



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Influencia del uso de residuo de concha de abanico como
reemplazo de agregado en la porosidad del concreto**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

María Ximena Cueva Sánchez

Asesor:
Mgtr. Shirley Carrillo Siancas

Piura, octubre de 2019



*A Dios, por mostrarme siempre el camino;
a mis padres, Gerardo y Luzmila, que me enseñaron a mirar
el cielo con los pies en la tierra;
y a mi hermana, Fiorella, a quien admiro por ser un ejemplo de dedicación.*



Resumen Analítico-Informativo

Título de tesis: Influencia del uso de residuo de concha de abanico como reemplazo de agregado en la porosidad del concreto.

Autor de la tesis: María Ximena Cueva Sánchez.

Asesor de la tesis: Mgtr. Shirley Carrillo Siancas.

Tipo de tesis: Tesis.

Título que opta: Ingeniero Civil.

Institución. Facultad: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Fecha de sustentación: Piura, octubre de 2019

Palabras claves: Concreto / porosidad / durabilidad / absorción / residuo de concha de abánico / reciclado / adición.

Introducción: La presente investigación busca evaluar el efecto que tiene el residuo de concha de abanico triturada en la porosidad del concreto. El plan experimental consiste en la elaboración de una mezcla de concreto, la cual se le reemplazó parcialmente el agregado fino (5%, 20%, 40% y 60%) por residuo de concha de abanico triturada entre los tamaños 4.76 mm y 1.19 mm, todos con una relación agua/cemento de 0.45 y un slump de 4", con el objetivo de mantener las condiciones de trabajabilidad y asegurar que el residuo de concha de abanico no absorba, ni ceda agua a la mezcla. De dichas mezclas se estudió la porosidad del concreto en estado endurecido, además de otras propiedades como: La trabajabilidad, el peso unitario y el contenido de aire en estado fresco del concreto; además de la resistencia a la compresión.

Metodología: La investigación a desarrollar se realizará siguiendo las etapas que a continuación se detallan: Búsqueda bibliográfica, Identificación de materiales, Plan de ensayo, Análisis de resultados, Informe final y la presentación de resultados.

Resultados: Los resultados muestran que el uso de residuo de concha de abanico triturada genera un comportamiento diferente en el concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido; sus propiedades se ven afectadas de manera que su calidad como material constructivo también será cuestionada.

Conclusiones: Sin embargo, se encontró que para un reemplazo de 60%, los valores de trabajabilidad no varían significativamente, la resistencia a la compresión no se ve afectada y el porcentaje de vacíos disminuye, ocasionado que la porosidad disminuya a medida que el porcentaje de reemplazo aumente.

Fecha de elaboración del resumen: 01 de octubre de 2019

Analytical-Informative Summary

Thesis Title: Waiver of collection of further general variable expenses of the public works contract.

Thesis author: María Ximena Cueva Sánchez.

Thesis advisor: Mgtr. Shirley Carrillo Siancas.

Thesis type: Thesis

Degree to Gain: Civil Engineer.

Institution. School: Universidad de Piura. Engineer School.

Thesis defense Date: Piura, October 2019

Keywords: Concrete / porosity / durability / absorption / fan shell residue / recycling / addition.

Introduction: The present research seeks to evaluate the effect that crushed fan shell residue has on the concrete's porosity. The experimental plan consists in the elaboration of a concrete mixture, where fine aggregate was partially replaced (5%, 20%, 40% and 60%) with crushed fan shell residue between sizes 4.76 mm and 1.19 mm, all with a water/cement ratio of 0.45 and a slump of 4", in order to maintain the conditions of workability and ensure that the fan shell residue does not absorb, or yield water to the concrete mixture. From these mixtures, the hardened concrete's porosity was studied, in addition to other properties such as workability, unit weight and fresh air content; as well compressive strength.

Methodology: The present research will be carried out by following the steps that are detailed below bibliographic search, Materials identification, Test plan, Analysis of results, Final report and presentation of results.

Results: The results show that the use of crushed fan shell residue generates a different behavior in concrete, both in the fresh and hardened state; its properties are affected so that its quality as a constructive material will also be questioned.

Conclusions: However, it was found that for a 60% replacement, the workability values do not differ significantly, the compressive strength is not affected and the percentage of voids decreases, causing the porosity to decrease as the replacement percentage increases.

Summary date: October 01th, 2019

Prólogo

En los últimos años, el hombre se ha preocupado más por el medio ambiente debido a su constante deterioro, tratando así de buscar soluciones para reducir este impacto negativo. En el ámbito de la construcción se trata de innovar en procedimientos y materiales para mitigar en lo posible las acciones que afecten nuestro medio.

Uno de los problemas ha sido el incremento de la acuicultura que existe en varios países, ocasionando una serie de desechos de conchas de moluscos. En Piura, siendo la región de Sechura uno de los principales productores de concha de abanico, se han realizado un conjunto de investigaciones sobre la reutilización de dichos elementos como reemplazo de agregados en la elaboración de concreto.

Esta investigación busca complementar el artículo “Evaluación experimental del uso de conchas de abanico como reemplazo de agregados pétreos en concreto hidráulico con cemento Portland” (Varhen et al., 2016). La tesis desarrolla un marco de trabajo que evalúa la porosidad (densidad, absorción y porcentaje de poros) del concreto utilizando residuo de concha, y adicionalmente sus propiedades en estado fresco (slump, temperatura, contenido de aire y peso unitario) y en estado endurecido (resistencia a la compresión).

Finalmente, deseo expresar mi sincero agradecimiento al Fondecyt y a la Universidad de Piura quienes financiaron el proyecto; a mi asesora Mgtr. Shirley Carrillo por su especial orientación en la elaboración de la tesis; y al Téc. Francisco Castro por su apoyo, de manera técnica, en la parte práctica de la investigación.



Tabla de contenido

Introducción	1
Capítulo 1	3
Marco teórico	3
1. Generalidades del concreto.....	3
1.1. Componentes del concreto.....	4
1.1.1. <i>Cemento Portland</i>	4
1.1.2. <i>Agregados</i>	7
2. Porosidad en el concreto.....	13
2.1. Tipos de porosidad que se encuentran en el concreto.....	14
2.1.1. <i>Porosidad de la pasta de cemento (Rivva, 2000)</i>	14
2.1.2. <i>Porosidad de los agregados (Rivva, 2000)</i>	16
2.1.3. <i>Porosidad en interfase pasta – agregado: ITZ (Bravo et al., 2014)</i>	17
2.2. Absorción del concreto.....	19
2.3. Influencia en las propiedades del concreto.....	19
2.3.1. <i>Efectos de la porosidad en la resistencia a compresión del concreto</i>	19
2.3.2. <i>Efectos de la porosidad en la durabilidad del concreto</i>	26
Capítulo 2	27
Metodología experimental	27
1. Caracterización de materiales	27
1.1. Cemento Portland Tipo MS.....	27
1.2. Agregado grueso.....	28
1.3. Agregado fino.....	32
1.4. Residuo de concha de abanico triturada.....	35
1.4.1. <i>Propiedades de la concha de abanico triturada (1.19 mm – 4.75 mm)</i>	37
2. Propiedades a evaluar del concreto	40
2.1. Propiedades del concreto fresco	40
2.1.1. <i>Slump (NTP 339.035, 2009)</i>	40
2.1.2. <i>Temperatura (NTP 339.184)</i>	41

2.1.3. <i>Peso unitario (NTP 339.046)</i>	42
2.1.4. <i>Contenido de aire (NTP 339.083)</i>	42
2.2. Propiedades del concreto endurecido	42
2.2.1. <i>Resistencia a la compresión (NTP 339.034)</i>	42
2.2.2. <i>Capacidad de absorción (NTP 339.187)</i>	43
3. Diseños de mezcla	45
3.1. Parámetros de diseño	45
4. Elaboración de muestras	47
Capítulo 3	49
Interpretación de resultados	49
1. Agregado fino	49
1.1. Cambio en granulometría y parámetros	49
2. Resultados del concreto fresco	53
2.1. Temperatura del concreto (NTP 339.184, 2013)	53
2.2. Peso Unitario (NTP 339.046, 2008)	54
2.3. Contenido de aire (NTP 339.083, 2003)	57
2.4. Slump (NTP 339.045, 2011)	58
3. Resultados del concreto endurecido	58
3.1. Capacidad de absorción (NTP 339.187, 2013)	59
3.2. Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	60
3.2.1. <i>Tipo de falla</i>	64
Conclusiones	67
Recomendaciones	69
Referencias Bibliográficas	71
Anexo A	77
Anexo B	85

Lista de tablas

Tabla 1. Composición química del cemento	4
Tabla 2. Influencia de los compuestos en las propiedades del cemento.....	5
Tabla 3. Cementos Portland Tradicionales y sus aplicaciones	6
Tabla 4. Tamaño de tamices utilizados para el análisis de agregados	8
Tabla 5. Composición química del Cemento Portland Tipo MS.....	28
Tabla 6. Caracterización del agregado grueso	32
Tabla 7. Caracterización del agregado fino	33
Tabla 8. Caracterización de la concha de abanico	37
Tabla 9. Tipos de concreto según su consistencia	41
Tabla 10. La calidad de un concreto por absorción	43
Tabla 11. La calidad de un concreto por porosidad.....	44
Tabla 12. Propiedades de los agregados	46
Tabla 13. Slump máximo y mínimo según el ACI.....	46
Tabla 14. Diseño de mezcla en peso en estado Saturado Superficie Seca	47
Tabla 15. Valores de reemplazo en peso del agregado fino usados en la presente investigación	49
Tabla 16. Granulometría del agregado fino y su combinación con el RCA triturada	51
Tabla 17. Rendimiento y factor de rendimiento real del concreto fresco.....	56
Tabla 18. Cantidades reales en stock por metro cúbico de concreto	56
Tabla 19. Resultados promedio del ensayo de absorción	60
Tabla 20. Promedio de resistencias a la compresión de cada diseño de mezcla de concreto	60



Lista de figuras

Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de concreto	3
Figura 2. Condiciones de humedad de los agregados	11
Figura 3. Rango dimensional de sólidos y de poros en una pasta de cemento hidratada.....	16
Figura 4. Representación gráfica de la zona de transición y de la pasta de cemento masiva del concreto	18
Figura 5. Curvas esfuerzo – deformación de la falla por agrietamiento de la matriz y agregados	21
Figura 6. Curvas esfuerzo – deformación del concreto y sus componentes.....	22
Figura 7. Fisuración interna en el concreto sometido a esfuerzos.....	22
Figura 8. Contenido de aire vs. Reducción de la Resistencia en el concreto	24
Figura 9. Forma típica de falla del concreto a compresión	25
Figura 10. Tipos de falla presentes en el ensayo de compresión.....	25
Figura 11. Ubicación de Cantera Sojo.....	29
Figura 12. Agregado grueso de la cantera Sojo.....	30
Figura 13. Curva granulométrica del agregado grueso	31
Figura 14. Ubicación de la Cantera Chulucanas	32
Figura 15. Agregado fino de la cantera Chulucanas.....	33
Figura 16. Curva granulométrica del agregado fino.....	34
Figura 17. Estructura externa de la concha de abanico	35
Figura 18. Ubicación de los botaderos de Sechura donde se almacena las valvas de las conchas de abanico	36
Figura 19. Concha de abanico triturada.....	37
Figura 20. Curva granulométrica del residuo de concha de abanico triturada	39
Figura 21. Mini-probetas y probetas cilíndricas elaboradas en el LEMC.....	44
Figura 22. Curva granulométrica global del agregado fino y su variación al combinarse con el RCA	52
Figura 23. Temperatura real y teórica del concreto según el porcentaje de reemplazo	53
Figura 24. Peso unitario de la mezcla de concreto según el porcentaje de reemplazo.....	55
Figura 25. Contenido de aire presente en el concreto según el porcentaje de reemplazo	57
Figura 26. Asentamiento de la mezcla de concreto según el porcentaje de reemplazo.....	58
Figura 27. Resistencia a la compresión del concreto según el porcentaje de reemplazo	61
Figura 28. Porcentaje de absorción vs. resistencia a la compresión.....	62
Figura 29. Porcentaje de absorción máx. vs. resistencia a la compresión.....	63
Figura 30. Porcentaje de poros permeables vs. Resistencia a la compresión.....	63
Figura 31. Patrones de falla de las probetas cilíndricas para 0% y 5% de reemplazo.....	64
Figura 32. Patrones de falla de las probetas cilíndricas para 20%, 40% y 60% de reemplazo	65



Introducción

El incremento de la acuicultura de conchas de abanico en nuestra región ha ocasionado que anualmente se acumule cerca de 100 mil toneladas de residuos de dichos moluscos (El Tiempo, 2014), generando un impacto negativo en el medio ambiente debido a la disposición de los desechos en lugares no apropiados. Por esta razón, con el objetivo de promover un desarrollo sostenible y generar un beneficio para la industria, se busca aprovechar este recurso no renovable en la Ingeniería Civil como material de construcción.

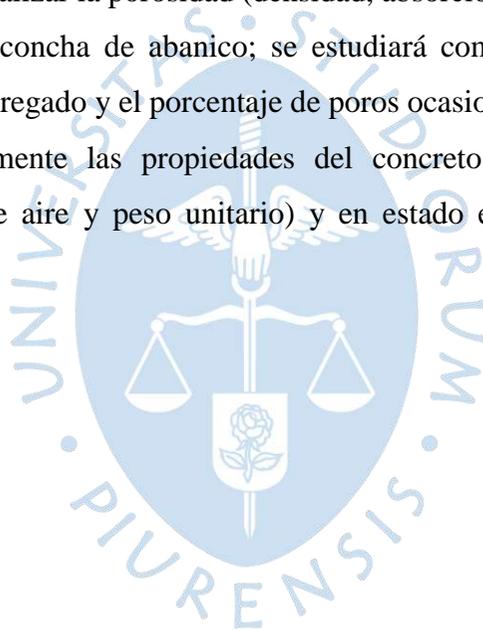
Alrededor del mundo se han venido realizando diversos estudios sobre la utilización de residuos de conchas de moluscos como reemplazo de agregados pétreos en el concreto (Yang et al., 2005, 2009; Richardson et al., 2012; Nguyen et al., 2013; Kuo et al., 2013; Nizama, 2015; Varhen et al., 2016). Dichos estudios han determinado que es factible la incorporación de estos residuos en el concreto, con algún efecto sobre las propiedades en estado fresco y en su resistencia a la compresión.

Hasta hace muy poco tiempo, se tenía la premisa de que un concreto más resistente significaba un concreto durable. Pero ahora, con el desarrollo en la tecnología del cemento y del concreto, se ha encontrado que muchas estructuras construidas con concretos de alta resistencia se han deteriorado mucho antes de cumplir su vida útil esperada. Todo ello ha llevado a considerar, explícitamente en la etapa del diseño, todos los aspectos que pueden afectar ambas propiedades.

Un aspecto importante en la estructura del concreto reside en la porosidad o sistema de vacíos. La porosidad es uno de los factores principales que influyen en la resistencia y durabilidad del concreto: mientras más poroso sea el concreto menor es su resistencia mecánica y tendrá mayor vulnerabilidad ante la agresividad del medioambiente (Mehta y Monteiro, 1998). El concreto, siendo un material compuesto por una fase constituida por productos sólidos de hidratación del cemento y otra fase de partículas pétreas, su porosidad, como la mayoría de las propiedades del material, depende de la porosidad de ambas fases.

Teniendo en cuenta que el agregado representa aproximadamente el 75% del volumen del concreto, es claro que la calidad, distribución, forma y tamaño del agregado utilizado son factores que podrían influir en la porosidad del concreto, ya que un mal empaquetamiento de las partículas contribuye en la formación de vacíos ocasionando un mal desempeño del concreto.

Tomando en cuenta los estudios mencionados, surgió la idea de analizar el efecto del uso de residuo de concha de abanico triturada en la porosidad del concreto. Por lo tanto, la presente tesis, pretende analizar la porosidad (densidad, absorción y porcentaje de poros) del concreto con residuo de concha de abanico; se estudiará como variará la porosidad del concreto, porosidad del agregado y el porcentaje de poros ocasionado por el entrelazamiento de partículas. Adicionalmente las propiedades del concreto en estado fresco (slump, temperatura, contenido de aire y peso unitario) y en estado endurecido (resistencia a la compresión).



Capítulo 1

Marco teórico

1. Generalidades del concreto

El concepto básico sobre el concreto, indica que es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas con el objetivo de resistir esfuerzos mecánicos y de ser durable a las acciones agresivas del medio ambiente.

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, formando un material heterogéneo. Usualmente se adicionan ciertas sustancias denominadas aditivos, los cuales mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

En la Figura 1 podemos observar las proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.

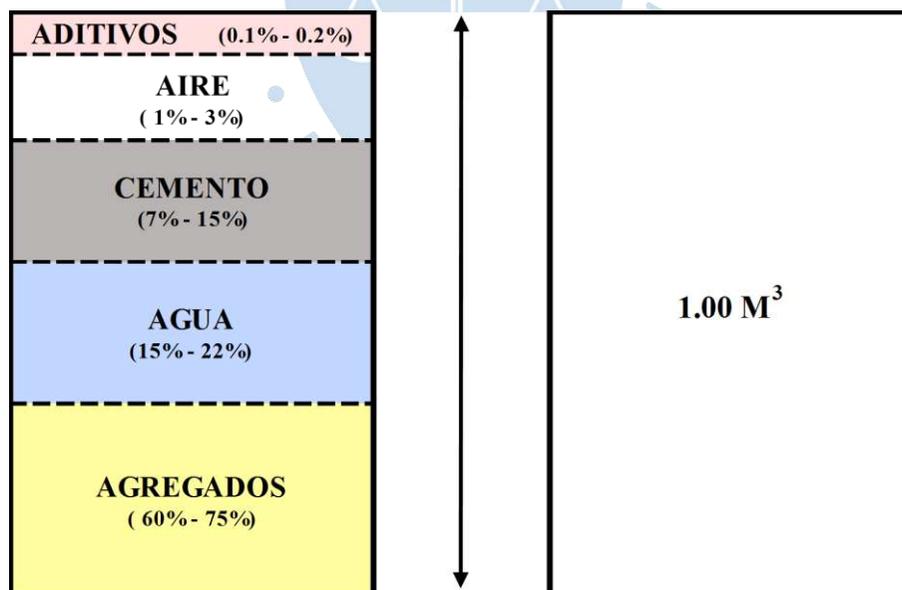


Figura 1. Proporciones típicas en volumen absoluto de concreto

Fuente: Elaboración propia

La trabajabilidad es la principal propiedad del concreto en estado fresco, que según 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 sin que pierda su homogeneidad”. Según Alexander y Mindess (2010), la trabajabilidad del concreto se encuentra fuertemente ligada a la granulometría, forma y textura de los agregados; así como a su tamaño máximo nominal y contenido fino en ellos.

