P1	P1 + F3	P1	P1 + F3
Promedio	12.005	4.720	15.081	6.053	16.598	8.449
Variación Promedio (%)	154.34		149.14		96.46	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 30:** Promedio y variación de la resistencia a la compresión según el tipo de concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	P1	P1+F1	P1+F2	P1+F3
Promedio a los 28 días (Mpa)	16.598	14.28	12.648	8.449
Variación (%)	-	13.97	23.80	49.10

#### 4.9.5 Resistencia a la flexión

El ensayo de resistencia a la flexión fue realizado a los 28 días de curado de las viguetas. Se muestra estos resultados en el Cuadro N° 29 en donde la menor resistencia promedio la obtuvo el tipo de probeta P1+F3, con 7.390 MPa, y las probetas con mayor

resistencia promedio fueron las probetas de tipo P1+F1. (Ver desde el Anexo N° 19 hasta el Anexo N° 25)

**Cuadro N° 31:** Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión.

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN</b>			
Muestra	Tipo de probeta	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1	P1	14.108	14.274
	P1	14.44	
2	P1+F1	12.138	12.495
	P1+F1	12.852	
3	P1+F2	10.751	10.9405
	P1+F2	11.13	
4	P1+F3	7.179	7.39
	P1+F3	7.601	

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se presenta el Cuadro N° 29 de porcentaje de variación de la resistencia a la flexión para los tipos de probetas. La mayor variación de resistencia a la flexión fue del tipo de probetas P1+F3 con 93.15 %, en el tipo de probetas P1+F2 se presentó una variación de la resistencia a la flexión de 30.46 % y la de menor variación en los resultados del ensayo de resistencia a la flexión fue el tipo de probetas P1+F1.

**Cuadro N° 32:** Variación de la resistencia a la flexión de las probetas según el tipo de concreto.

<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN SEGÚN EL TIPO DE CONCRETO</b>		
Tipo de probeta	Resistencia Promedio (MPa)	Variación (%)
P1	14.2.4	-
P1+F1	12.495	14.24
P1+F2	10.941	30.46
P1+F3	7.39	93.15

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de resistencia a la flexión fueron realizados a los 28 días, obteniendo una variación con respecto al tipo P1. El tipo P1+F1 obtuvo una resistencia promedio de



12.495 MPa lo cual significa una disminución de 14.24 %, en las probetas tipo P1+F2 se obtuvo una resistencia promedio de 10.941 MPa lo cual representa una disminución del 30.46 % respecto al tipo P1, mientras que en las tipo P1+F3 su resistencia promedio fue de 7.390 MPa lo que representa una variación 93.25 %.

#### 4.9.6 Resistencia a la tracción por compresión diametral

El ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral fue realizado a los 28 días de curado de las probetas. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 30 en donde la menor resistencia promedio la obtuvo el tipo de probeta P1+F3, con 6.801 MPa. En el Cuadro N° 31 se presentan las variaciones de resistencia a la tracción por compresión diametral en referencia con el concreto tipo P1. Ver desde el Anexo N° 26 hasta el Anexo N° 32)

**Cuadro N° 33:** Resultados de los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral según el tipo.

<b>ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL</b>			
Muestra	Tipo de probeta	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio
1	P1	13.6104	13.444
	P1	13.2784	
2	P1+F1	11.28278	11.497
	P1+F1	11.71124	
3	P1+F2	9.86544	10.182
	P1+F2	10.49784	
4	P1+F3	6.59022	6.801
	P1+F3	7.01267	

Fuente: Elaboración propia.

Los ensayos de resistencia a la tracción por compresión diametral se realizaron a los 28 días, estos tuvieron una variación con respecto a las probetas tipo P1. En donde el tipo de probetas P1+F1 tuvo una resistencia promedio de 11.497 MPa lo que representa una variación de 16.24 %, seguidas por las probetas de tipo P1+F2 con una resistencia promedio de 10.182 MPa que representa una variación del 32.05 % y las de tipo P1+F3 con una resistencia promedio de 6.801 MPa que representa una variación de 97.27 %.

Las probetas de tipo P1+F2 obtuvieron un peso específico promedio de 12.648 MPa, este valor se encuentra sobre el valor dado en la especificación de concreto ligero, sin

embargo, redujo el peso específico hasta en 31.23 % se obtuvo una trabajabilidad media, ya que solo fué reducida en 16.61 % y los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tracción por compresión diametral disminuyeron en 31.23 %, 30.46 % y 32.05 %, es decir, se obtuvo una resistencia de hasta 3 veces las probetas tipo P1+F3.

Las probetas de tipo P1+F3 obtuvieron un menor peso específico, siendo este de 17100 N/m<sup>3</sup>, sin embargo a pesar de cumplir la especificación de concreto ligero, no presentó buena trabajabilidad, esta se redujo en 21.77 %. y los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión, flexión y tracción por compresión diametral disminuyeron en 96.6 %, 93.15 % y 97.67 % respectivamente.

**Cuadro N° 34:** Variación de la resistencia a la compresión diametral según el tipo de probetas.

<b>VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL SEGÚN EL TIPO DE CONCRETO</b>		
Tipo de probeta	Resistencia Promedio (MPa)	Variación (%)
P1	13.444	-
P1+F1	11.497	16.94
P1+F2	10.182	32.05
P1+F3	6.801	97.67

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.10 Análisis estadístico**

##### **4.10.1. Validación de datos para peso específico**

Para validar los datos estadísticamente se usó las medidas de dispersión, es decir, la varianza, desviación estándar y coeficiente de variabilidad. A continuación se presenta el Cuadro N° 32 para los cuatro tipos de probetas

Se presenta un coeficiente de variación menor a 7 % indica que las probetas de tipo P1 tiene una estimación de datos precisa. Siendo las probetas ensayadas a los 28 días, las que presentan mayor variabilidad entre todas.