1.1. Componentes del concreto

1.1.1. Cemento Portland. Es un ligante hidráulico, patentado por J. Aspdin en 1824, que se obtiene a partir de un producto denominado “Clinker”, el cual se produce por calentamiento incipiente, generalmente en hornos giratorios levemente inclinados, de una mezcla de materias primas finamente molidas formadas por piedra caliza y arcilla.

Posteriormente, el Clinker se somete a un proceso de molienda adicionándole aproximadamente 5% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004). En la Tabla 1 se muestra la composición química típica del cemento.

Tabla 1. Composición química del cemento

Designación	Fórmula	Porcentaje (%)
Silicato dicálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	15 – 30
Silicato tricálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	50 – 70
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	5 – 15
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	5 – 15
Sulfato de calcio dihidratado	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5

Fuente: Concreto y otros materiales para la construcción. (2003)

En la Tabla 2 se puede observar cómo influyen los compuestos químicos en las propiedades del cemento.

El silicato tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, y desarrollando un alto calor de hidratación. Concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de este componente presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo.

El silicato dicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación, desarrollo de calor bajo y dada su lenta velocidad de endurecimiento, su contribución a las resistencias iniciales es muy pequeña, pero eleva la resistencia a la compresión a largo plazo. Concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de este componente presentan una mayor resistencia al ataque de sulfatos.

El aluminato tricálcico contribuye en la resistencia durante las primeras horas, ocurriendo su fraguado a una velocidad de hidratación muy alta, hasta el punto de ser casi instantáneo, es por esta razón que su adición al cemento se hace necesaria para controlar esta velocidad de hidratación.

Y el ferroaluminato tetracálcico presenta una alta estabilidad química, reduciéndose la temperatura de formación del clinker. Concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de este componente tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

Tabla 2. Influencia de los compuestos en las propiedades del cemento

Designación	Velocidad de Hidratación	Calor de Hidratación	Desarrollo de resistencia
Silicato tricálcico	Rápida	Alto (120 cal/g)	Rápido y prolongado
Silicato dicálcico	Lenta	Bajo (62 cal/g)	Lento y muy prolongado
Aluminato tricálcico	Muy rápida	Muy alto (207 cal/g)	Muy rápido y de corta duración
Ferroaluminato tetracálcico	Rápida	Moderado (100 cal/g)	Lento y poco significativo

Fuente: Alexander y Mindess (2010)

a. Tipos de Cemento Portland. Los tipos de cementos Portland son: Cementos Portland y Cementos Portland Adicionados.

Los cementos Portland normales o tradicionales deben cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTP 334.009 (2013). Hay cinco tipos de cemento Portland tradicionales los cuales se muestran en la Tabla 3, especificando sus aplicaciones.

Tabla 3. Cementos Portland Tradicionales y sus aplicaciones

Tipo	Aplicación
Tipo I	De uso general
Tipo II	De uso general, específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos
Tipo II (MH)	De uso general, específicamente cuando se desea moderado calor de hidratación
Tipo III	Cuando se requiere alta resistencia inicial
Tipo IV	Cuando se desea bajo calor de hidratación
Tipo V	Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos

Fuente: Cátedra de Concreto Descentralizada. (2016)

Por otro lado, los cementos Portland Adicionados provienen de la mezcla del cemento Portland con otros materiales denominados, a este efecto, como adiciones o materiales cementosos que son: las puzolanas, la escoria de alto horno, y el filler calizo. El contenido de adiciones está limitado por las especificaciones correspondientes de la norma técnica peruana NTP 334.090 (2015).

La incorporación de adiciones, en específico, contribuye a mejorar las propiedades del cemento; pero, también tiene una función ecológica al reducir los requerimientos de combustibles fósiles y disminuir las emisiones al medio ambiente durante la fabricación del cemento.

Entre ellos tenemos:

- Tipo IP : Cemento Puzolánico (15% - 40%)
- Tipo IPM : Cemento Puzolánico Modificado (menos de 15%)

Tipo IS	:	Cemento de Escoria (25% - 70%)
Tipo ICo	:	Cemento Compuesto (materias calizas y/o inertes - máximo de 30%)
Tipo IL	:	Cemento Calizo
Tipo IT	:	Cemento Ternario (dos adiciones)

1.1.2. Agregados. Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan un volumen muy importante. En el caso del concreto hidráulico, los agregados conforman entre un 60 a 75% del volumen total. Son materiales granulares, mayormente provenientes de roca natural, roca chancada o grava natural y arena.

a. Clasificación (NTP 400.011, 2008). Por lo general, los agregados utilizados no son clasificados por su composición mineralógica, sino por la forma y textura de la partícula, su peso específico y por su composición granulométrica. Con estas clasificaciones se pueden dividir:

✓ **Composición granulométrica:**

- Fracción fina – tamaño de partícula entre 0.074mm (#200) y 0.002mm
- Agregado fino – tamaño de partícula entre 4.75mm (#4) y 0.074 (#200)
- Agregado grueso – tamaño de partícula mayor a 4.76mm (#4)

✓ **Peso específico:**

- Livianos
- Pesados

✓ **Forma:**

- Redondeado
- Irregular
- Laminar
- Anguloso
- Alargado

✓ **Textura:**

- Vidrioso
- Liso
- Granuloso
- Rugoso
- Cristalino
- Panal de abeja

b. Propiedades requeridas para el diseño de mezclas. Con la finalidad de ser capaz de diseñar mezclas de concreto apropiadas y lograr que éste sea trabajable, es necesario conocer las siguientes propiedades de los agregados:

i. Granulometría. La granulometría o gradación se refiere al porcentaje o distribución del tamaño de las partículas en una masa de agregado. En la tabla 4 se puede ver el tamaño de tamices estándar.

Los resultados de dicho análisis se grafican mediante una curva granulométrica, donde según los límites de gradación definidos por la norma técnica peruana NTP 400.037 se puede observar si es recomendable usar el agregado para la elaboración de concreto; dicho margen se denomina huso granulométrico.

Tabla 4. Tamaño de tamices utilizados para el análisis de agregados

	Designación del tamiz estándar	Tamaño máximo de la apertura del tamiz	
		mm	In
AGREGADO GRUESO	3 pulgadas	75	3
	2 ½ pulgadas	63	2.5
	2 pulgadas	50	2
	1 ½ pulgadas	37.5	1.5
	1 pulgada	25	1
	¾ pulgada	19	0.75
	½ pulgada	12.5	0.5
	3/8 pulgada	9.5	0.375

	Designación del tamiz estándar	Tamaño máximo de la apertura del tamiz	
		mm	In
AGREGADO FINO	No 4	4.75	0.187
	No 8	2.36	0.0937
	No 16	1.18	0.0469
	No 30	0.6	0.0234
	No 50	0.3	0.0124
	No 100	0.15	0.0059
	No 200	0.075	0.0029

Fuente: NTP 400.037 (2014)

De un análisis granulométrico también se puede obtener el tamaño máximo, tamaño máximo nominal, y módulo de fineza.

▪ **Tamaño Máximo.** Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso, es decir, la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

▪ **Tamaño Máximo Nominal.** Corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido, es decir, el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de agregado.

▪ **Módulo de Fineza (MF).** El módulo de fineza permite estimar el grosor o finura de un material. Este factor se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada: #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8", 3/4", 1 1/2" y mayores; y dividido entre 100.

ii. Densidad del agregado. La densidad se refiere a la relación existente entre la masa y el volumen que ocupa el material, dicha propiedad depende directamente de la roca original de donde proviene el agregado. Sin embargo, en el caso de los agregados es necesario conocer los distintos tipos de densidad, puesto que entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna.

iii. Densidad Relativa (Densidad absoluta, Gravedad específica o Peso específico). Equivale a la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se puede determinar en la condición seca al horno, no contienen ninguna agua absorbida ni tampoco agua libre; o saturada con superficie seca, cuyos poros de cada partícula de agregado están llenos de agua, pero no hay exceso de agua en la superficie de las partículas.

Los valores son adimensionales y se usa en el diseño de mezcla para estimar los volúmenes ocupados por el agregado.

iv. Peso Unitario. El peso unitario mide el volumen que el agregado ocupará dentro del concreto, definido como la relación entre la masa de una muestra y el volumen del recipiente que ocupa, incluyendo las partículas sólidas y los espacios vacíos que quedan entre ellas. Existen dos tipos de peso unitario:

✓ **Peso unitario compactado.** También llamado peso unitario varillado, se define como el peso del material compactado dividido entre el volumen que ocupa.

✓ **Peso unitario suelto.** Relación entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

v. Capacidad de absorción y porcentaje de humedad. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y poros que se encuentran interconectados y abiertos a la superficie. Estos poros pueden o no contener agua, por lo que el contenido de humedad se define como, el agua que posee el agregado en un determinado momento y se expresa en forma de porcentaje con respecto al peso de la muestra en estado seco al horno.

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 2 y se las puede definir como:

▪ **Seco al horno (OD).** Estado en el que se logra que toda la humedad del agregado sea removida, se realiza mediante un secado al horno a 105°C hasta obtener un peso constante, y así verificar que todos los poros conectados a la superficie están vacíos.

▪ **Seco al aire (AD).** El agregado se ha dejado secar al medio ambiente, logrando que la humedad sea removida totalmente de la superficie, pero los poros están parcialmente llenos de agua.

▪ **Saturada superficie seca (SSD).** Todos los poros del agregado se encuentran llenos de agua, pero su superficie se mantiene seca. Estado ideal para la mezcla de concreto, no aporta ni absorbe agua.

▪ **Húmedo.** Los poros están totalmente llenos de agua e incluso la superficie del agregado se encuentra húmeda.

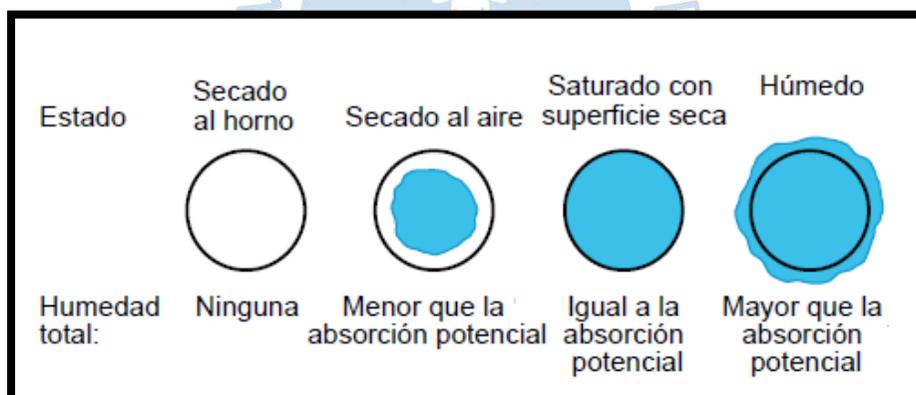


Figura 2. Condiciones de humedad de los agregados

Fuente: Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004

Con el objetivo de calcular la cantidad de agua que el agregado puede añadir a la mezcla o absorber de la pasta de cemento y agua, es importante definir los siguientes tres conceptos:

✓ **Capacidad de absorción.** Representa la máxima cantidad de agua que el agregado es capaz de absorber. Es calculada mediante la Ecuación 1.

$$AC = \frac{W_{SSD} - W_{OD}}{W_{OD}} \times 100 \%$$

.....Ecuación 1

W_{SSD} : Peso del agregado en condición saturado superficie seca

W_{OD} : Peso del agregado en condición seco al horno

✓ **Absorción efectiva.** Equivale al agua necesaria para llevar al agregado desde su condición AD hasta su condición SSD. Dependiendo de la condición de referencias, es calculado mediante las Ecuaciones 2 y 3.

$$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{SSD}} \times 100 \%$$

..... Ecuación 2

W_{AD} : Peso del agregado en condición seco al aire

$$EA = \frac{W_{SSD} - W_{AD}}{W_{OD}} \times 100 \%$$

..... Ecuación 3

✓ **Humedad superficial.** Es la cantidad de agua que se añade a la mezcla de concreto cuando los agregados se encuentran en una condición de humedad mayor a su condición SSD. Es expresada mediante las Ecuaciones 4 y 5 dependiendo del sistema de referencia:

$$SM = \frac{W_{MOJADO} - W_{SSD}}{W_{SSD}} \times 100 \%$$

..... Ecuación 4

$$SM = \frac{W_{\text{MOJADO}} - W_{\text{SSD}}}{W_{\text{OD}}} \times 100 \%$$

..... Ecuación 5

Es importante tener presente estos conceptos, ya que, si el agregado es capaz de absorber agua, disminuirá la relación agua/cemento efectiva y, por el contrario, si tiene agua presente en su superficie, la relación agua/cemento aumentará. Esto afectará al concreto, en el primer caso perderá trabajabilidad y en el segundo disminuirá su resistencia.

2. Porosidad en el concreto. En el proceso de mezclado, una cierta cantidad de aire se mezcla en el concreto. El agua y el aire toman espacio dentro del concreto aún en la etapa de fraguado. El agua, al ocupar espacio y después de evaporarse, deja millones de vacíos entrecruzados en todas direcciones. A esto se le denomina porosidad.

Por lo tanto, la porosidad es una medida de la proporción del volumen total del concreto ocupado por poros o espacios vacíos, y se acostumbra expresar en porcentaje. Por otro lado, existe la permeabilidad en el concreto que se refiere a la cantidad de migración de agua u otras sustancias líquidas por los poros del material en un determinado tiempo.

La existencia de poros de diferentes clases hace que algunos contribuyen a la permeabilidad y otros no, es importante distinguir entre estas ambas propiedades. Si la porosidad es alta, y los poros están interconectados, éstos contribuyen al transporte de los fluidos a través del concreto, de manera que su permeabilidad también es alta. Caso contrario, si los poros son discontinuos o inefectivos con respecto al transporte del fluido, entonces la permeabilidad del concreto es baja, aún si su porosidad es alta.

2.1. Tipos de porosidad que se encuentran en el concreto

2.1.1. Porosidad de la pasta de cemento (Rivva, 2000). La pasta de cemento endurecida es una estructura rígida que proviene de la mezcla de cemento más agua. Los productos de la reacción se presentan como masas densas de porosidad característica, que son compuestos por partículas de cemento sin hidratar, embebidas en una matriz continua de “gel de cemento”, conformada por poros de gel y poros capilares, ocupados por agua.

Los poros presentes en la pasta de cemento se clasifican en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño, promedio o ubicación.

✓ **Poros gel.** Durante el proceso de formación del gel, dentro de éste, quedan atrapados un conjunto de vacíos a los cuales se les conoce como poros gel. Estos poros se presentan en el “gel de cemento” independientemente de la relación agua/cemento y el grado de hidratación de la pasta. Entre las características de los poros gel, están:

- Su dimensión es del orden 0.0000018 mm equivalente al de las moléculas de agua.
- Ocupan aproximadamente el 28% del volumen total del gel.
- El volumen total de poros gel se incrementa con el gel conforme progresa la hidratación.

La capacidad con que los poros gel pueden retener agua está inversamente relacionada a su tamaño, el agua presente en los poros está firmemente adherida, de manera que no puede evaporarse bajo condiciones de secado. Estos poros no están interconectados. Asimismo, debido a su pequeño diámetro el agua no congela en ellos, esto se debe a que no hay espacio suficiente para que se pueda producir la nuclearización del hielo.

✓ **Poros capilares.** Son los espacios que no fueron ocupados por el gel en el proceso de hidratación del cemento, por lo tanto, fueron ocupados originalmente por el agua en el

concreto fresco. Los poros capilares no pueden ser apreciados a simple vista, varían en perfil y forman un sistema, en muchos casos interconectado, distribuidos al azar a través de la pasta.

- La importancia de los poros capilares radica en que conforme aumenta su número:
- Disminuye la resistencia mecánica de la pasta endurecida.
- Aumenta la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.
- Aumenta la vulnerabilidad de la pasta al ataque por acción de las bajas temperaturas sobre el concreto.

Este último punto es de gran importancia dado que los poros capilares son los principales responsables de la vulnerabilidad de la pasta a los ciclos de hielo-deshielo, debido a que están en capacidad de contener agua que puede congelarse.

✓ **Poros por aire incorporado.** Se conoce como poros de aire incorporado a minúsculas burbujas de aire que se incorporan intencionalmente mediante el empleo de aditivos. Las burbujas son generalmente de perfil esférico con diámetros variables que corresponden a un valor promedio de 0.08 a 0.10 mm.

La razón por la que se utilizan las burbujas de aire incorporado es que este sistema permite un incremento significativo de la durabilidad del concreto al crear un gran número de cámaras en las que se puede congelar el agua presente en los poros capilares, evitando así, que la tensión generada por la expansión de volumen debido a la conversión de agua en hielo contribuya a agrietar el concreto.

El principal inconveniente de la presencia de poros por aire incorporado en la mezcla de concreto es que éstas, al incrementar la porosidad, tiende a disminuir la resistencia mecánica.

✓ **Poros por aire atrapado.** Durante el proceso de mezclado, una pequeña cantidad de aire que es aportada por los materiales queda atrapada en la masa del concreto, no siendo eliminada por los procesos de mezclado, colocación o compactación. Los espacios que este

aire forman en la mezcla se conocen como poros por aire atrapado, son parte inevitable y perjudicial en todo concreto.

Los vacíos son de tamaño considerable, varía entre aquellos que no son perceptibles a simple vista hasta aquellos que equivalen a un centímetro o más de diámetro. Su perfil suele ser irregular y no necesariamente están interconectados.

En la Figura 3 se muestran los diversos tipos de vacíos que se pueden presentar en la pasta de cemento.

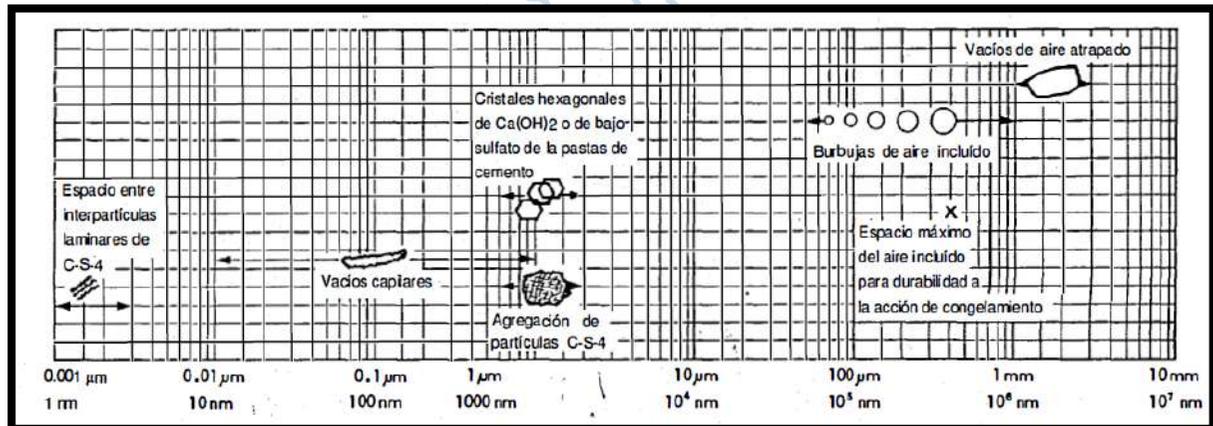


Figura 3. Rango dimensional de sólidos y de poros en una pasta de cemento hidratada

Fuente: Mehta, K., & Monteiro, P. (1998)

2.1.2. Porosidad de los agregados (Rivva, 2000). Las cuatro clases de poros que se ha visto anteriormente corresponden a espacios que están en el concreto fuera de los límites de los agregados. Normalmente, el concreto es poroso y permeable, pudiendo variar el total de poros de acuerdo a los diferentes tipos de rocas.

Algunas rocas presentan macroporos, que son poros lo suficientemente grandes como para que los efectos de la capilaridad sean despreciables, es decir, que las rocas que presentan una alta porosidad y/o poros relativamente grandes, tienen una alta permeabilidad al agua. Los macroporos presentes en la superficie de la roca, o en el concreto, pueden ser llenados

fácilmente por inmersión de la roca en agua. No obstante, si no se presenta una buena unión y los macroporos ubicados dentro del cuerpo de la roca se encuentran separados de la superficie por una fina estructura porosa que no es fácilmente permeable, difícilmente serán saturados por una simple inmersión en agua.

La porosidad presente en los agregados que son utilizados para la preparación de concretos de peso convencional ($2240 \text{ kg/m}^3 - 2460 \text{ kg/m}^3$) se encuentran comúnmente por debajo del 10% y casi siempre del 3%, en contraste con el 30% o más de la porosidad de la pasta de cemento. Por ello, a partir de estos valores, se puede esperar que la porosidad de los agregados empleados sea menor que la de la pasta.

2.1.3. Porosidad en interfase pasta – agregado: ITZ (Bravo et al., 2014). La zona de transición interfacial (ITZ) tiene su propia estructura. En su microestructura se han identificado dos componentes primarios: una capa delgada de cristales orientados al hidróxido de calcio con un grado aproximado de $0.5 \mu\text{m}$ hacia el lado del agregado, y una capa delgada de silicato de calcio hidratado con un espesor aproximado de $0.5 \mu\text{m}$ hacia el lado de la pasta.

En la ITZ la pasta de cemento endurecida tiene una porosidad mucho mayor (2 a 3 veces) que en la pasta de cemento endurecida más alejada de las partículas del agregado, esto se debe a que en la ITZ las partículas de cemento son incapaces de unirse estrechamente con las partículas del agregado, presentando una alta porosidad en la región de la interfaz adyacente a la superficie de los agregados.

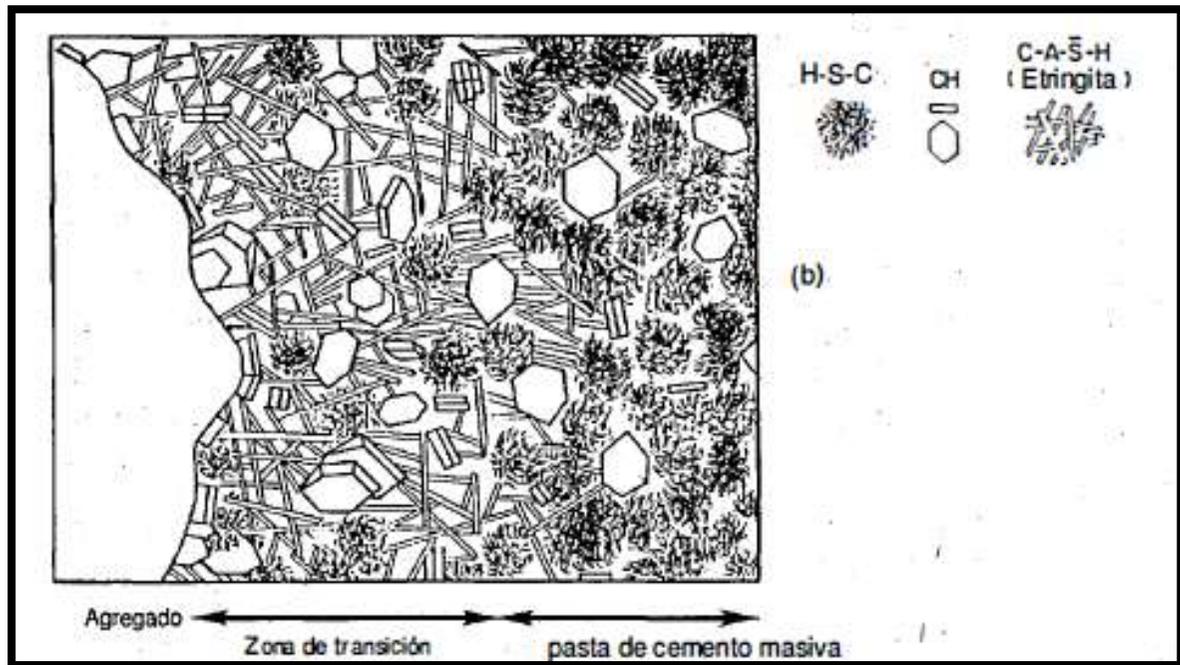


Figura 4. Representación gráfica de la zona de transición y de la pasta de cemento masiva del concreto

Fuente: Mehta, K., & Monteiro, P. (1998)

Se ha demostrado en las diversas investigaciones que las mezclas de concreto con una baja relación agua/cemento tienden a producir una mejor distribución de los granos de cemento cerca de los agregados y por ende, una ITZ de menor espesor (menor porosidad). Por el contrario, mezclas con una relación de agua/cemento alta generan una ITZ de mayor espesor (mayor porosidad)

La ITZ es muy porosa y débil, y es responsable del agrietamiento inicial que produce la falla del concreto, y que se relaciona directamente con la resistencia del concreto. Las características de las partículas del agregado como el tamaño, la textura superficial y el tipo de mineral predominante, así como la relación agua / cemento, influyen en las características de ITZ.

2.2. Absorción del concreto. Una indicación de la porosidad en interfase pasta – agregado (ITZ) se puede obtener por la medición de la absorción del concreto. La absorción es el proceso por el cual el concreto presenta la facilidad de atraer a los fluidos con los que se encuentra en contacto, de modo que las moléculas de éstos penetren y así llenen sus poros y capilares permeables.

2.3. Influencia en las propiedades del concreto. Los poros mencionados anteriormente y que se encuentran presentes en el concreto, determinan la exposición ambiental del material y daños provenientes de los líquidos y de los gases que lo penetran, tales como dióxido de carbono, agua, oxígeno, cloruros, sulfatos, etc. Estos elementos o compuestos originan diversas reacciones químicas volviéndolo más vulnerable y afectando la calidad del concreto.

Entre los indicadores más importantes de la calidad del concreto se encuentran: la resistencia a la compresión y la durabilidad, claro que esto depende de las solicitaciones y de la función del elemento estructural o estructura.

2.3.1. Efectos de la porosidad en la resistencia a compresión del concreto. En el concreto, la resistencia se relaciona con el esfuerzo requerido para causar fractura y es sinónimo del grado de falla en el que el esfuerzo aplicado alcanza su valor máximo. En las pruebas de compresión, la muestra probada se considera que ha fallado cuando, no habiendo señas de fractura externas visibles, el agrietamiento interno es tan avanzado que es incapaz de soportar una carga mayor sin fracturarse.

Al ser una masa cuya propia naturaleza es discontinua y heterogénea, su resistencia mecánica dependerá de las características físicas y químicas de los materiales que lo componen. En un concreto de buena calidad, la resistencia de las partículas de agregado es mayor que la de los demás componentes del concreto, de modo que los elementos importantes en la resistencia del concreto son: resistencia de la matriz (cemento hidratado) y la resistencia de la interfaz matriz-agregado (Otazzi, 2004).

Entre los factores que influyen en la resistencia del concreto (Otazzi, 2004), se encuentran:

✓ **La relación agua/cemento.** Esta es la variable más importante. Una relación a/c alta aumenta la porosidad de la matriz y de la zona de transición entre la matriz y los agregados, causando la reducción de su resistencia. No obstante, al buscar una relación a/c baja, ésta causa una reducción en la porosidad de la matriz e incluso mejora la conexión entre los sólidos presentes en la mezcla de concreto, ocasionando que su resistencia no se vea afectada e incluso aumente.

✓ El aire atrapado o aire incorporado

✓ El tipo de cemento

✓ **La gradación, textura y origen de los agregados** influyen en la porosidad, ya que afectan a la adherencia entre el agregado y la matriz. Una mala adherencia causa la formación de vacíos. Los concretos de resistencia normal fabricados con agregados gruesos y resistentes tienden a fallar por agrietamiento de la matriz y muestran una curva esfuerzo – deformación con una extensa curva descendente. En cambio, cuando el agregado falla antes que la matriz, la falla tiende a ser brusca con una curva descendente corta y muy inclinada, como se muestra en la Figura 5.

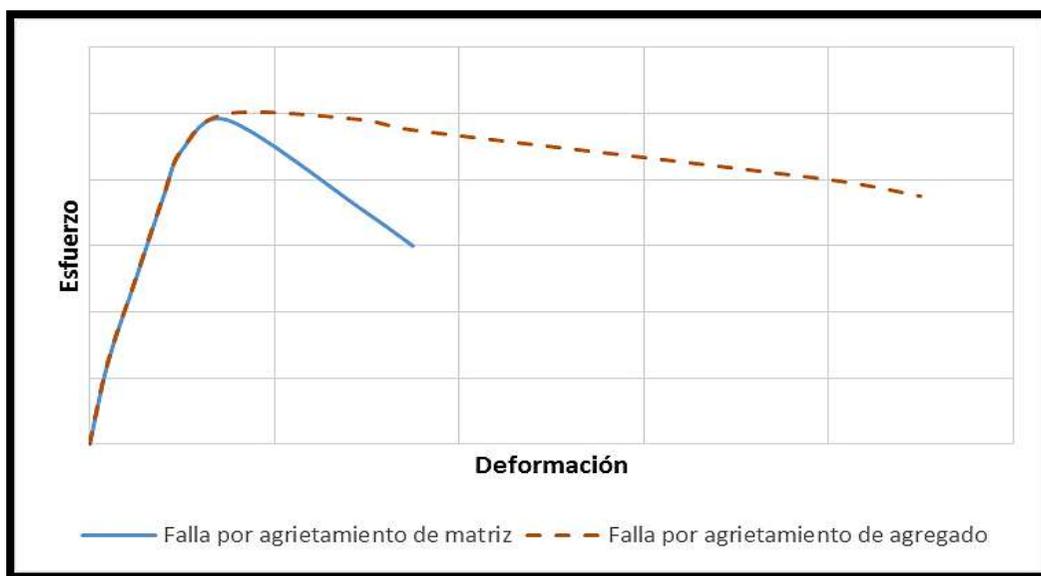


Figura 5. Curvas esfuerzo – deformación de la falla por agrietamiento de la matriz y agregados
Fuente: Elaboración propia

Asimismo en la Figura 6 se observa que el comportamiento en compresión de la pasta de cemento y de los agregados es frágil y prácticamente lineal hasta la falla. Sin embargo, en el concreto que es un material compuesto por la mezcla de los dos componentes anteriores, es no lineal con algo de ductilidad. Este fenómeno se muestra con más detalle en la Figura 7, donde se observa el estado de microfisuración interna de la interfase entre la pasta y el agregado y en la misma pasta de cemento.

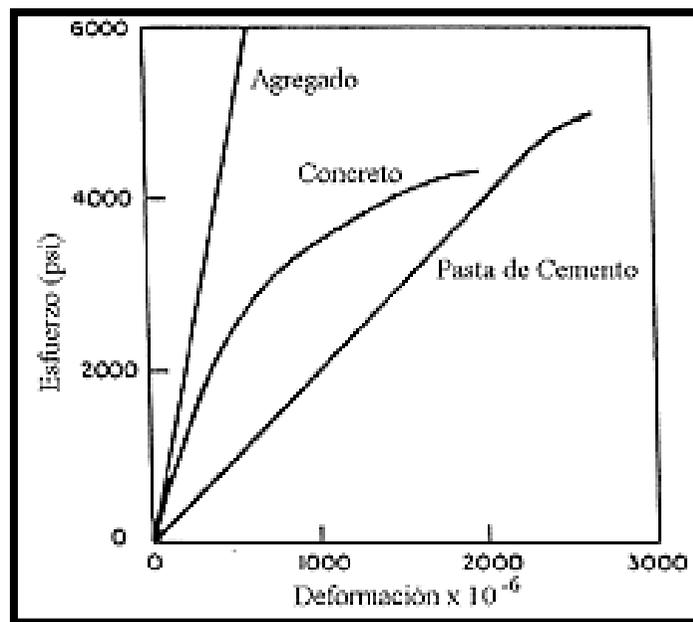


Figura 6. Curvas esfuerzo – deformación del concreto y sus componentes

Fuente: Ottazzi, 2004

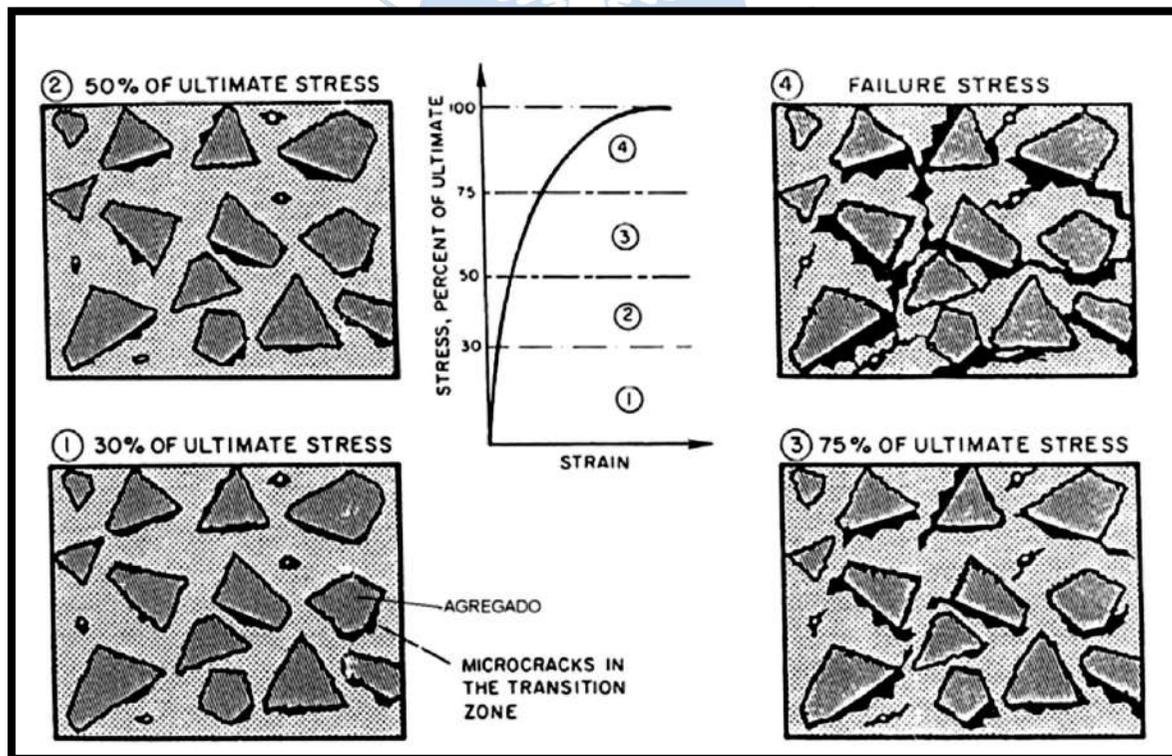


Figura 7. Fisuración interna en el concreto sometido a esfuerzos

Fuente: Ottazzi, 2004

También, una excesiva porosidad en los agregados puede calificarlos como no óptimos para ser utilizados para la fabricación de concreto, ya que al usar este tipo de agregados puede causar efectos indeseables en el concreto como una limitada resistencia mecánica o su elevada capacidad de absorber agua.