**Cuadro N° 35:** Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1)</b>							
<b>Ensayo a los 0 días</b>		<b>Ensayo a los 7 días</b>		<b>Ensayo a los 14 días</b>		<b>Ensayo a los 28 días</b>	
Máximo	24071.8	Máximo	24044.8	Máximo	24090.4	Máximo	24090.4
Mínimo	23916.4	Mínimo	23909.4	Mínimo	23919.7	Mínimo	23898.0
Promedio	23968.5	Promedio	23984.5	Promedio	24007.4	Promedio	24003.2
Varianza	30.52	Varianza	30.72	Varianza	21.16	Varianza	41.36
Desviación E.	5.52	Desviación E.	5.54	Desviación E.	4.60	Desviación E.	6.43
C.V	0.23	C.V	0.23	C.V	0.19	C.V	0.27

Fuente: Elaboración propia.

Para las probetas tipo P1 + F1 se tiene un coeficiente de variación menor a 7 % indica que se tiene una estimación de precisa de datos. Siendo las probetas ensayadas a los 7 días, las que presentan mayor variabilidad entre todas.

**Cuadro N° 36:** Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F1.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1 + F1)</b>							
<b>Ensayo a los 0 días</b>		<b>Ensayo a los 7 días</b>		<b>Ensayo a los 14 días</b>		<b>Ensayo a los 28 días</b>	
Máximo	20895.9	Máximo	20903.3	Máximo	20967.2	Máximo	20996.3
Mínimo	20750.3	Mínimo	20635.3	Mínimo	20690.8	Mínimo	21009.1
Promedio	20801.2	Promedio	20806.1	Promedio	20837.7	Promedio	20897.5
Varianza	59.56	Varianza	59.70	Varianza	63.30	Varianza	72.86
Desviación E.	7.72	Desviación E.	7.73	Desviación E.	7.96	Desviación E.	8.54
C.V	0.37	C.V	0.37	C.V	0.38	C.V	0.41

Fuente: Elaboración propia.

Las probetas tipo P1 + F2 se tiene un coeficiente de variación menor a 7 %, esto indica que se tiene una estimación de precisa de datos, sin embargo, este coeficiente de variación es mayor que el de las probetas tipo P1 + F1 y tipo P1, por lo que se puede afirmar que este tipo de probetas presenta mayor variabilidad de datos dentro del rango aceptado de precisión de datos.

**Cuadro N° 37:** Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F2.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1 + F2)</b>							
<b>Ensayo a los 0 días</b>		<b>Ensayo a los 7 días</b>		<b>Ensayo a los 14 días</b>		<b>Ensayo a los 28 días</b>	
Máximo	18412.5	Máximo	18462.5	Máximo	18375.3	Máximo	18931.5
Mínimo	17615.2	Mínimo	17655.2	Mínimo	17680.0	Mínimo	17422.6
Promedio	17958.7	Promedio	18009.7	Promedio	18032.5	Promedio	18117.0
Varianza	53.391	Varianza	5210.1	Varianza	36.552	Varianza	1498.16
Desviación E.	23.11	Desviación E.	22.83	Desviación E.	19.12	Desviación E.	38.71
C.V	1.29	C.V	1.27	C.V	1.06	C.V	2.14

Fuente: Elaboración propia.

Para las probetas tipo P1 + F2 se tiene un coeficiente de variación menor a 7 % para las muestras de ensayo a los 7 y 28 días, sin embargo, es mayor de 7 % en las muestras para ser ensayadas a los 14 días, aún así se considera que tiene una precisión aceptable.

**Cuadro N° 38:** Resumen de datos de variabilidad del peso específico de las probetas tipo P1+F3.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE PESO ESPECÍFICO (P1 + F3)</b>							
<b>Ensayo a los 0 días</b>		<b>Ensayo a los 7 días</b>		<b>Ensayo a los 14 días</b>		<b>Ensayo a los 28 días</b>	
Máximo	17400.0	Máximo	17438.0	Máximo	17393.0	Máximo	17653.5
Mínimo	15412.2	Mínimo	15464.0	Mínimo	16132.4	Mínimo	16728.3
Promedio	16520.2	Promedio	16586.4	Promedio	16773.0	Promedio	17105.2
Varianza	3926.29	Varianza	369.864	Varianza	180.331	Varianza	90.107
Desviación E.	62.66	Desviación E.	60.82	Desviación E.	42.47	Desviación E.	30.02
C.V	3.79	C.V	3.67	C.V	2.53	C.V	1.75

Fuente: Elaboración propia.

Para las probetas tipo P1 + F3 los mismos resultados, es decir, el coeficiente de variación es menor a 7 % para las muestras de ensayo a los 7 y 28 días, sin embargo, es mayor de 7 % en las muestras para ser ensayadas a los 14 días, aún así se considera que tiene una precisión aceptable.