✓ **Las condiciones de humedad y temperatura durante el curado.** El curado del concreto consiste en mantener un adecuado contenido de humedad y temperatura, de manera que el concreto pueda desarrollar sus propiedades con las cuales fue diseñada la mezcla. El objetivo principal del curado es para alcanzar la resistencia adecuada, pero también la durabilidad, ya que un concreto con óptimas condiciones de humedad hace que el concreto sea impermeable al agua, y su porosidad disminuya ya que habrá un menor porcentaje de vacíos, aumentando la vida de servicio del concreto e incluso de la estructura.

✓ **La compactación o consolidación del concreto** es la operación por medio de la cual se trata de densificar la mezcla en estado fresco con el objetivo de eliminar la mayor cantidad de vacíos. Estos vacíos, como se visualiza en el punto 1.2.1, provienen de varias causas, siendo las más importantes: el aire atrapado, y los vacíos producidos por la evaporación del agua de amasado. Lo ideal es reducir a menos de 1% el porcentaje de vacíos (siempre y cuando no se incorpore aire al concreto). Estos vacíos internos, además de afectar a la resistencia mecánica, son puntos débiles para la durabilidad.

- ✓ La edad del concreto
- ✓ La velocidad de carga o deformación

En la Figura 8 se puede observar el efecto del contenido de aire en la resistencia del concreto, demostrando que la presencia de aire genera una reducción en la resistencia.

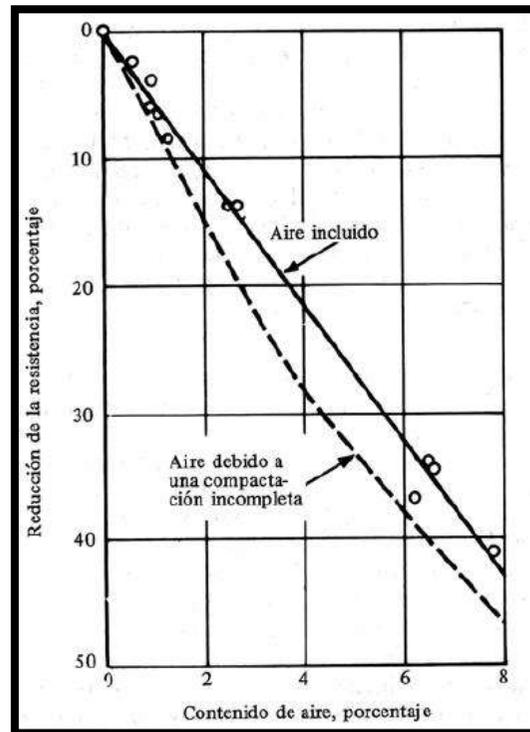


Figura 8. Contenido de aire vs. Reducción de la Resistencia en el concreto

Fuente: Neville, 1997

Con un material como el concreto, que contiene espacios vacíos de varios tamaños y formas en la matriz, y en la zona de transición entre la matriz de pasta y los agregados, los modos de falla bajo esfuerzos son muy complejos y varían con el tipo de esfuerzo. En compresión, el modo de la falla es menos frágil porque se necesita energía considerablemente mayor para formar y expandir las grietas en la matriz (Mehta & Monteiro, 1998).

A niveles más altos de esfuerzos, las grietas que se inician dentro de la matriz; aumentan su número y tamaño progresivamente al incrementarse los niveles de esfuerzo. Las grietas en la matriz y en la zona de transición finalmente se unen, y por lo general se desarrolla una falla en la superficie aproximadamente 20 a 30° de la dirección de la carga, como se muestra en la Figura 9 (Mehta & Monteiro, 1998).



Figura 9. Forma típica de falla del concreto a compresión

Fuente: Elaboración propia

Asimismo en la Figura 10 se muestran los tipos de falla que presenta el concreto en el ensayo de compresión. Cabe indicar que existe una relación inversa fundamental entre el grado de porosidad y la resistencia del concreto, y el tipo de falla de dicha relación es la tipo Columnar.

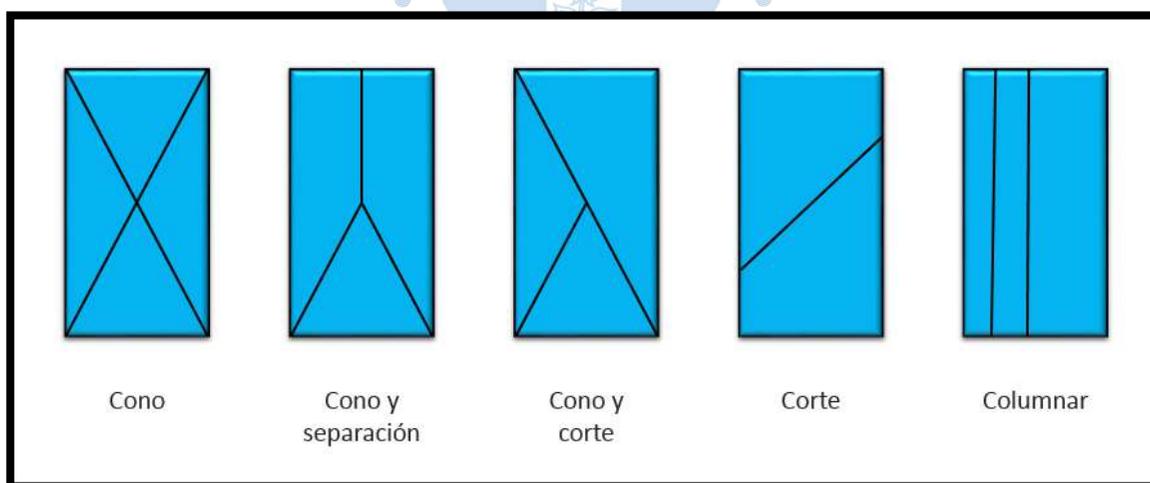


Figura 10. Tipos de falla presentes en el ensayo de compresión

Fuente: NTP 339.034 (2008)

2.3.2. Efectos de la porosidad en la durabilidad del concreto. La durabilidad del concreto depende principalmente de la facilidad con la cual los fluidos, tanto líquidos como gaseosos, pueden ingresar en el concreto y moverse a través de él.

El comité ACI 201 define la durabilidad como la capacidad que tiene para resistir a la acción del tiempo en ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, que el concreto durable mantendrá su forma, calidad y servicio originales al ser expuesto al medio ambiente (Mehta & Monteiro, 1998). Para muchas condiciones de exposición de las estructuras de concreto, ambas propiedades, resistencia y durabilidad, se han de considerar explícitamente en la etapa de diseño.

Se conoce que la porosidad es la naturaleza del sistema de poros presentes en el volumen de pasta de cemento endurecido y en la zona cerca de la interfase pasta-agregado. La zona de interfaz pasta-agregado ocupa desde un tercio hasta un medio del volumen total de la pasta de cemento endurecida en el concreto y se sabe que tiene microestructura diferente al volumen de la matriz. Por estas razones, se espera que la zona de ITZ contribuya significativamente a la porosidad del concreto. No obstante, esto no ocurre con el agregado, debido a que sus poros suelen ser discontinuos. Además, sus partículas son envueltas por la matriz haciendo que sus poros no influyan en su porosidad (López, 2004).

Aparte de ello, el concreto contiene vacíos a causa de una mala compactación o del agua de sangrado atrapada. Estos vacíos, ocasionados por la ITZ, pueden ocupar entre una fracción del 1% y 10% del volumen del concreto, donde la última cifra representa un concreto altamente segregado, de resistencia muy baja.

Capítulo 2

Metodología experimental

El plan experimental de la presente tesis consiste en mostrar cómo se ha medido el efecto al reemplazar las distintas proporciones de reemplazo de agregado fino por residuo de concha de abanico triturada, en la porosidad del concreto.

1. Caracterización de materiales

La norma describe la forma en la que se deben ensayar los agregados: fino, grueso y concha de abanico triturada; indicando los límites en que se deben encontrar los resultados para poder ser utilizado en la elaboración de concreto. Los materiales a utilizar para los diseños de mezcla de la presente tesis son:

- ✓ Cemento Portland tipo MS
- ✓ Grava triturada proveniente de la cantera Sojo
- ✓ Arena proveniente de la cantera Chulucanas
- ✓ Concha de abanico triturada de tamaño 1.19 mm – 4.75 mm proveniente del botadero de Sechura.

1.1. Cemento Portland Tipo MS. El cemento utilizado es “Cemento Pacasmayo Tipo MS”, también denominado de manera comercial “Antisalitre con Fortimax 3”. Este cemento presenta una resistencia moderada a los sulfatos (componente MS), debido a la capacidad de sus adiciones minerales para combinarse químicamente con el hidróxido de calcio liberado en la hidratación del cemento y un moderado calor de hidratación (componente MH), evitando fisuraciones de origen térmico, generando estructuras menos permeables, y menos porosas.

Asimismo, al ser un cemento adicionado, fabricado mediante la molienda conjunta de clinker y adiciones minerales, genera una alta resistencia a los sulfatos reduciendo la posibilidad de ser deteriorado por filtración de sustancias agresivas. Es aplicado para concreto

con exposición moderada a los sulfatos, estructuras en contacto con ambientes y suelos húmedos-salinosos o ambientes marinos, en clima cálido o concreto masivo, en presencia de agregados reactivos, pavimentos y losas.

El cemento Pacasmayo tipo MS, es un cemento adicionado el cual combina 60% de clinker, 5% de yeso y 30% de escoria de alto horno, según las especificaciones del proveedor (Cortez & Sánchez, 2006). Las escorias de alto horno provienen del proceso de fabricación del acero en la industria siderúrgica como un subproducto y contiene compuestos adecuados para una adición como los sílico-aluminatos cálcicos. Su composición química se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Composición química del Cemento Portland Tipo MS

Material	Simbología	Cantidad
Óxido de magnesio	MgO	10%
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	11%
Dióxido de silicio	SiO ₂	37%
Óxido de calcio	CaO	36%
Otros	-	6%

Fuente: Cemento y sus aplicaciones, Cementos Pacasmayo SAA. (2012)

1.2. Agregado grueso. El agregado grueso utilizado es una grava triturada proveniente de la cantera de Sojo, ubicada en el km. 15+163 de la carretera Sullana – Paita. Su acceso se ubica al lado izquierdo de la vía y a una distancia de 2km del eje de la misma. Tiene una capacidad estimada de 35,000 m³ y pertenece a la Municipalidad Distrital de Miguel Checa. La ruta se muestra en la Figura 11.

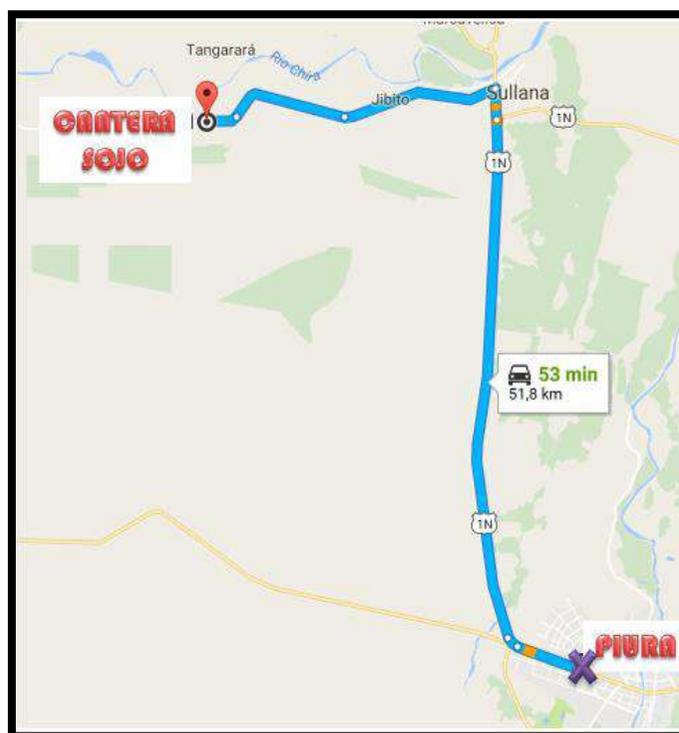


Figura 11. Ubicación de Cantera Sojo

Fuente: Elaboración propia

El material de esta cantera es de origen aluvial, perteneciente al período Cuaternario en el Pleistoceno. Litológicamente está constituido por material conglomerado no consolidado, de cantos rodados de cuarcitas, volcánicos y rocas intrusivas, provenientes de la Cordillera de Los Andes (Nizama, 2014). En la Figura 12 se observa una muestra del agregado extraído de la cantera Sojo.

El agregado natural de canto redondeado es sometido a una trituración mecánica, y es comercializado como agregado triturado de $\frac{3}{4}$ "", ya que presenta mayor material de este tamaño.

Los parámetros físicos necesarios del agregado grueso fueron evaluados en el LEMC de la Universidad de Piura. Según la clasificación SUCS, el agregado es una grava pobremente

graduada (GP), sin presencia de arcillas o materias orgánicas, con textura rugosa y forma angular. En la Tabla 6 se muestra el resumen de los valores obtenidos de los ensayos.



Figura 12. Agregado grueso de la cantera Sojo

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de absorción del agregado grueso es un indicador de la porosidad del mismo, dichos valores de absorción presentan una pequeña disminución cuando estos son triturados, lo cual podría ser ocasionado por los planos de falla que se producen. En la Figura 10 se observa que algunas partículas presentan una parte redondeada y lisa, lo que se puede deber a que el modo de trituración no ha sido 100% efectivo, ocasionando que su forma no haya sido en su totalidad angular, y se pueda generar una mala adherencia entre la pasta de cemento y la grava, formándose vacíos y por ende se vea afectada la absorción y la porosidad del concreto. No obstante, esta variación puede favorecer el acomodo de las partículas entre sí, mejorando su trabajabilidad. En la Tabla 6 se muestra los parámetros físicos de este agregado y cuya curva granulométrica se presenta en la Figura 13.

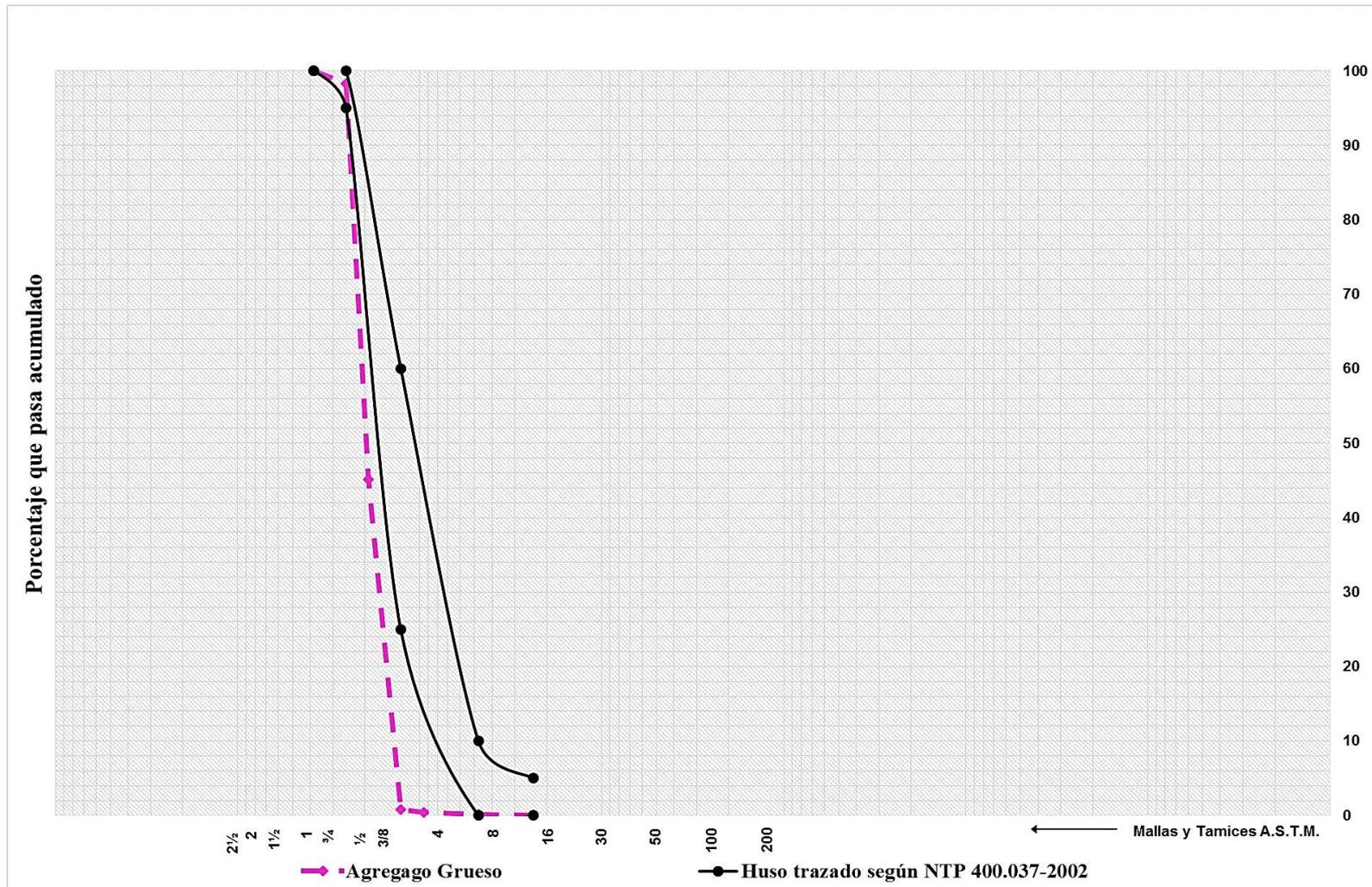


Figura 13. Curva granulométrica del agregado grueso

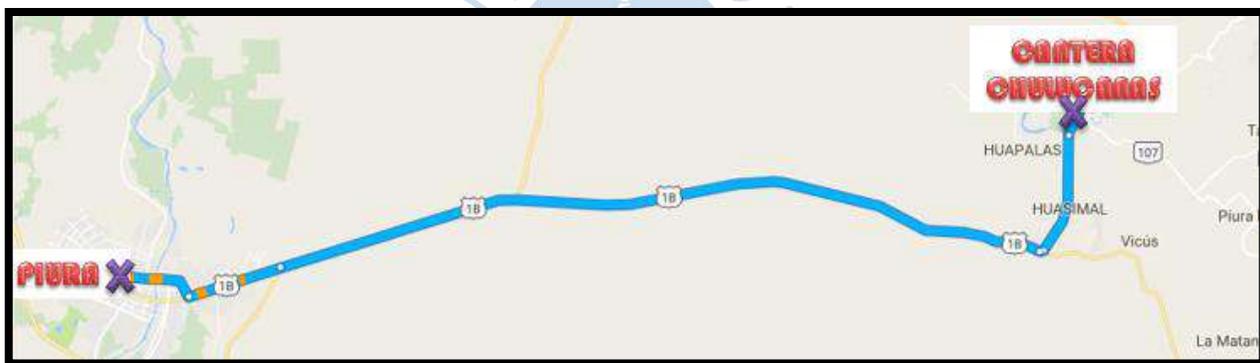
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Caracterización del agregado grueso

Material	Norma	Resultado
Tamaño máximo nominal (in)	-	1
PU suelto (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1450
PU compactado (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1585
Peso específico (SSS)	NTP 400.017 1979	2.78
Capacidad de absorción (%)	NTP 400.021 1999	1.38
Contenido de humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.69

Fuente: Elaboración propia

1.3. Agregado fino. El agregado utilizado es arena media proveniente de la cantera de Chulucanas, ubicada a 1 km de la misma ciudad. En la Figura 14 se observa la ruta para llegar a ella.

**Figura 14.** Ubicación de la Cantera Chulucanas

Fuente: Elaboración propia

El material de esta cantera es de origen aluvial, perteneciente al período Paleozoico en el afloramiento Río Seco que se extienden a los valles del curso superior del río Piura, cubriendo gran parte de las áreas de Morropón, Chulucanas y Olmos. Litológicamente está constituido por una formación rocosa de 3 a 4 metros de cuarcitas recristalizadas, de color gris oscuras a negras, con abundante segregación de cuarzo lechoso relleno de las fracturas de dicha capa. Intercalando los paquetes de cuarcitas se hallan lustrosas gris-blancuecinas a blanco-amarillentas, así como pizarras filitas lustrosas (Nizama, 2014). En la Figura 15 se observa una muestra de la arena extraída de la cantera Chulucanas y en la Tabla 7 se presentan los parámetros físicos.



Figura 15. Agregado fino de la cantera Chulucanas
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Caracterización del agregado fino

Material	Norma	Resultado
Módulo de finura	-	2.3
PU suelto (kg/m³)	NTP 400.017 1999	1437
PU compactado (kg/m³)	NTP 400.017 1999	1543
Peso específico (SSS)	NTP 400.017 1979	2.46
Capacidad de absorción (%)	NTP 400.022 1999	1.56
Contenido de humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.44

Fuente: Elaboración propia

El módulo de finura es un factor que permite conocer que tan fino o grueso es un material. La arena a utilizar presenta un módulo de finura de 2.3, es decir, contiene un alto porcentaje de material fino. Esto podría ocasionar una mayor demanda de cantidad de agua, lo cual, si bien reduciría el esfuerzo de fluencia y la viscosidad, obteniéndose una mezcla más fluida; también incrementaría la exudación y el riesgo de segregación, originando un incremento de la porosidad en el estado endurecido del concreto y, por ende, que su durabilidad disminuya.

Además, en la Figura 16 se observa la curva granulométrica, donde se visualiza que su distribución se aproxima al huso granulométrico recomendado por la NTP 400.012, lo que se comprueba que es aceptable su uso en el concreto.

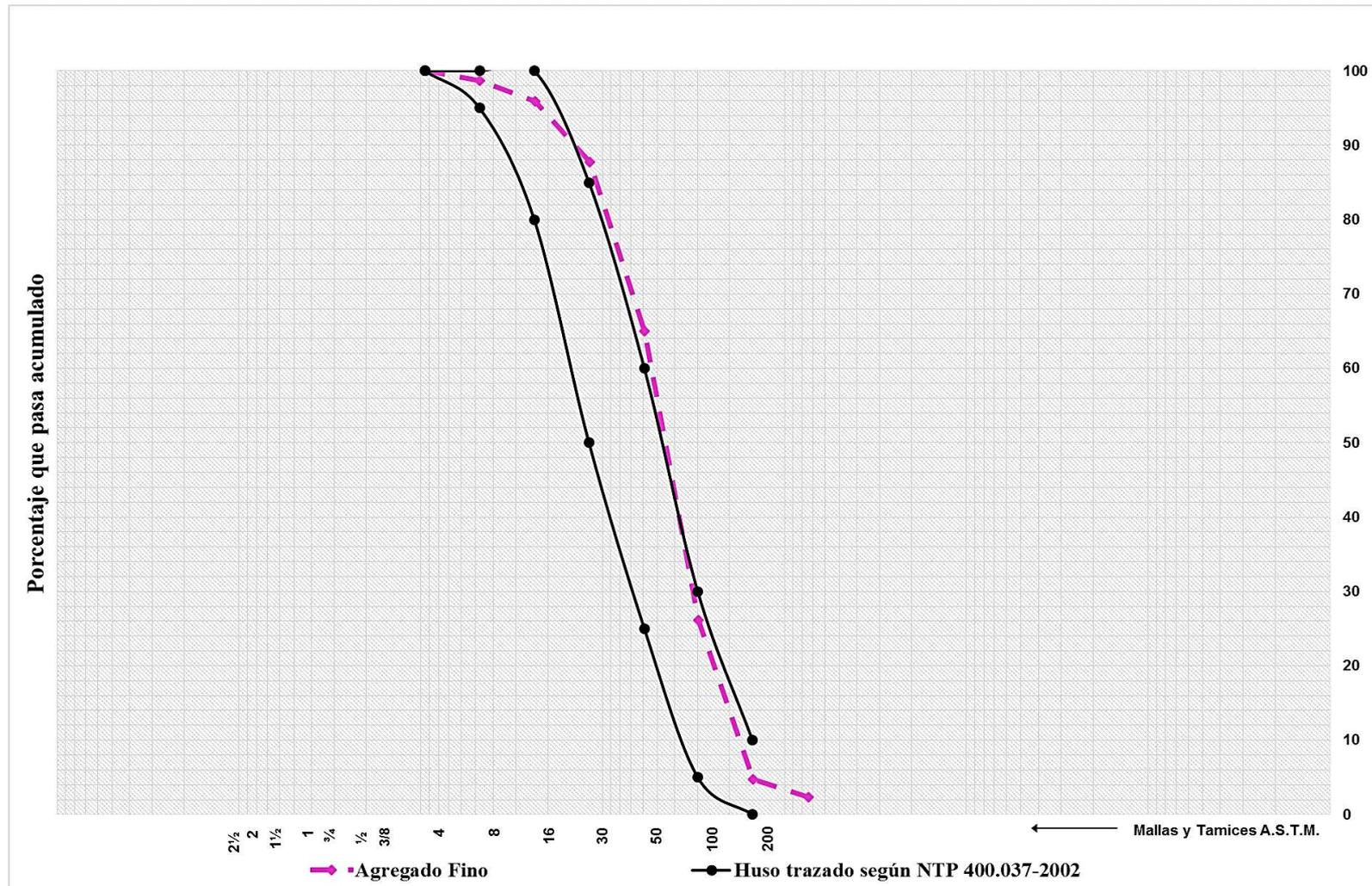


Figura 16. Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

1.4. Residuo de concha de abanico triturada. La concha de abanico es un molusco bivalvo, conformado principalmente por carbonato cálcico, denominada científicamente como *Argopecten Purpuratus*. Se caracteriza por tener una concha orbicular con dos valvas desiguales, siendo una más convexa que la otra. Asimismo, presentan estrías radiales que varían entre 23 a 26 por valva y unas pequeñas prolongaciones en cada valva, nombradas orejas desiguales (Nizama, 2014). En la Figura 17 se observa a más detalle estas características físicas.

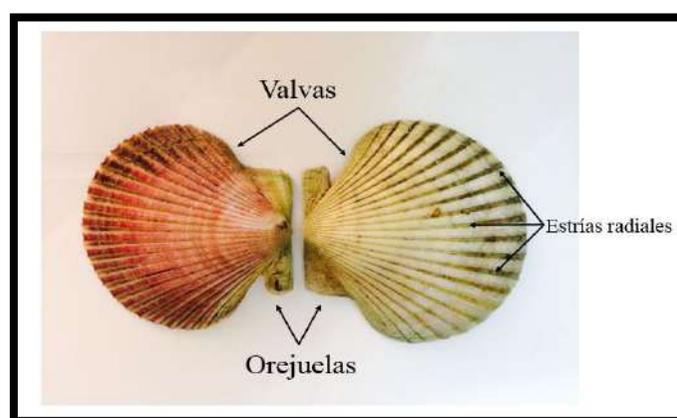


Figura 17. Estructura externa de la concha de abanico

Fuente: Elaboración propia

En la ciudad de Sechura existen dos botaderos, el primero, actualmente en desuso, está ubicado a 2 km de la ciudad de Chulliyachi con un área aproximada de 35 000 m²; y el segundo, ubicado a 3.5 km de la ciudad con un área aproximada de 9 000 m². En la Figura 18 se muestra el plano de ubicación de los botaderos donde se almacena las valvas de las conchas de abanico.

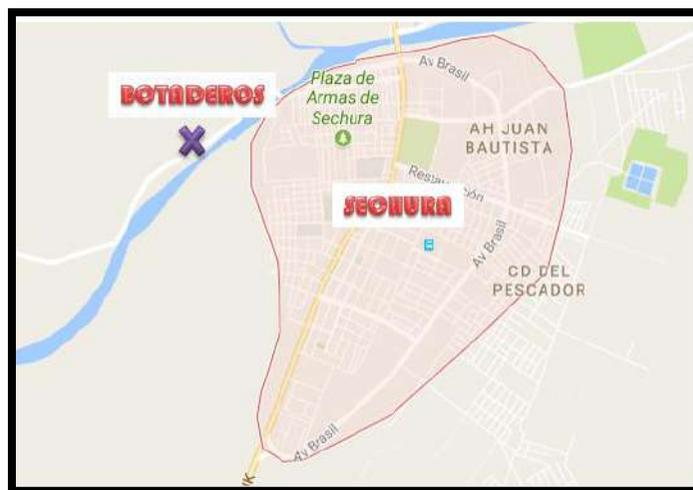


Figura 18. Ubicación de los botaderos de Sechura donde se almacena las valvas de las conchas de abanico

Fuente: Elaboración propia

El material en el primer botadero, el que se encuentra en desuso debido a que ha excedido su capacidad, no presenta materia orgánica, pero es más frágil debido a su largo tiempo expuesto a la intemperie, lo que ha ocasionado su biodegradación. En cambio, en el segundo botadero existe un olor nauseabundo, abundantes moscas por el material orgánico en descomposición y presencia de material plástico. Este material se encuentra en condiciones similares a las del material obtenido directamente en la fábrica, por lo que se creyó conveniente utilizar el residuo de concha de abanico proveniente de este último botadero.

Se realizó un proceso de lavado con el objetivo de eliminar la materia orgánica y el exceso de polvo que traía, utilizando solamente agua potable y un cepillo, dejándolo después secarse al aire bajo sombra.

El proceso de trituración fue manual mediante el uso de combas y martillos hasta llevarlo a un rango de tamaño de 4.75 mm hasta 1.19 mm. Se decidió este rango de tamaños porque es el más eficaz para no afectar negativamente las propiedades mecánicas del concreto. Para garantizar la obtención de estas medidas el material se pasó por los tamices #4 y #16 periódicamente entre procesos de chancados, lo cual redujo las pérdidas por trituración.

1.4.1. Propiedades de la concha de abanico triturada (1.19 mm – 4.75 mm). Los parámetros físicos del residuo de concha de abanico se obtuvieron a través de ensayos realizados en el LEMC de la Universidad de Piura. El material analizado, debido a su tamaño, fue tratado como un agregado fino. En la Figura 19 se aprecia una muestra de residuo de la concha de abanico triturada y en la Tabla 8 los resultados de los ensayos.



Figura 19. Concha de abanico triturada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Caracterización de la concha de abanico

Material	Norma	Resultado
Módulo de finura	-	4.6
PU suelto (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1009
PU compactado (kg/m ³)	NTP 400.017 1999	1179
Peso específico (SSS)	NTP 400.017 1979	2.6
Capacidad de absorción (%)	NTP 400.022 1999	1.84
Contenido de humedad (%)	NTP 339.127 1998	0.3

Fuente: Elaboración propia

A la vez, se procedió a realizar el análisis granulométrico, que consiste en hacer pasar una determinada cantidad de las conchas de abanico trituradas a través de una serie de tamices estándar, ordenados de mayor a menor. La operación de tamizado y la clasificación se realiza según la norma técnica peruana NTP 400.012, dando como resultado la curva granulométrica mostrada en la Figura 2.



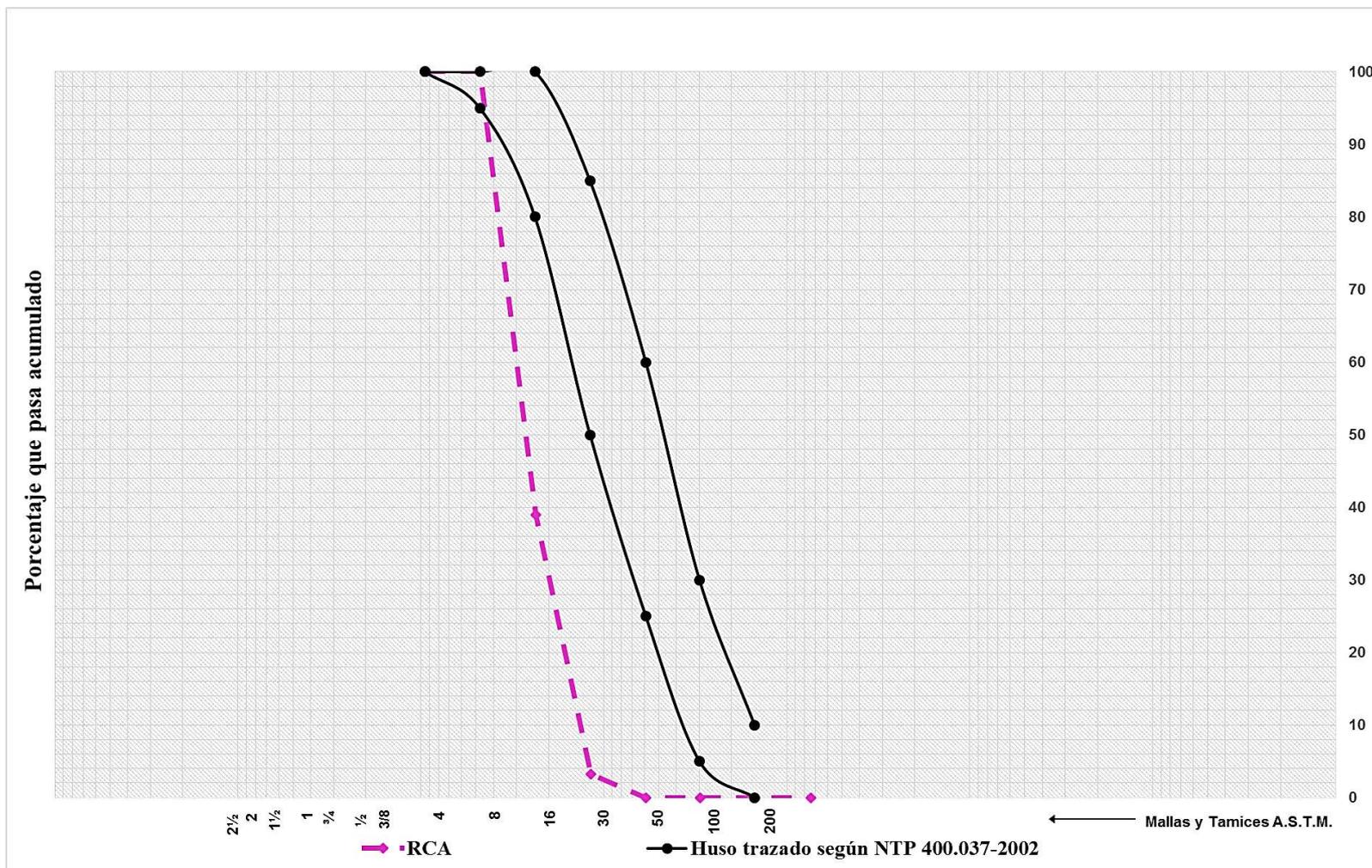


Figura 20. Curva granulométrica del residuo de concha de abanico triturada

Fuente: Elaboración propia

Según el sistema SUCS, dicho material se puede catalogar como una grava fina. Esto se debe a que el mayor porcentaje de las partículas que lo conforman tienen un tamaño aproximado de 2 mm. Entonces, en el momento que el RCA triturada se combine con la arena, existirá una redistribución de partículas en la granulometría del agregado fino. La curva del agregado fino se irá modificando conforme el porcentaje de reemplazo de RCA triturada aumente, haciéndose visible en un reacomodo del gráfico, el cual se irá centrando en el huso granulométrico.