#### 4.10.2 Validación de datos para resistencia a la compresión

**Cuadro N° 39:** Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (P1)</b>					
Máximo	14.716	Máximo	13.24	Máximo	17.02
Mínimo	10.319	Mínimo	17.241	Mínimo	15.431
Promedio	12.005	Promedio	15.081	Promedio	16.598
Varianza	18.547	Varianza	19.601	Varianza	26.73
Desviación E.	13.62	Desviación E.	14.00	Desviación E.	5.17
C.V	11.34	C.V	9.28	C.V	3.12

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro N° 40:** Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F1.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (P1 + F1)</b>					
Máximo	10.326	Máximo	14.83	Máximo	15.03
Mínimo	8.433	Mínimo	12.946	Mínimo	13.075
Promedio	9.381	Promedio	13.647	Promedio	14.280
Varianza	3.609	Varianza	2.806	Varianza	4.759
Desviación E.	6.01	Desviación E.	5.30	Desviación E.	6.90
C.V	6.40	C.V	3.88	C.V	4.83

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 41:** Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F2.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (P1 + F2)</b>					
Máximo	5.091	Máximo	10.432	Máximo	13.945
Mínimo	3.794	Mínimo	9.843	Mínimo	11.985
Promedio	4.801	Promedio	10.105	Promedio	12.648
Varianza	1.818	Varianza	3.26	Varianza	4.173
Desviación E.	4.26	Desviación E.	1.81	Desviación E.	6.46
C.V	8.88	C.V	1.79	C.V	5.11

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N° 42:** Resumen de datos de variabilidad de resistencia a la compresión de las probetas tipo P1+F3.

<b>VALIDACIÓN DE DATOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (P1 + F3)</b>					
Máximo	5.349	Máximo	6.54	Máximo	9.165
Mínimo	4.175	Mínimo	5.792	Mínimo	9.032
Promedio	4.720	Promedio	6.053	Promedio	8.449
Varianza	1.824	Varianza	5.17	Varianza	2.587
Desviación E.	4.27	Desviación E.	2.27	Desviación E.	5.09
C.V	9.05	C.V	3.76	C.V	6.02

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.10.3 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F1

Para verificar que el experimento cumple con los requisitos de la distribución t de student, se realizó una primera prueba de hipótesis para demostrar que los datos provienen de una distribución normal.

Hipótesis:

H0= Los datos provienen de una distribución normal

H1: Los datos no provienen de una distribución normal.

**Cuadro N° 43:** Resultados de prueba de normalidad usando el software RStudio.

Prueba de normalidad shapiro.test(mf)	
w	0.95616
p-value	0.97414

Fuente: Elaboración propia usando RStudio.

Por los datos mostrados en el Cuadro N°40 se acepta la hipótesis nula, es decir, los datos cumplen con el supuesto de normalidad. El intervalo de confianza fue construido a través de la prueba t.test (x), para esto se tienen las hipótesis:

H0: media igual a 0.

H1: media no es igual a 0.

El en Cuadro N° 41 se presentan los resultados de la prueba para intervalo de confianza, esto indica el intervalo de la media de la población de probetas tipo P1+F2 [208364.8

209586.0. La media de la población de: 18116.98 N/m<sup>3</sup>. Se tiene información adicional del valor calculado de  $t=12.86$ , los grados de libertad ( $df=9$ ),  $gl=n-1$  (número de observaciones menos uno), y la probabilidad resultante ( $p\text{-value} = 2.20E-06$ ), en el caso de esta investigación es menor a 0.05, ya que tiene un nivel de confianza de 95 %, por lo que nuestro resultado es significativo dado la hipótesis por defecto.

Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0, significa solo el planteamiento de nuestra hipótesis alternativa (la media es diferente de cero), no tiene significado alguno.

**Cuadro N° 44:** Resultados de la prueba para el intervalo de confianza.

<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	
<b>t.test(mf)</b>	
t	774.19
df	9
p-value	2.20E-06
<b>Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0.</b>	
<b>95 percent confidence interval:</b>	
20836.48	20958.6
<b>Samples estimates:</b>	
<b>Media</b>	<b>20897.54</b>

Fuente: Elaboración propia usando RStudio.

Cumplido con las condiciones de la distribución t de student, se elaboró una prueba de hipótesis para la media muestral de peso específico, en donde se planteó:

$H_0$ = Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F1 sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>

$H_a$ =Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F1 no sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>.

Los datos de entrada se obtuvieron de la validación de datos de peso específico para las probetas tipo P1+F2. Ver Cuadro N° 20.

**Cuadro N° 45:** Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.

One imple t-test	
t.test(mf,mu=1800,alternative="less",conf.level=0.95)	
t	107.34
Df	9
Alternative hypothesis: true mean is less than 18000	
95 percent confidence interval-Inf 20947.02	
Sample estimates:	
Mean of x	20947.02

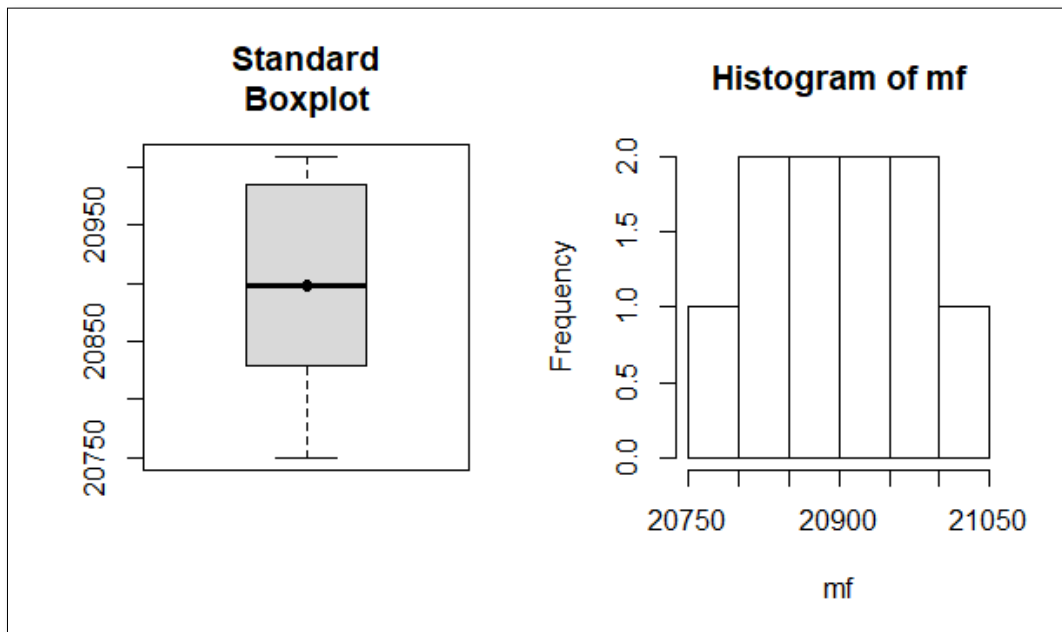
Fuente: Elaboración propia usando RStudio.

Del Cuadro N° 42 se obtiene que el peso específico no es menor a 18000 N/m<sup>3</sup>, de manera no significativa ( $t = 0.955$ ;  $gl = 9$ ), al 95% de confianza.

**Cuadro N° 46:** Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F1

Quantiles (mf)				
0%	25%	50%	75%	100%
20750.1	20838.2	20898.9	20971.42	21009.1

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 15:** Diagrama de cajas e histograma de los datos de peso específico para las probetas tipo P1+F1.

Fuente: Elaboración propia usando RStudio.



En la Figura 15 se observa el diagrama de cajas en donde se indica la mediana y cuartiles, estos datos se presenta en el Cuadro N° 43, también se presenta un histograma de los datos, en donde se presenta el peso específico de las probetas P1+F2 agrupadas según la frecuencia, por lo tanto, del total de la muestra de probetas tipo P1+F2 se observa que 8 de las muestras tienen un peso específico en el rango de 20800 N/m<sup>3</sup> a 21000 N/m<sup>3</sup>.

#### 4.10. 4 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F2

Hipótesis:

H0= Los datos provienen de una distribución normal

H1: Los datos no provienen de una distribución normal.

**Cuadro N° 47:** Resultados de prueba de normalidad en el software RStudio.

Prueba de normalidad shapiro.test(mf)	
w	0.93535
p-value	0.94993

Fuente: Elaboración propia mediante el software RStudio.

Según los resultados mostrados en el Cuadro N° 44 se acepta la hipótesis nula, es decir, los datos cumplen con el supuesto de normalidad. Seguido, el intervalo de confianza fue construido a través de la prueba t.test (x).

Ya que la muestra cumple con la condición de normalidad, se construye el intervalo de confianza a través de esta distribución, en este caso, se presentan las hipótesis:

H0: media igual a 0.

H1: media no es igual a 0.

El en Cuadro N° 45 se presentan los resultados de la prueba para intervalo de confianza en donde el intervalo de confianza obtenido es: [17840.09 18393.87], lo que indica el intervalo de la media de la población de probetas tipo P1+F2. Asimismo, se obtiene otros resultados, como la media de la población de: 18116.98 N/m<sup>3</sup>. Se tiene información adicional del valor calculado de t=12.86, los grados de libertad (df=9), gl=n-1 (número de observaciones menos uno), y la probabilidad resultante (p-value =

2.20E-06), en el caso de esta investigación es menor a 0.05, por lo que nuestro resultado es significativo dado la hipótesis por defecto.

Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0, significa solo el planteamiento de nuestra hipótesis alternativa (la media es diferente de cero), esto no es ningún resultado.

**Cuadro N° 48:** Resultados de la prueba t.test para el intervalo de confianza.

<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	
t.test(mf)	
t	148.01
df	9
p-value	2.20E-06
<b>Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0.</b>	
<b>95 percent confidence interval:</b>	
17840.1	18393.9
<b>Samples estimates:</b>	
Media	18117

Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.

Habiendo cumplido con la normalidad y luego de construir el intervalo de confianza, se elaboró una prueba de hipótesis para la media muestral de peso específico, en donde se planteó:

Ho= Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F2 sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>

Ha=Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F2 no sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>.

Los datos de entrada se obtuvieron de la validación de datos de peso específico para las probetas tipo P1+F2. Ver Cuadro N° 20.

**Cuadro N° 49:** Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.

One sample t-test	
t.test(mf,mu=1800,alternative="less",conf.level=0.95)	
t	0.95572
Df	9
Alternative hypothesis: true mean is less than 18000	
95 percent confidence interval-Inf 18341.35	
Sample estimates:	
Mean of x	18116.98