El RCA triturada, al poseer una menor densidad aparente que la arena, producirá un aumento en el volumen de la mezcla producido para un mismo peso; es decir, el volumen ocupado por el residuo concha de abanico triturada será mayor al de la arena (arena: 1437 kg/m³ y concha triturada 1009 kg/m³). Por lo tanto, esta diferencia ocasionará un aumento del área superficial de la mezcla a medida que va aumentando el porcentaje de reemplazo.

También, se pudo observar que la absorción del agregado fino aumentará conforme aumente la cantidad de material reemplazado, debido a que la absorción del residuo de concha triturada es mayor al de la arena, 1.84% y 1.56%, respectivamente. Esto podría generar que a medida que el porcentaje de reemplazo de residuo de concha de abanico aumente, también aumente la necesidad de agua, y en el estado endurecido del concreto también se incremente la porosidad.

2. Propiedades a evaluar del concreto

2.1. Propiedades del concreto fresco

2.1.1. Slump (NTP 339.035, 2009). El “Slump” o revenimiento, es una característica propia de cada mezcla de concreto en estado fresco, la cual se evalúa directamente mediante el ensayo de consistencia realizado con el cono de Abrams, que permite conocer la capacidad que tiene la mezcla para ser trabajada, mezclada y colocada en su molde.

Este procedimiento se realiza para juzgar qué tan trabajable es la mezcla de concreto, debido a que otorga información suficiente y útil sobre la uniformidad de las mezclas. En la Tabla 9 se observa los tipos de concreto según su consistencia.

Tabla 9. Tipos de concreto según su consistencia

Concretos según su consistencia	
Tipos de Concreto	Slump
Estándar	0" – 4"
Plastificante	4" – 6"
Superplastificante	6" – 8"
Rheoplástico	> 8"

Fuente: *Concreto en estado fresco*. Tello, A. (2008).

2.1.2. Temperatura (NTP 339.184). La temperatura de la mezcla de concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, el calor liberado por la hidratación del cemento, la energía de mezclado y el medio ambiente. Este parámetro será usado de modo referencial y verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados. La temperatura del concreto teórica ha sido estimada según la siguiente ecuación:

$$T_{\text{concreto}} = \frac{0.22(T_a W_a + T_c W_c) + T_a W_{wa} + T_w W_w}{0.22(W_a + W_c) + W_{wa} + W_w} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

W_a, W_c, W_{wa}, W_w: pesos en kg de agregados, cemento, agua libre del agregado y agua añadida a la mezcla.

T_a, T_c, T_w: temperatura en °C de los agregados, cemento y agua añadida.

2.1.3. Peso unitario (NTP 339.046). El ensayo de Peso unitario determina de forma experimental, la densidad del concreto y el contenido de aire en estado fresco; y permite conocer, mediante fórmulas, el rendimiento de la mezcla. El rendimiento se define como el volumen de concreto producido a partir de una mezcla con cantidades conocidas de materiales.

Como la densidad del concreto depende de: la cantidad y densidad del agregado, cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y las cantidades de agua y cemento; su valor se verá afectado según la proporción que tengan sus componentes.

Asimismo, al tener los resultados de peso unitario reales se pudo determinar las cantidades reales adicionadas por metro cúbico de concreto.

2.1.4. Contenido de aire (NTP 339.083). El contenido de aire entrampado en el concreto está en función de las proporciones, las características físicas de los agregados y del método de compactación. Este ensayo fue considerado con la intención de medir de manera experimental alguna alteración que pudiese presentarse en las mezclas debido al reemplazo de agregado fino por el residuo de concha de abanico triturada

Esta propiedad fue medida mediante el “Método de Ensayo Normalizado para determinar el Contenido de Aire del Hormigón Fresco por el Método de Presión” de la norma NTP 339.083.

2.2. Propiedades del concreto endurecido

2.2.1. Resistencia a la compresión (NTP 339.034). Según ACI 318.08, para poder evaluar la resistencia a la compresión a la edad de 28 días de curado, se procedió a elaborar tres probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura por cada muestra de concreto. Asimismo, se evaluó el tipo de falla presente en las probetas como se ve en la Figura 5.

2.2.2. Capacidad de absorción (NTP 339.187). Una indicación de la porosidad se puede obtener por la medición de la absorción del concreto.

El presente ensayo se realiza con la finalidad de determinar el porcentaje de absorción y el porcentaje de vacíos en concreto endurecido. La absorción, es la facilidad con la cual un fluido puede penetrar el concreto, y llenar los poros permeables dentro del mismo. Y el porcentaje de vacíos, mide la cantidad de vacíos entre las partículas de concreto que se encuentran separadas, o no están siendo ocupadas por minerales sólidos. Ambos valores serán hallados mediante conversiones entre masa y volumen de las probetas de concreto elaboradas.

Se acostumbra medir la absorción mediante un proceso de secado hasta una masa constante, sumergiendo la muestra en el agua y midiendo el aumento de masa como un porcentaje de la masa seca. Se pueden emplear varios procedimientos.

Para conocer la durabilidad del concreto en base a la porosidad, se tomó como referencia el “Manual de inspección y deterioro del hormigón”, elaborado por el CYTED (Ciencia y Tecnología para el desarrollo). Las Tablas 10 y 11 muestran el rango de valores para determinar la calidad del concreto, para espesores de recubrimiento de 30 mm en ambientes severos. Si el espesor se incrementa, la absorción capilar y la porosidad puede modificarse proporcionalmente.

Tabla 10. La calidad de un concreto por absorción

%Absorción	Tipo de concreto
< 3	Buena calidad y compacidad
3 – 5	Moderada calidad
> 5	Durabilidad inadecuada

Fuente: Estudio de la durabilidad de concretos adicionados con escoria siderúrgica, con diferentes formas de curado (Salazar Jaramillo, Aponte, & Trochez, 2004)

Tabla 11. La calidad de un concreto por porosidad

%Porosidad	Tipo de concreto
< 10	Buena calidad y compacidad
10 – 15	Moderada calidad
> 15	Durabilidad inadecuada

Fuente: Estudio de la durabilidad de concretos adicionados con escoria siderúrgica, con diferentes formas de curado (Salazar Jaramillo, Aponte, & Trochez, 2004)

La muestra consiste en siete porciones individuales, sin importar la forma o tamaño, de un volumen equivalente de 480 cm³, no menor a 350 cm³ como indica la norma, también ensayadas a una edad de 28 días de curado.

En la Figura 21 se observa el tamaño y la forma de las mini-probetas que serán utilizadas para poder conocer la porosidad del concreto y de las probetas cilíndricas utilizadas para conocer la resistencia de la mezcla de concreto.



Figura 21. Mini-probetas y probetas cilíndricas elaboradas en el LEMC

Fuente: Elaboración propia

3. Diseños de mezcla. El diseño de mezcla se hizo mediante el método recomendado por el comité ACI 211.1 y siguiendo las consideraciones brindadas por la norma de concreto armado E.060.

Para el cálculo del diseño de mezcla, primero se establecen algunos parámetros como: propiedades de los agregados, tamaño máximo del agregado, slump y relación agua/cemento. Luego, se realiza el cálculo de la mezcla en peso, y finalmente, se realizan los ajustes necesarios para lograr las características deseadas en la mezcla.

En el diseño de mezcla, solo se consideró los parámetros físicos del agregado grueso y fino, más no del residuo de concha de abanico triturada con la finalidad de mantener las condiciones de trabajo en todos los diseños, y poder cuantificar la variación de los resultados según el efecto que tiene el residuo de concha de abanico como reemplazo parcial en peso del agregado fino.

3.1. Parámetros de diseño

✓ **Propiedades de los agregados.** Las propiedades de los materiales para realizar un diseño de mezcla deberán incluir: análisis granulométrico (NTP 400.012, 2001), peso unitario varillado del agregado grueso (NTP 400.017, 1999), peso específico de ambos agregados (NTP 400.021, 1999 y NTP 400.022, 1999), contenido de humedad (NTP 339.185, 2013) y capacidad de absorción de ambos agregados (NTP 400.021, 1999 y NTP 400.022, 1999).

Estas propiedades fueron analizadas mediante ensayos normalizados en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad de Piura. En la Tabla 12 se presenta los resultados.

Tabla 12. Propiedades de los agregados

Material	Agregado Grueso	Agregado Fino
Tamaño Máximo	1"	-
Módulo de fineza	-	2.3
PU suelto (kg/m ³)	1450	1437
PU varillado stock (kg/m ³)	1585	1543
PU varillado OD (kg/m ³)	1574	1536
Peso específico (SSS)	2.78	2.46
Capacidad de absorción (%)	1.38%	1.56%
Contenido de humedad (%)	0.69%	0.44%

Fuente: Elaboración propia

✓ **Slump y relación agua/cemento.** La trabajabilidad se evaluó a través del ensayo de “Slump” que define el asentamiento, medido en centímetros o pulgadas, de la mezcla de concreto en estado fresco.

El siguiente paso para poder elaborar un diseño de mezcla es identificar el slump, para su elección es importante tener en cuenta las condiciones de trabajo, es decir, la forma en que el concreto será manipulado y colocado. Este parámetro es especificado para cada obra, pero en caso no lo sea, se deberá escoger uno recomendado.

El comité ACI propone ciertos rangos de valores según el tipo de estructura, estos se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Slump máximo y mínimo según el ACI

Tipo de estructura	Slump máximo	Slump mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzada	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	3"

Tipo de estructura	Slump máximo	Slump mínimo
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Fuente: Elaboración propia

Para todas las mezclas, ya sea la patrón o las mezclas con reemplazo de residuo de concha de abanico triturada por agregado fino, se fijó la relación a/c de 0.45 y el slump de 4".

4. Elaboración de muestras

Con los parámetros de diseño establecidos, se procedió a calcular las dosificaciones en peso por metro cúbico de concreto. La Tabla 14 muestra las cantidades para cada porcentaje de reemplazo en estado saturado superficie seca. Las siguientes proporciones, incluyendo la mezcla patrón, posee en teoría 1.5% de contenido de aire, definido por la ACI según el tamaño máximo nominal del agregado y el slump utilizado.

Tabla 14. Diseño de mezcla en peso en estado Saturado Superficie Seca

Material (kg/m ³)	Diseño de mezcla a/c: 0.45 – slump: 4"					
	D1 – 0%	D2 – 5%	D3 – 20%	D4 – 40%	D5 – 60%	D6 – *40%
Agua	231.00	226.99	226.00	225.00	220.00	231.00
Cemento	513.33	502.22	502.22	500.00	488.89	513.33
Ag. Grueso	1149.02	1149.02	1149.02	1149.02	1149.02	1149.02
Ag. Fino	437.19	435.26	366.54	277.42	193.34	262.32
Concha	0.00	22.91	91.63	184.95	290.01	174.88
P.U. teórico	2330.55	2336.40	2335.41	2336.39	2341.26	2330.55

Fuente: Elaboración propia

*D6 - *40%: Dosificación de mezcla igual al D1, pero con 40% de reemplazo en peso de RCA.

Las cantidades mostradas resultan de las correcciones por ajuste hechas en el laboratorio, debido a que la relación agua/cemento de 0.45 y el asentamiento de 4 pulgadas debían mantenerse constantes.

El D6 - *40% tiene como propósito verificar si las propiedades de trabajabilidad y de resistencia a la compresión del concreto no se ven afectadas significativamente al emplearse el porcentaje máximo permitido de reemplazo de RCA, indicado en Varhen et al. (2016). Por tal razón, se consideraron dos diseños con 40% de reemplazo en peso de RCA. El primero D4 – 40% varió su dosificación en peso de agua y cemento respecto al diseño patrón como se indica en el párrafo anterior, mientras que en el segundo D6 - *40% no se modificaron dichos valores.



Capítulo 3

Interpretación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos realizados en el programa experimental de la presente tesis.

1. Agregado fino

1.1. Cambio en granulometría y parámetros. En la Tabla 15 se presenta los valores de las propiedades del agregado fino conforme se ha ido realizando el porcentaje de reemplazo en peso del residuo de concha de abanico triturada.

Tabla 15. Valores de reemplazo en peso del agregado fino usados en la presente investigación

Parámetros (Unidad)	Arena	RCA triturada	Combinación de Agregado fino					
			0%	5%	20%	40%	60%	*40%
M.F	2.3	4.6	2.3	2.42	2.76	3.22	3.68	3.22
P.U suelto (Kg/m ³)	1437	1009	1437	1416	1351	1266	1180	1266
P.U compactado (Kg/m ³)	1543	1179	1543	1525	1470	1397	1325	1397
Peso específico (SSS)	2.46	2.6	2.46	2.47	2.49	2.52	2.54	2.52

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados de la tabla 16, se puede apreciar que el módulo de finura aumenta conforme aumenta el porcentaje de reemplazo de RCA triturada, debido a que esta última posee un mayor módulo de finura. El RCA triturada, al presentar partículas de mayor tamaño

causa que el área superficial del agregado fino disminuya, produciendo que la trabajabilidad aumente.

En el caso del peso unitario no pasa lo mismo, el valor de peso unitario de la arena es mayor causando que los valores de este parámetro disminuyan conforme aumenta el porcentaje de reemplazo. Si bien el RCA triturada presenta un peso específico aproximadamente similar al de la arena, al presentar partículas de mayor tamaño y forma angulosa hace que ocupen un mayor volumen en comparación al agregado fino.

Los valores de módulo de finura fueron calculados de acuerdo a lo descrito en la norma técnica peruana NTP 400.012. Mientras que los valores de peso unitario fueron calculados de acuerdo al procedimiento indicado en la norma técnica peruana NTP 400.017.

En la Tabla 16 se muestra la variación de la granulometría conforme se realiza el porcentaje de reemplazo en peso del RCA triturada. Se puede observar que el valor del módulo de finura aumenta según el porcentaje de reemplazo, aumentando a su vez el porcentaje de retenido acumulado por debajo de la malla N°8. De este modo, el agregado fino se hace más grueso debido a las partículas que el RCA otorga en el reemplazo, esto permite que se complete el tamaño de partículas intermedio que no tiene la arena natural garantizando un mejor acomodo de las partículas. Además, esto ocasiona una disminución del área superficial de las partículas, lo que podría contribuir a mejorar la trabajabilidad por la necesidad de una menor cantidad de pasta.

Tabla 16. Granulometría del agregado fino y su combinación con el RCA triturada

<i>Combinación de agregado fino</i>								
Tamiz	% Retenido acumulado		% Retenido acumulado					
	Arena	RCA	0%	5%	20%	40%	60%	*40%
3/8	0	0	0	0	0	0	0	0
N° 4	1	0	1	1	1	1	1	1
N° 8	3	61	3	5.9	14.6	26.2	37.8	26.2
N° 16	9	96.8	9	13.39	26.56	44.12	61.68	44.12
N° 30	39	100	19	23.05	35.2	51.4	67.6	51.4
N° 50	84	100	84	84.8	87.2	90.4	93.6	90.4
N° 100	97	100	97	97.15	97.6	98.2	98.8	98.2
N° 200	100	100	100	100	100	100	100	100
Módulo de finura			2.3	2.42	2.76	3.22	3.68	3.22

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se muestra la variación de la granulometría en forma gráfica y se incluye el huso granulométrico sugerido por la NTP 400.037 para el diseño de concreto. En esta grafica se puede observar que los reemplazos de 20% y 40% presentan una distribución de partículas ubicada aproximadamente en el centro de los husos granulométricos, lo cual supone un mejor acomodo de partículas y probablemente la necesidad de una menor cantidad de pasta de cemento para llenar los espacios vacíos existentes en el concreto.

No obstante, con el porcentaje de reemplazo de 60%, la curva sale del huso granulométrico, pero esta vez por exceso de partículas gruesas. Esto explica porque se necesita reducir la cantidad de agua y cemento, manteniendo la relación agua-cemento, para reemplazos mayores que hagan salir la curva fuera del huso granulométrico.