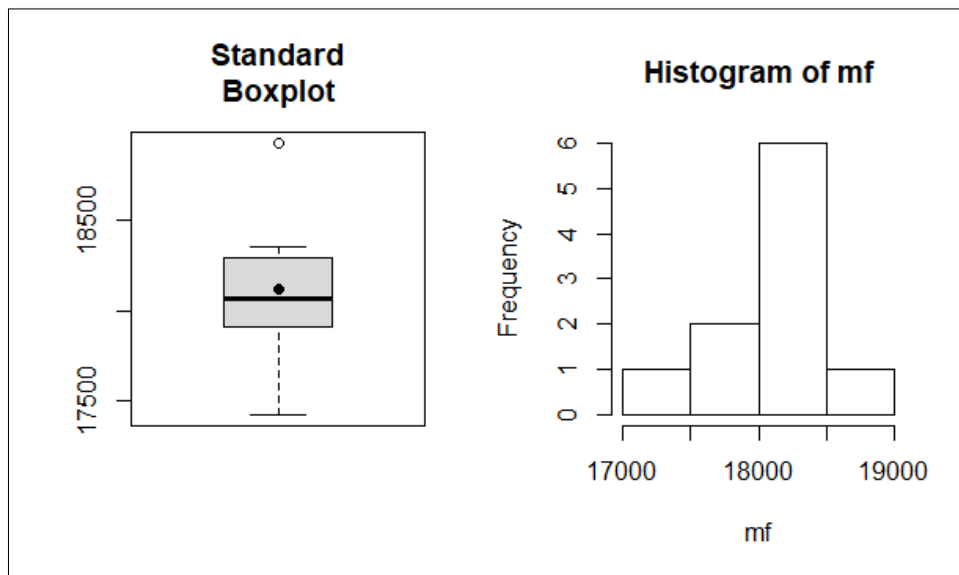
Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.

Del Cuadro N° 46 se obtiene que el peso específico no es menor a 18000 N/m<sup>3</sup>, de manera no significativa (t = 0.955; gl = 9), al 95% de confianza.

**Cuadro N° 50:** Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F2.

Quantiles (mf)				
0%	25%	50%	75%	100%
17422.6	17636.8	18069.2	18272.62	18931.5

Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.



**Figura 16:** Diagrama de cajas e Histograma de los datos de peso específico de las probetas P1+F2.

**Fuente:** Elaboración propia mediante RStudio.

En la Figura 16 se observa el diagrama de cajas en donde se ubica gráficamente la mediana y cuartiles, estos datos se presentan en el Cuadro N° 47. Asimismo, se tiene el histograma de los datos, en donde se presenta el peso específico de las probetas P1+F2 agrupadas según la frecuencia, por lo tanto, del total de la muestra de probetas tipo P1+F2 se observa que 6 de las probetas tienen un peso específico en el rango de 18000N/m<sup>3</sup> a 18500 N/m<sup>3</sup>.

#### 4.10.5 Prueba de hipótesis para peso específico P1+F3

Se realizó nuevamente la prueba de normalidad, teniendo las hipótesis.

H<sub>0</sub>= Los datos provienen de una distribución normal

H<sub>1</sub>: Los datos no provienen de una distribución normal.

**Cuadro N° 51:** Resultados de prueba de normalidad con el uso del software RStudio.

Prueba de normalidad shapiro.test(mf)	
w	0.91634
p-value	0.9732

Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.

Según los resultados mostrados en el Cuadro N° 48 se acepta la hipótesis nula, es decir, los datos cumplen con el supuesto de normalidad. Ya que la muestra cumple con la condición de normalidad, se construye el intervalo de confianza a través de esta distribución, en este caso, se presentan las hipótesis:

H<sub>0</sub>: media igual a 0.

H<sub>1</sub>: media no es igual a 0.

El en Cuadro N° 49 se presentan los resultados de la prueba para intervalo de confianza en donde el intervalo de confianza obtenido es: [16890.45 17319.91], lo que indica el intervalo de la media de la población de probetas tipo P1+F2. La media de la población de: 17105.18 N/m<sup>3</sup>. Se tiene información del valor calculado de t=180.2, los grados de libertad (df=9), gl=n-1 (número de observaciones menos uno), y la probabilidad resultante (p-value = 2.20E-06), en el caso de esta investigación es menor a 0.05, por lo que nuestro resultado es significativo dado la hipótesis por defecto.

Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0, significa solo el planteamiento de nuestra hipótesis alternativa (la media es diferente de cero), esto no es ningún resultado.

**Cuadro N° 52:** Resultados de la prueba para determinar el intervalo de confianza.

<b>INTERVALO DE CONFIANZA</b>	
<b>t.test(mf)</b>	
T	18.02
Df	9
p-value	2.20E-06
Alternative hypothesis: true mean is not equal to 0.	
95 percent confidence interval:	
16890.5	17319.9
Samples estimates:	
Media	17105.2

Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.

Habiendo cumplido con la normalidad y luego de construir el intervalo de confianza, se elaboró una prueba de hipótesis para la media muestral de peso específico, en donde se planteó:

Ho= Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F2 sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>

Ha=Es posible concluir que el peso específico de las probetas tipo P1+F2 no sea menor a 18000 N/m<sup>3</sup>.

Los datos de entrada se obtuvieron de la validación de datos de peso específico para las probetas tipo P1+F2. Ver Cuadro N°21.

**Cuadro N° 53:** Resultados de la prueba de hipótesis unilateral.

<b>One sample t-test</b>	
t.test(mf,mu=180,alternative="less",conf.level=0.95)	
t	9.4267
Df	9
Alternative hypothesis: true mean is less than 18000	
95 percent confidence interval-Inf 16980	
Sample estimates:	

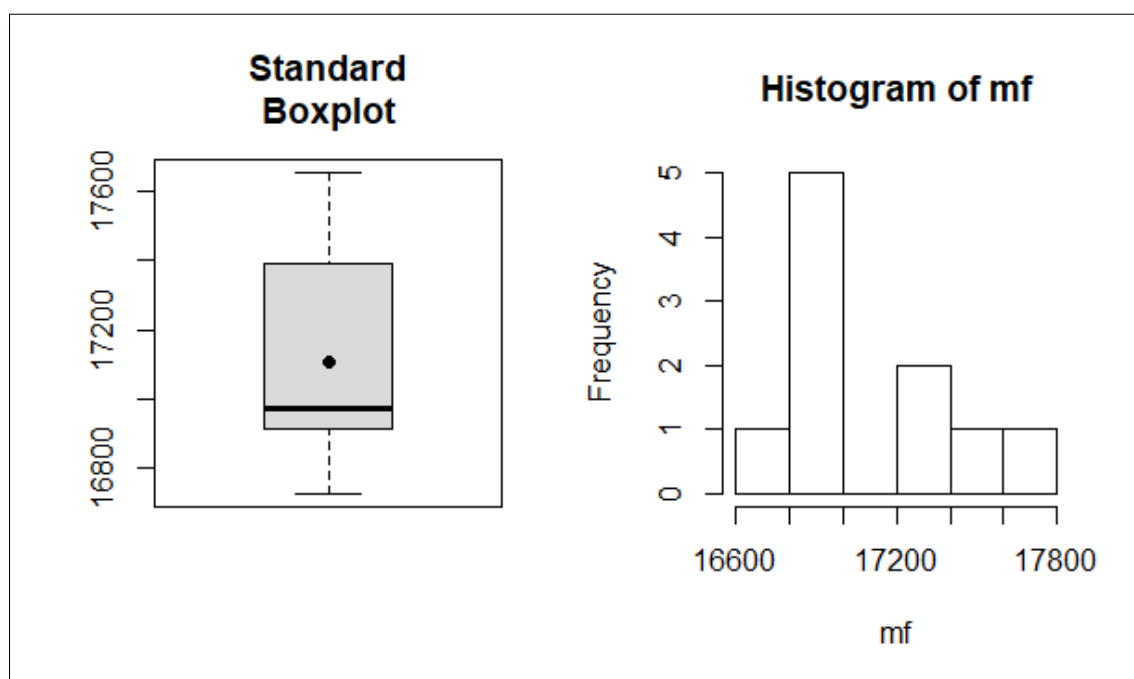
Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.

Del Cuadro N° 50 se obtiene que el peso específico es menor a 18000 N/m<sup>3</sup>, de manera no significativa ( $t = 0.955$ ;  $gl = 9$ ), al 95% de confianza.

**Cuadro N° 54:** Cuartiles de los datos de peso específico de las probetas tipo P1+F3.

Quantiles (mf)				
0%	25%	50%	75%	100%
16728.3	16923.6	16971.55	17341.6	17653.5

Fuente: Elaboración propia mediante RStudio.



**Figura 17:** Diagrama de cajas e histograma de los datos de peso específico para probetas tipo P1+F3

**Fuente:** Elaboración propia mediante RStudio.

En la Figura 17 se observa el diagrama de cajas en donde se ubica gráficamente la mediana y cuartiles, estos datos se presenta en el Cuadro N° 51. Asimismo, se tiene el histograma de los datos, en donde se presenta el peso específico de las probetas P1+F3 agrupadas según la frecuencia, se observa que 5 de las probetas tienen un peso específico en el rango de 16660 N/m<sup>3</sup> a 17000 N/m<sup>3</sup>. De las pruebas de hipótesis, se tiene que el concreto tipo P1+F1 y el P1+F2 no cumplen con el requerimiento de peso específico para concreto ligero, sin embargo el concreto tipo P1+F3 si cumple con este requerimiento; para corroborar estos resultados se tiene la media los tipos de concreto: 20897.54 N/m<sup>3</sup>, 18116.98 N/m<sup>3</sup> y 17105.18 N/m<sup>3</sup>.