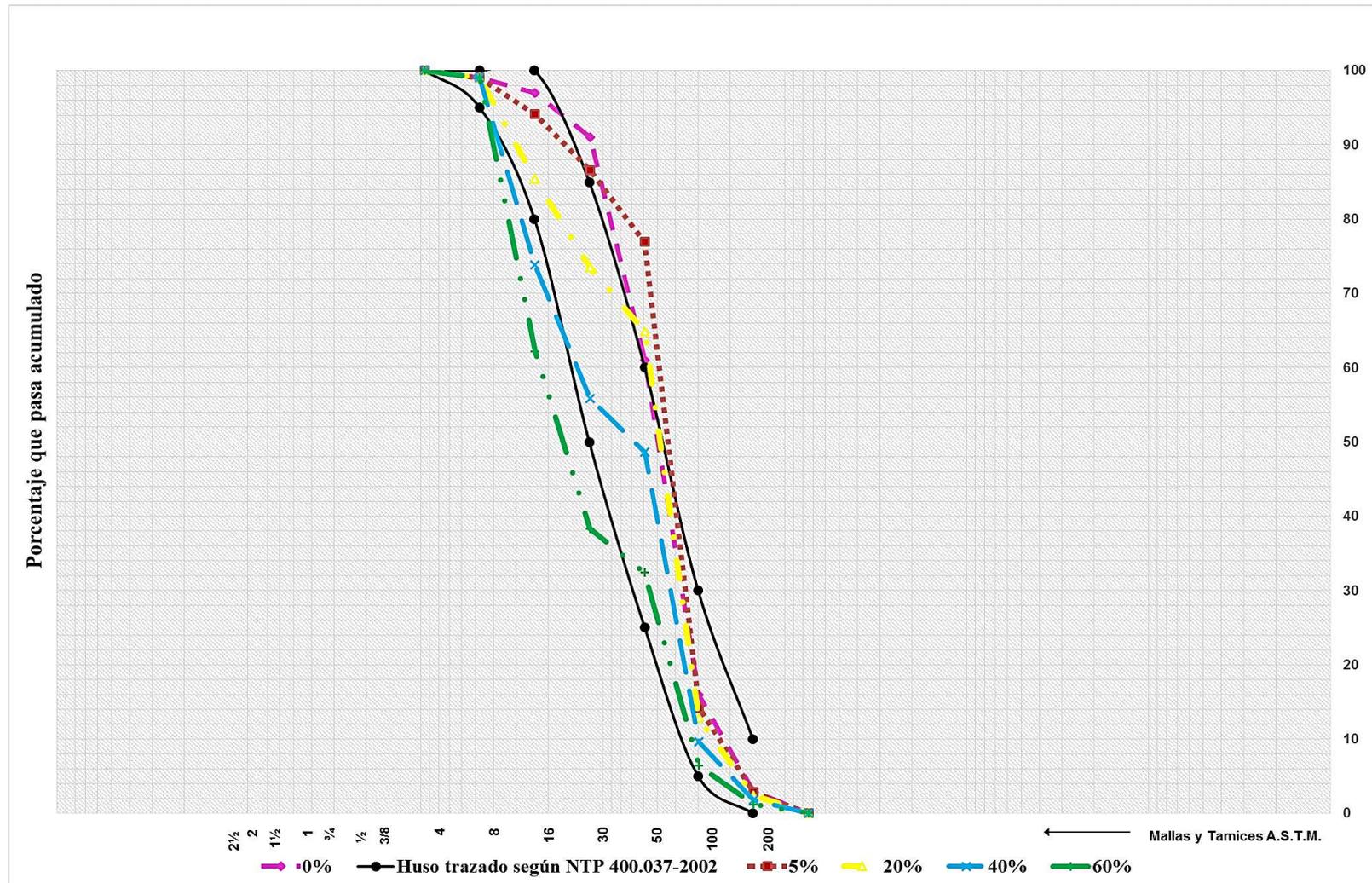


Figura 22. Curva granulométrica global del agregado fino y su variación al combinarse con el RCA

Fuente: Elaboración propia

2. Resultados del concreto fresco

2.1. Temperatura del concreto (NTP 339.184, 2013). En este ensayo se analizó la posible relación existente entre el porcentaje de reemplazo del agregado fino y la temperatura del concreto, debido a su naturaleza calcárea y diferente capacidad calórica. No obstante, este parámetro solo se tomará de modo referencial, debido a que las propiedades térmicas de los agregados y el RCA triturada no han sido evaluadas.

En la Figura 23 se han graficado las temperaturas reales y teóricas del concreto fresco durante la mezcla. Con estos resultados se puede decir que la presencia del RCA triturada no parece influir en la temperatura del concreto. Las variaciones no son significativas en relación a la mezcla patrón, las cuales podrían darse debido a los cambios de temperatura del ambiente en el que fueron elaboradas las mezclas de concreto. Por lo tanto, se puede decir que la temperatura del concreto no varía según la presencia del RCA.

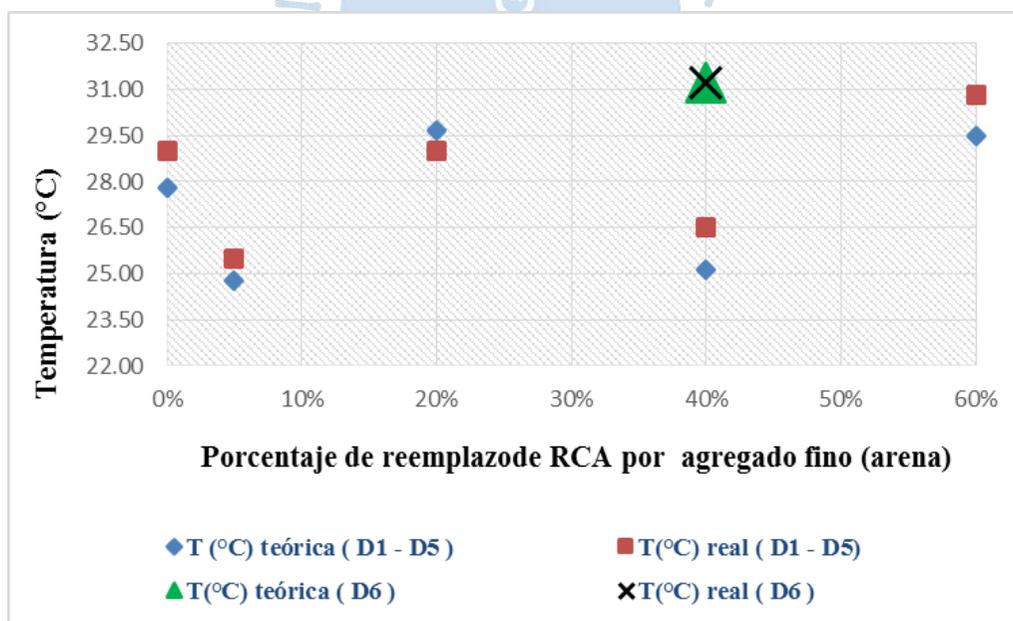


Figura 23. Temperatura real y teórica del concreto según el porcentaje de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

2.2. Peso Unitario (NTP 339.046, 2008). Se evaluó el peso unitario del concreto fresco para determinar la variación del volumen al reemplazar la arena por RCA triturada.

Los resultados para cada mezcla de concreto con reemplazo de RCA se pueden apreciar en la Figura 24, en dichos resultados el peso unitario de las mezclas es mayor a la mezcla patrón, siendo la mayor diferencia de 21.32 kg/m³ para el porcentaje de reemplazo de 5% y para los demás porcentajes de reemplazo un aproximado de 14.22 kg/m³.

En cambio, en el D6 se puede visualizar que la variación del peso unitario respecto a la mezcla patrón es insignificante, esto se puede deber a que el reemplazo en peso de la arena supone un mayor volumen de agregados gracias al menor peso unitario de la concha.

Esto también sucede por el valor de la densidad aparente del RCA, que al ser menor que la arena, podría ocupar mayor volumen en el concreto dependiendo de la compactación, produciendo un mayor volumen de materiales para un mismo peso. No obstante, esta disminución no es tan evidente debido a que al ser un concreto diseñado para una relación agua/cemento de 0.45, la matriz tiene el rol más importante, por lo que el reemplazo de RCA, a pesar de su porcentaje, forma una pequeña parte del volumen.

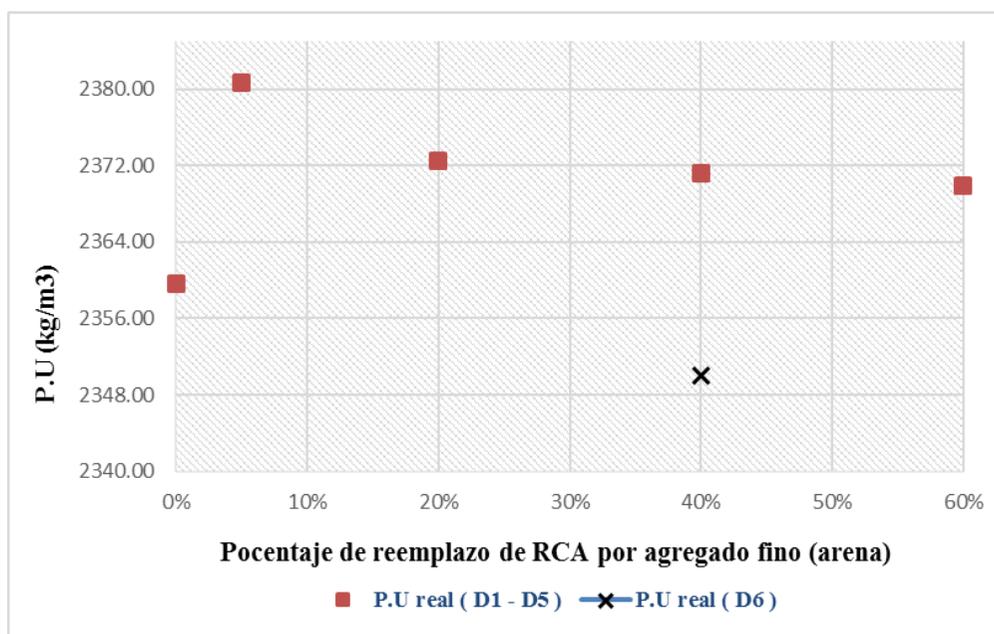


Figura 24. Peso unitario de la mezcla de concreto según el porcentaje de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

Con los valores de peso unitario reales y siguiendo el método especificado en la NTP 339.046, se llegó a corregir el volumen real producido en cada tanda, valores que se pueden visualizar en la Tabla 17. Como se puede apreciar, la diferencia entre los valores reales y teóricos no es significativa y se encuentran en el rango considerado como concreto convencional (2240 kg/m³ – 2460 kg/m³). También, se observa que el volumen producido se va incrementando, siendo un 12% el máximo para el 60% de reemplazo. Esto se debe a que el reemplazo en peso de la arena por RCA supone un mayor volumen de agregados gracias al menor peso unitario de la concha, haciendo que se obtenga un menor peso unitario de la combinación de agregados. Al poseer el residuo de concha triturada una menor densidad aparente en comparación con la arena, ocupa mayor volumen en el concreto, produciendo, para un mismo peso, un mayor volumen de materiales.

Se observa que el D3, D4 y D5 presentan pesos unitarios reales muy aproximados entre sí, esto se debe a que las cifras arrojadas por la balanza del laboratorio utilizada para la metodología experimental se aproximan a la décima, generando la omisión de dígitos por el error de redondeo, y, por ende, la pérdida de precisión en los resultados del peso unitario real.

Tabla 17. Rendimiento y factor de rendimiento real del concreto fresco

*	Tipo de mezcla					
	D1 – 0%	D2 – 5%	D3 – 20%	D4 – 40%	D5 – 60%	D6 – *40%
P.U real	2359.63	2380.61	2372.49	2371.22	2369.88	2350.04
P.U teórico	2330.55	2336.40	2335.41	2336.39	2341.26	2330.55
Vol. producido (m³)	0.988	0.990	1.022	1.062	1.108	1.065
Factor de corrección	1.012	1.010	0.978	0.942	0.902	0.939
%Variación de vol. respecto al patrón	0%	0.2%	3.4%	7.4%	12%	7.3%

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados se puede confirmar que los valores teóricos no reflejan la dosificación real para cada mezcla por metro cúbico. Esto se debe a que el porcentaje de reemplazo se realizó en unidades de peso, por lo tanto, el volumen elaborado será superior al de diseño. Los verdaderos valores se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Cantidades reales en stock por metro cúbico de concreto

Material (kg/m ³)	Diseño de mezcla corregido					
	D1 – 0%	D2 – 5%	D3 – 20%	D4 – 40%	D5 – 60%	D6 – *40%
Agua	233.88	227.82	219.69	209.21	194.52	214.42
Cemento	519.74	507.04	491.21	470.75	441.06	482.01
Ag. Grueso	1163.36	1160.05	1123.83	1081.81	1036.61	1078.90
Ag. Fino	442.65	462.57	448.13	435.32	436.06	410.51
Concha	0.00	23.13	89.63	174.13	261.63	164.20
P.U. real	2359.63	2380.61	2372.49	2371.22	2369.88	2350.04
A/C real	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Contenido de aire (NTP 339.083, 2003). Este ensayo se realizó según la norma ASTM-C231, equivalente a la NTP 339.083, usando un medidor tipo B. El contenido de aire de diseño fue de 1.5%.

Según los resultados mostrados en la Figura 25, se puede observar que el contenido de aire no varía significativamente respecto al valor de diseño (1.1 a 1.5%). Esto se debe que al ser un concreto de mayor resistencia, el diseño de mezcla exige una relación agua/cemento menor, es decir, más cantidad de pasta. De este modo, a pesar de que la cantidad de RCA aumente y pueda generar vacíos entre las partículas debido a su forma angulosa, se puede decir que no son significativos y que la cantidad de pasta utilizada es suficiente para cubrirlos con eficiencia. Esto es coherente con los valores de PU para cada mezcla, donde la variación entre ellas es mínima como se ha podido explicar en el punto 3.2.2.

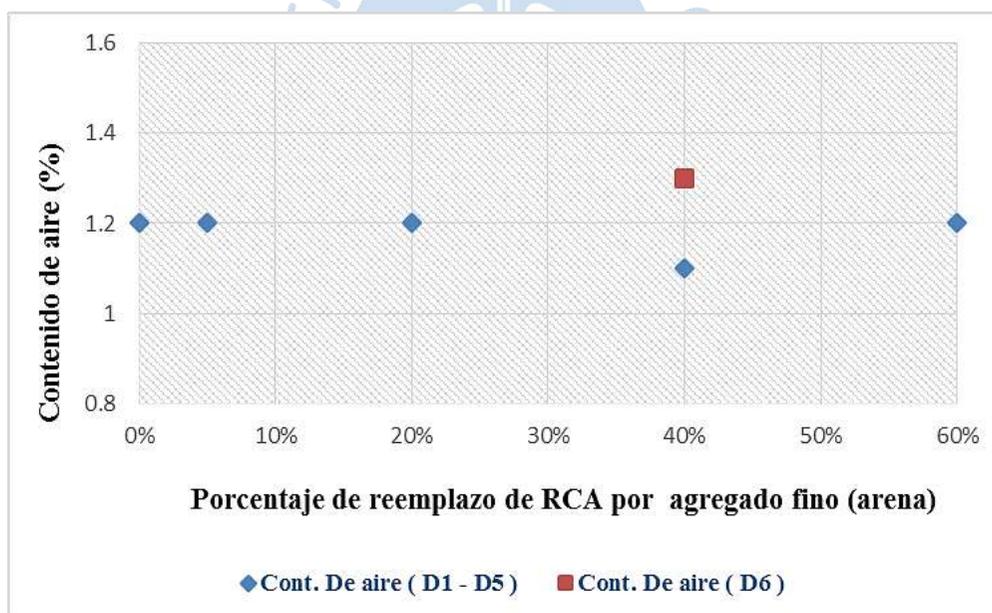


Figura 25. Contenido de aire presente en el concreto según el porcentaje de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

2.4. Slump (NTP 339.045, 2011). En la Figura 26 se observa que las variaciones de slump no son muy notorias, debido a que en la presente tesis se buscó que el slump se mantuviera en 10 cm y la relación agua/cemento en 0.45. Esto se hizo para asegurar que el RCA no absorba una gran cantidad de agua, interfiriendo con la relación a/c.

Sin embargo, se realizó un diseño donde se mantuvieron las condiciones iguales a la mezcla patrón, para así conocer la influencia del RCA triturada en la trabajabilidad de concreto. Se puede observar que en el “D6” equivalente a un reemplazo de 40% el slump tiene un valor de 12.80 cm, lo cual verifica que la presencia del RCA triturada contribuye en la mejora de la trabajabilidad de la mezcla de concreto.

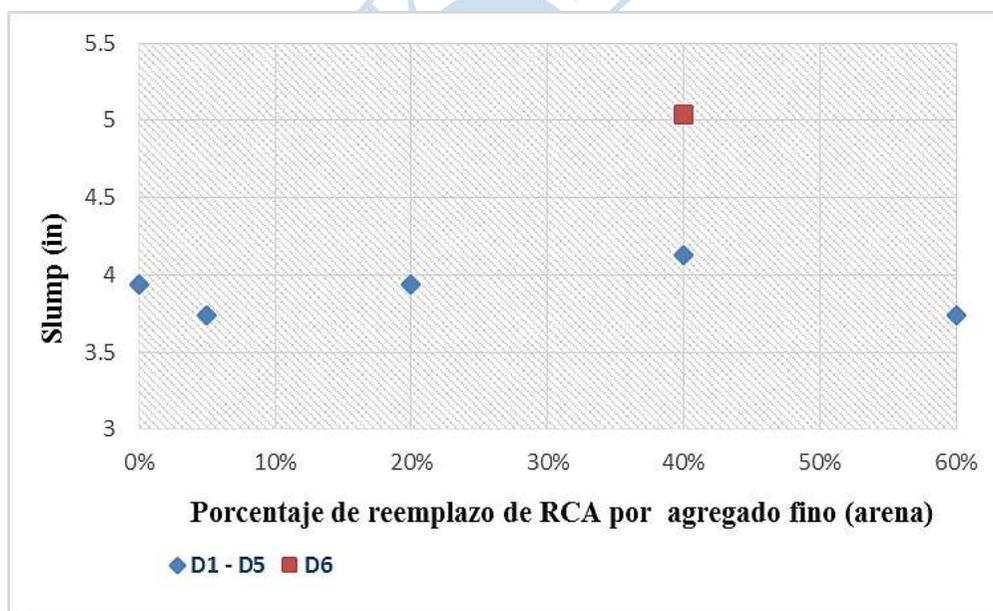


Figura 26. Asentamiento de la mezcla de concreto según el porcentaje de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

3. Resultados del concreto endurecido

La calidad del concreto viene relacionada a cuánto es capaz de resistir el concreto y cuán durable es a lo largo del tiempo. Por lo tanto, se han usado los siguientes parámetros: la resistencia a la compresión simple y la porosidad del concreto, para cuantificar y calificar su

calidad. El concreto fue ensayado a 28 días de curado para un reemplazo parcial en peso del agregado fino por el RCA triturada en estado limpio.

3.1. Capacidad de absorción (NTP 339.187, 2013). El ensayo de absorción, fue realizado con la finalidad de verificar los posibles problemas de durabilidad y resistencia según la formación de vacíos en la mezcla de concreto a partir del uso de RCA triturada como reemplazo parcial en peso del agregado fino.

El porcentaje de absorción es la masa de agua necesaria para llevar un material pétreo (concreto) del estado seco al horno (OD) al estado saturado superficie seca (SSD), y es una medida de los poros permeables del mismo. Mientras que el porcentaje de absorción máxima es la masa de agua necesaria para llevar un material pétreo (concreto) del estado seco al horno (OD) al estado mojado. Asimismo, el porcentaje de poros permeables son los poros interconectados presentes en el concreto, que contribuyen al flujo de fluidos o a la permeabilidad. Este porcentaje es considerado una medida del grado de durabilidad de las estructuras frente a los agentes agresivos.