## V. CONCLUSIONES

1. Con la incorporación de virutas de madera se logró disminuir su peso hasta lograr concreto ligero, a pesar de que sus propiedades mecánicas disminuyen se mantiene en el rango de concreto ligero no estructural. Con la reducción del peso se reduce también las secciones estructurales y como consecuencia los costos de elementos estructurales de soporte.
2. El peso específico de la viruta de madera mineralizada no sufrió un cambio significativo antes y después de aplicar el tratamiento de mineralización. La humedad en las virutas de madera disminuyó luego de los tratamientos.
3. El peso específico del concreto se redujo al incrementar el porcentaje de adición de virutas de madera. El concreto tipo P1+F1 no cumple con el requerimiento de concreto ligero y su diferencia con este es significativa, el tipo P1+F2 y el tipo P1+F3 si cumplen con el requerimiento de peso específico para concreto ligero de resistencia moderada.
4. El esfuerzo a la compresión disminuyó según el porcentaje de adición de virutas de madera. En los tres tipos de concreto la resistencia a la compresión cumple con el requerimiento para concreto ligero de resistencia moderada, sin embargo el concreto tipo P1+F3 se encuentra cerca al mínimo de requerimiento.
5. La resistencia a la flexión disminuyó de acuerdo al porcentaje de adición, siendo el tipo P1+F3 el tipo de concreto con menor resistencia, seguido por el concreto tipo P1+F2, que tuvo una disminución moderada de la resistencia, el concreto tipo P1+F1 fue el concreto con menor disminución de la resistencia.
6. La resistencia a la tracción por compresión diametral también fue reducida según el porcentaje de adición de virutas de madera. El concreto tipo P1+F1 tuvo una menor reducción de la resistencia, seguido por el tipo P1+F2 con una reducción mayor que la del tipo P1+F1 pero moderada, ya que el concreto tipo P1+F3 fue el que tuvo una menor resistencia a la tracción por compresión diametral.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Ya que dos de los tres tipos de concreto cumplen con la especificación técnica para concreto ligero con resistencia moderada, se recomienda realizar una línea investigación para concreto ligero de resistencia estructural.
3. Para el mejor cuidado de las fibras de madera, se recomienda realizar el secado dentro de un ambiente cerrado, aunque esto sea motivo de extender el tiempo de secado, sin embargo se puede tener mayor control y cuidado de las virutas de madera.
4. Se recomienda que el tipo de probeta P1 + F3, con 90 % de adición de virutas de madera, pueda ser investigado para su posible uso en planchas, ya que el peso específico es notablemente reducido, sin embargo, también fue reducida la trabajabilidad y aumentada en su tiempo de fraguado.
5. Para mejorar la trabajabilidad de las probetas tipo P1+F2 y tipo P1+F3 (con adición de 60 % y 30% de virutas de madera respectivamente) pueda investigarse el uso de aditivos retardantes de fraguado.
6. Se recomienda que si se opta por utilizar el tipo P1+F2 o P1+F3 en contrapisos, se tenga en cuenta la resistencia a la compresión para el material de acabado que podría utilizarse sobre el falso piso.
7. Para futuras investigaciones se recomienda realizar pruebas de durabilidad en los tipos de concreto.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado Valencia, Jorge Andrés y Obagi Araujo, Juan José. 2008. Fundamentos de inferencia estadística, Editorial Pontificia Universidad Javeriana, Primera edición, Bogotá, Colombia. Páginas 151-155.
2. Arriaza, M. s.f. Guía práctica de análisis de datos. España, s.n.t.
3. Banco Mundial, Oficina de Lima, Perú: Unidad de Desarrollo Sostenible Región de América Latina y el Caribe. 2007. Análisis Ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible. Primera edición. P 26-27.
4. Bernal, 2009. El agua del concreto. s.l. s.e
5. Building Research Institute, 1962. Adhesivos en Edificio: Selección y Aplicación de Campo.
6. Chavez, J. s.f, Consistencia del concreto, s.l, s.n.t, 13 p.
7. García, C. 2012. Resistencia a la flexión del concreto. Lima, Perú. s.n.t.
8. George Winter, Arthur H. Nilson. 1986. Proyecto de estructuras de hormigón. Nueva York, USA. Editorial Reverté. Páginas 11 y 30.
9. Harmsen, T. 2005. Diseño de estructuras de concreto armado. Lima, Perú. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. P 11-12
10. Huerta, R. 2004. Flying Concrete. Manual para la construcción con concreto (en línea), consultado 9 sep. 2017. Disponible en [www.geocities.com/flyingconcrete](http://www.geocities.com/flyingconcrete). Séptima edición, Estados Unidos.
11. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto, 2006. El concreto en la obra: Problema, causas y soluciones. Quinta edición. México D.F. Editado por el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto. 6 p.
12. Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2015. Perú: Anuario de estadísticas ambientales. Lima, Perú. S.n.t. Página 80

13. Kosmatka and Panarese, 1988. Design and Control of Concrete Mixtures: Portland Cement Association, Skokie. Washington City, USA. Edición 13.
14. Lafayette, 2017. Fibras sintéticas y naturales, consultado el 10 de febrero del 2018. Disponible en [www.lafayette.com/blog/noticias/fibras-sinteticas-naturales](http://www.lafayette.com/blog/noticias/fibras-sinteticas-naturales). S.e, Colombia.
15. Laura, S. 2006. Diseño de mezcla de concreto. Perú. s.n.t
16. López y Alarcón, 2011. Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas. Revista clínica de periodoncia, implantología y rehabilitación oral. Vol.4, no.3.
17. Ludovico y Ballerini, 2007. Compuesto de residuos de pinus radiata y cemento portland. Revista Madeira Arquitetura & Engenharia, no 18.
18. National Institute of Standards and Technology, 2017. Libro del Web de Química del NIST (en línea) consultado el 9 de setiembre. Disponible en [webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=7778-18-9](http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=7778-18-9). s.e, s.l.
19. National Ready Mixed Corporation, S.f. Pittsburgh, Estados Unidos de América. S.n.t.
20. Monroy Rodríguez, A. 1999. Integración de aserrín en la fabricación de bloques de concreto. Tesis pre grado. Monterrey, México. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Página 9.
21. Norma Técnica Peruana, 2014. Estructuras Norma E.010 Madera, Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. Lima, Perú. S.n.t
22. PCA (Portland Cement Association) 2004. Diseño y control de mezclas de concreto. Illinois, Estados Unidos, s.e. P 103-109
23. Química Suiza Industrial. 2016. Concreto reforzado con fibras: beneficios y ventajas para la construcción (en línea) consultado el 10 sep. 2017. Disponible en [www.constructivo.com](http://www.constructivo.com), s.e, s.l.
24. Ramírez-Alán, O. 2015. Test de hipótesis y pruebas no paramétricas (en línea) consultado el 21 de noviembre de 2018. Disponible en <https://rpubs.com/>. s.e, s.l.

25. Revista Quiminet, 2015. Usos y aplicaciones del silicato de sodio sólido y líquido. Revista Quiminet. Agosto 2015.
26. Sánchez de Guzmán, D. 2001. Tecnología del concreto y mortero. Santafé de Bogotá, Colombia. Bahandar Editores. P 19-20, 57, 59.
27. Sandoval, E. 2011. Guia de tecnología del concreto. Lima, Perú. Fondo editorial de la Universidad César Vallejo. 46 p.
28. Sika, s.f, Concreto reforzado con fibras. s.l, s.n.t. 459 p.
29. Tecnoblock S.A.C, 2010. Paneles en Tecnoblock (en línea) consultado el 17 sep. 2017. Disponible en [www.tecnoblock.pe/blog](http://www.tecnoblock.pe/blog). s.e, s.l.
30. Unicon, s.f. Ficha técnica del concreto liviano. Lima, Perú. s.n.t
31. Zebiano, Raúl. S.f. Evaluación de la resistencia en materiales frágiles. S.l. S.n.t.




## VIII. ANEXOS

**Anexo N° 1:** Pesado de las fibras de madera antes y después de la mineralización.

DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Pesado de la fibra de madera antes de la mineralización	
Pesado de la fibra de madera después de la mineralización	




Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 2:** Catalizadores usadas en la mineralización.

<b>CATALIZADOR</b>	<b>IMAGEN</b>
Cloruro de calcio	
Silicato de sodio	
Sulfato de aluminio	

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 3:** Mineralización en sus tres etapas.

<b>ETAPA DE LA MINERALIZACIÓN</b>	<b>IMAGEN</b>
1. 3 % de cloruro de calcio en relación al volumen de agua.	
2. 10 % de silicato de sodio en relación al volumen.	
3. 20 % de sulfato de aluminio en relación al volumen de agua.	

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 4:** Secado de las fibras de madera dentro del LPYEM.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 5:** Asentamientos recomendados según la construcción.

<b>ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCION</b>		
<i>Tipo de construcción</i>	<i>SLUMP</i>	
	<i>Máximo (pulg)</i>	<i>Mínimo (pulg)</i>
- Zapatas y muros de cimentación reforzada	3"	1"
Zapatas simples, caissons y muros de sub estructura	3"	1"
- Vigas y muros reforzados	4"	1"
- Columnas de edificios	4"	1"
- Pavimentos y losas	3"	1"
- Concreto masivo	2"	1"

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 6:** Relación agua-cemento según la resistencia.

<b>f'c =</b>	<b>RELACION AGUA CEMENTO (en peso)</b>	
	<i>sin aire incorporado</i>	<i>con aire incorporado</i>
<b>Kg/cm2</b>		
140	0.80	0.71
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	requiere otros métodos de estimación

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 7:** Requerimientos de agua de mezclado según el asentamiento y tamaño máximo de agregados.

<b>REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES SLUMP Y TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADOS</b>			
<i>SLUMP (pulg)</i>	<i>AGUA EN Kg/m3 DE CONCRETO</i>		
	<i>1/2"</i>	<i>3/4"</i>	<i>1 1/2"</i>
1/2" a 2"	190	175	160
2" a 3"	215	200	180
3" a 5"	240	215	195

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 8:** Relación en peso agua-cemento según la incorporación de aire.

<b>f'c =</b>	<b>RELACION AGUA CEMENTO (en peso)</b>	
	<i>sin aire incorporado</i>	<i>con aire incorporado</i>
<b>Kg/cm2</b>		
140	0.80	0.71
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	requiere otros métodos de estimación

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 9:** Volumen de agregado grueso seco compacto por unidad de volumen de concreto.

<b>VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (en m3)</b>				
<b>Tamaño Máximo del Agregado (pulg)</b>	<b>Módulo de Fineza de la Arena</b>			
	<b>2.40</b>	<b>2.60</b>	<b>2.80</b>	<b>3.00</b>
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 10:** Estimación del peso del concreto en Kg/m3.

<b>ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO EN KG/M3</b>		
<b>Tamaño máximo del Agregado (pulg)</b>	<b>Peso del concreto en Kg/m3</b>	
	<b>Concreto sin aire Incorporado</b>	<b>Concreto con aire Incorporado</b>
1/2"	2315	2235
3/4"	2355	2280
1"	2375	2315
1 1/2"	2420	2355

Fuente: Norma ACI 2011.11

**Anexo N° 11:** Mezcla de áridos para el asentamiento.



Fuente: Elaboración propia.



**Anexo N° 12:** Procedimiento normados para la granulometría del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 13:** Procedimientos normados para la granulometría del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 14:** Probeta P1+F1 en ensayo de compresión.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 15:** Falla en la probeta tipo P1+F1.



Fuente: Elaboración propia

**Anexo N° 16:** Falla en la probeta tipo P1+F2.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 17:** Ensayo a la compresión de probeta tipo P1+F3.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 18:** Probetas luego del ensayo a la resistencia a la compresión.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 19:** Ensayo a la flexión del concreto tipo P1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 20:** Falla en la muestra tipo P1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 21:** Ensayo a la flexión del concreto tipo P1+F1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 22:** Falla de la muestra del concreto tipo P1+F1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 23:** Ensayo a la flexión del concreto tipo P1+F2.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 24:** Falla de la muestra del concreto tipo P1+F2.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 25:** Falla del concreto tipo P1+F3 a la flexión.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 26:** Ensayo de tracción por compresión diametral en probetas tipo P1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 27: Rotura de probeta tipo P1.**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 28: Muestra ensayada a la tracción por compresión diametral.**



Fuente: Elaboración propia.



**Anexo N° 29:** Ensayo de tracción por compresión diametral a probetas tipo P1+F1.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 30:** Muestra P1+F1 ensayada a la tracción por compresión diametral.



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 31: Rotura de probeta tipo P1+F2 a la tracción por compresión diametral.**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 32: Rotura de probeta tipo P1+F3 ensayada a la tracción por compresión diametral.**



Fuente: Elaboración propia.

**Anexo N° 33:** Cambio de color de acuerdo a la adición de virutas de madera al concreto.



Fuente: Elaboración propia.