En la Tabla 19 se observa los valores promedio de las siete mini-probetas de un volumen equivalente de 480 cm³, podemos ver que a medida que el porcentaje de reemplazo aumenta, la absorción y los poros permeables disminuyen. Esto se debe a que el peso específico aumenta conforme lo hace el porcentaje de reemplazo. Este parámetro cobra especial importancia, dado que agregados de altos pesos específicos generalmente indican material poco poroso, resistente y de baja absorción. Asimismo, una buena calidad de compactación disminuye la presencia de poros permeables en el concreto. Sin embargo, la diferencia entre estos valores respecto a la mezcla patrón es mínima, indicando que la presencia del RCA triturada en el concreto no influye significativamente en la porosidad del concreto.

Tabla 19. Resultados promedio del ensayo de absorción

Edad de curado	Muestra					
	D1 – 0%	D2 – 5%	D3 – 20%	D4 – 40%	D5 – 60%	D6 – *40%
%Absorción	8.95	8.29	8.71	8.63	8.11	8.69
% respecto al patrón	100%	92.62%	97.32%	96.45%	90.64%	97.11%
%Absorción máxima	9.32	8.75	9.12	9.12	8.68	9.28
% respecto al patrón	100%	93.89%	97.86%	97.86%	93.16%	99.53%
%Poros permeables	20.59	19.44	20.15	20.18	19.36	20.34
% respecto al patrón	100%	94.43%	97.86%	97.98%	94.03%	98.77%

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de reemplazo de 20% y 40% presentan menor variación, lo cual puede relacionarse a la distribución de sus partículas en la curva granulométrica, verificando que presenta un mejor comportamiento del RCA triturada al acomodarse adecuadamente respecto a los otros elementos de la mezcla, ocasionando una reducción de espacios vacíos; y así, la necesidad de una menor cantidad de pasta.

3.2. Resistencia a la compresión (NTP 339.034). En la Tabla 20 se han consolidado los resultados de las resistencias a la compresión para cada proporción de reemplazo de agregado por RCA triturada, estos resultados equivalen al promedio de las resistencias de dos probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Además, se muestra el porcentaje obtenido de las resistencias respecto a la mezcla patrón a la edad de 28 días de curado.

Tabla 20. Promedio de resistencias a la compresión de cada diseño de mezcla de concreto

Edad de curado	Muestra					
	D1 – 0%	D2 – 5%	D3 – 20%	D4 – 40%	D5 – 60%	D6 – *40%
28 días	292	262	255	280	282	274
%respecto al patrón	100%	90%	87%	96%	97%	94%

Fuente: Elaboración propia.

Se puede decir que la resistencia a la compresión disminuye conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo, sin embargo, esta variación no es significativa, a excepción de los reemplazos de 5% y 20%, donde la resistencia disminuye en un 10% y 13%, respectivamente. En la Figura 27 se puede observar los valores graficados, mostrando que efectivamente el uso de RCA triturada afecta la resistencia mecánica. No obstante, Nizama (2014) y Saavedra (2016) dicen que es posible obtener un concreto con características mecánicas adecuadas al reemplazar el agregado de forma parcial por el RCA triturada (entre los tamaños 4.75 mm y 1.19 mm), pero solo hasta un máximo del 40%, pues más allá de este valor la resistencia disminuye significativamente.

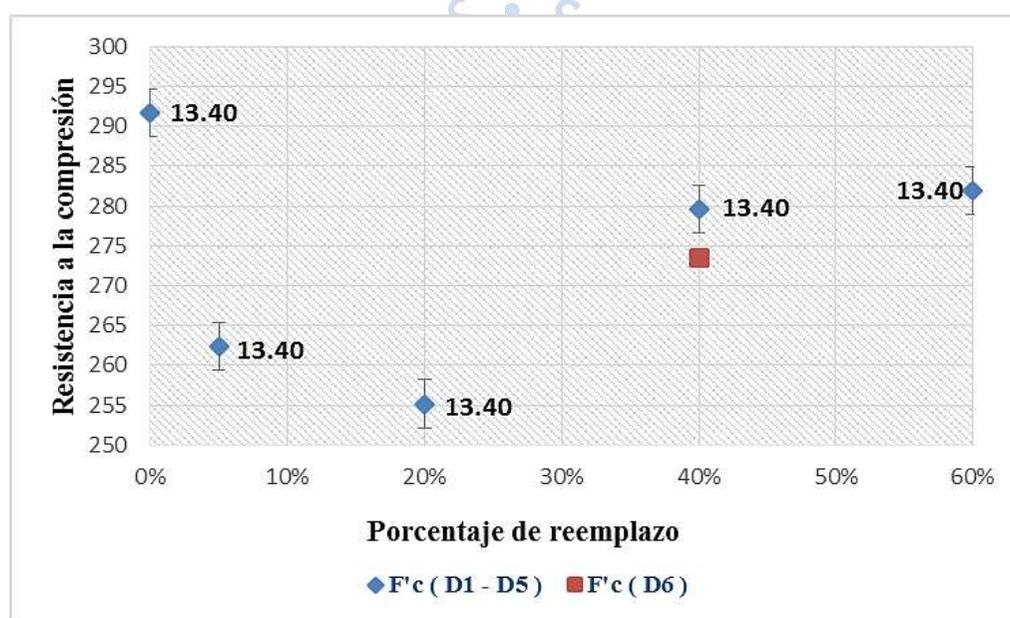


Figura 27. Resistencia a la compresión del concreto según el porcentaje de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

Si bien la literatura indica que fijando la relación a/c y el slump a medida que crece el porcentaje de reemplazo de RCA el valor de la resistencia mecánica disminuye, en el caso de los porcentajes de reemplazo de 40% y 60% no es así, ya que a pesar de tener una ligera variación respecto a la mezcla patrón, sus valores son mayores en comparación a los porcentajes de reemplazo de 5% y 20%. Esto se pudo deber, que, al momento de buscar que la relación agua/cemento se mantenga constante o al menos que la variación sea mínima, se

realizó una modificación en campo de los elementos que componen la mezcla. Si se vuelve a observar la Tabla 19, se encuentra que los valores de relación agua/cemento de los porcentajes de 40% y 60% tienen el valor de 0.44, si bien la variación es mínima, ésta puede ser la causa de la diferencia entre la resistencia de dichos porcentajes respecto a la mezcla patrón.

También se considera que esta reducción de resistencia pudo ser causada por la forma del nuevo elemento, a pesar de que su forma angulosa podría generar un mejor acomodo de las partículas evitando así la aparición de vacíos en la mezcla, pudo existir la posibilidad de que no haya favorecido en su totalidad debido a una inadecuada consolidación, ocasionando aire atrapado en el concreto; pero, según los resultados obtenidos (Figura 23) no hubo variación alguna en el contenido de aire, por lo tanto se desiste de esta hipótesis.

En las Figuras 28, 29 y 30 se puede observar que los valores presentan la misma tendencia respecto al porcentaje de reemplazo de RCA, esto no indica que dichas mezclas sean de buena calidad. Al ser el porcentaje de absorción y porcentaje de poros permeables mayores a 5% y 15%, respectivamente, el concreto presentará una menor durabilidad. Esto indica que es un concreto que puede ser utilizado según su resistencia, más no por su durabilidad, siempre que este expuesto a un ambiente severo y su espesor de recubrimiento sea de 30 mm.



Figura 28. Porcentaje de absorción vs. resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

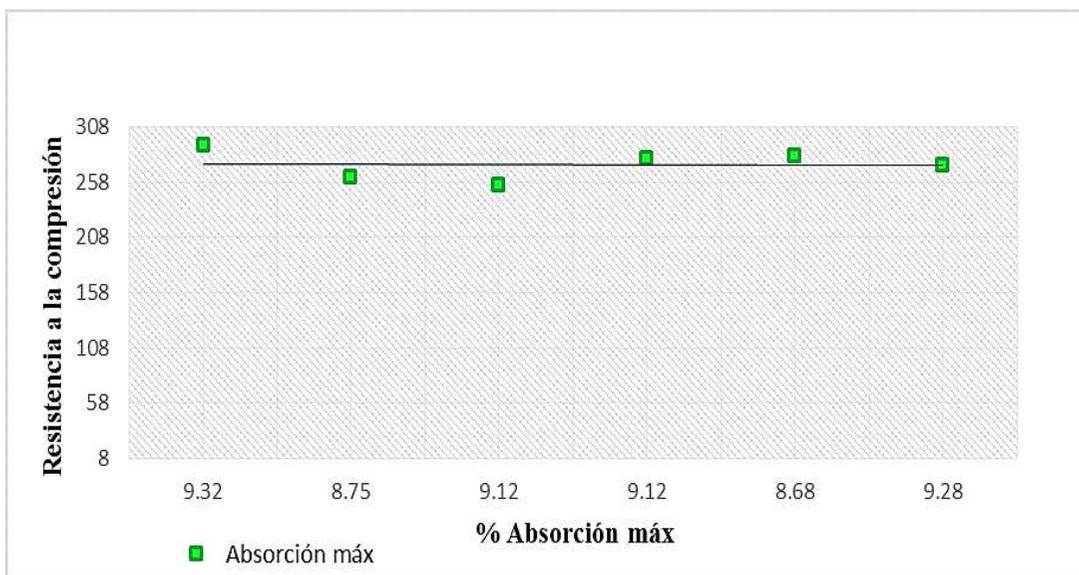


Figura 29. Porcentaje de absorción máx. vs. resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

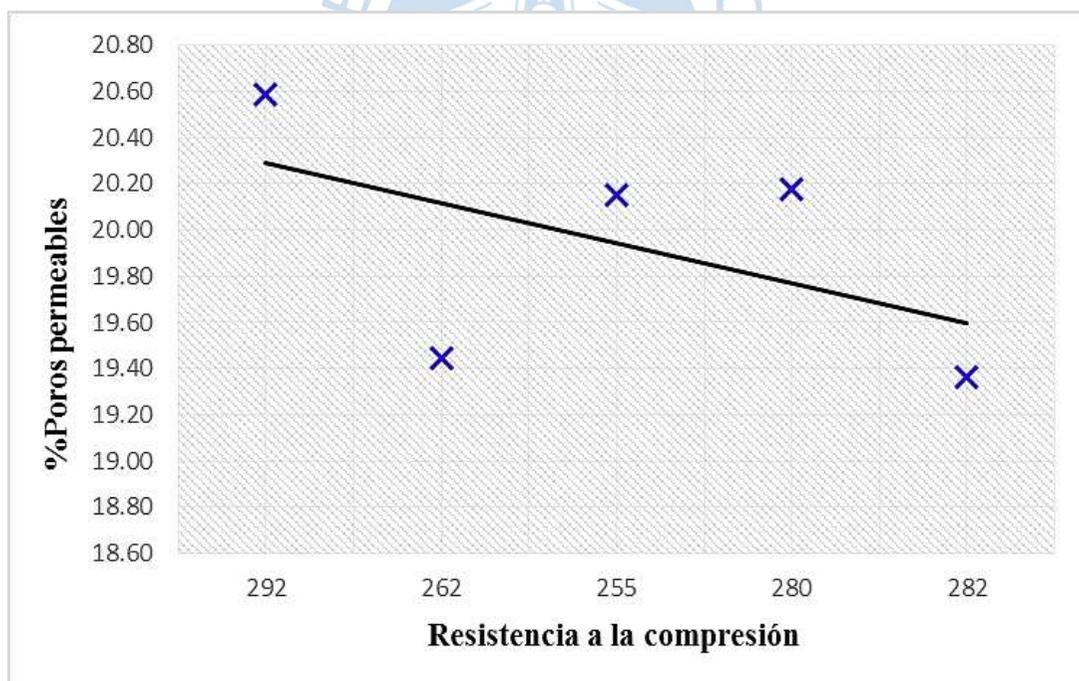


Figura 30. Porcentaje de poros permeables vs. Resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Tipo de falla. Se pudo observar que el modo de falla de todas las probetas fue de corte, un tipo de rotura común en los concretos convencionales de resistencia moderada. Por lo tanto, el comportamiento del concreto elaborado con reemplazo de RCA triturada no se ve afectado por su forma, fragilidad y el acomodo de las partículas con los demás elementos del concreto. A continuación, en la Figura 31 y 32 se muestra los patrones de falla de las probetas elaboradas a 28 días.

En Yang et al. (2005), Nguyen et al. (2013) y Nizama (2015) sugieren que la fragilidad del RCA triturada es percibida cuando el tamaño de sus partículas es semejante a las de un agregado grueso, ya que su forma plana es un poco más curvada formando así vacíos difíciles de llenar con pasta de cemento, causando una reducción de la resistencia y un aumento en la porosidad del concreto. No obstante, se observó que la fragilidad del RCA al presentar menor tamaño no influye significativamente en el desarrollo de la resistencia y la porosidad, más bien, será su grado de acomodo con el resto de los elementos de la mezcla que determinará su potencial para ser utilizado como agregado, y no por sus propias características mecánicas.



Figura 31. Patrones de falla de las probetas cilíndricas para 0% y 5% de reemplazo

Fuente: Elaboración propia

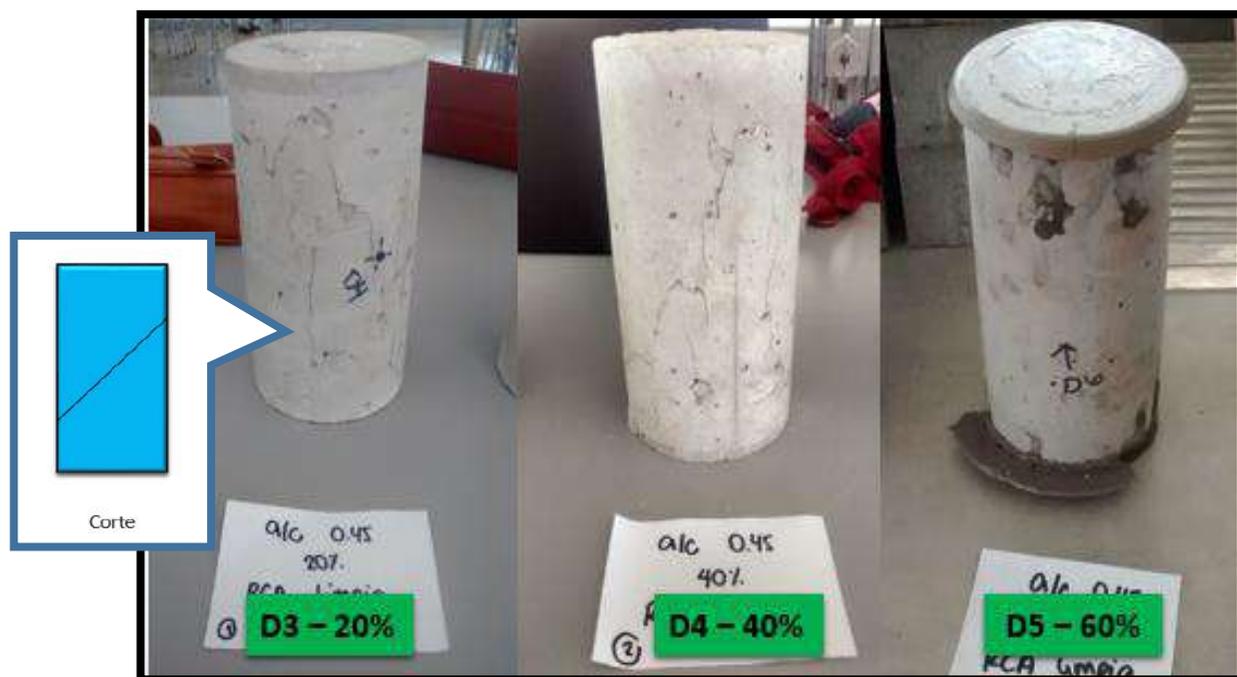


Figura 32. Patrones de falla de las probetas cilíndricas para 20%, 40% y 60% de reemplazo

Fuente: Elaboración propia



Conclusiones

1. El uso de RCA triturada en el concreto afectan los valores de absorción y de poros permeables del concreto, de tal manera que, su tamaño, forma y acomodo de las partículas a la hora de realizar la compactación de la mezcla ocasiona que el porcentaje de vacíos disminuya, por ende su porosidad en la interfase pasta – agregado (ITZ).
2. El grado de acomodo de las partículas de RCA con el resto de elementos de la mezcla, determina su potencial para ser utilizado como agregado y su papel en el desarrollo de la resistencia y porosidad del concreto.
3. El módulo de finura del agregado fino aumenta conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo de RCA triturada, dado a que esta última posee mayor tamaño completando así el tamaño de partículas intermedio que no tiene la arena natural garantizando un mejor acomodo de las partículas. Además, esto ocasiona una disminución del área superficial del agregado, lo que podría contribuir en afectar la trabajabilidad y la porosidad del concreto.
4. El estudio concluye que cuando se utiliza residuo de concha de abanico triturada (entre los tamaños 4.75 mm y 1.19 mm) se genera un comportamiento diferente del concreto en estado fresco y estado endurecido. Los valores de sus propiedades como: la trabajabilidad no varían significativamente, la resistencia a la compresión no se ve afectada y el porcentaje de vacíos disminuye, ocasionado que la porosidad disminuya a medida que el porcentaje de reemplazo aumente.
5. El porcentaje de reemplazo del residuo de concha de abanico no afecta el contenido de aire en su estado fresco, porque al ser un concreto de mayor resistencia, el diseño de mezcla exige una relación agua/cemento menor, es decir más cantidad de pasta que será utilizada para cubrir los vacíos entre partículas con eficiencia, disminuyendo así la absorción y los poros permeables.

6. En los resultados de resistencia a la compresión, se observa que el modo de falla en todos los reemplazos era de tipo corte, se entiende que la forma y fragilidad del RCA triturada no afecta el comportamiento del concreto.

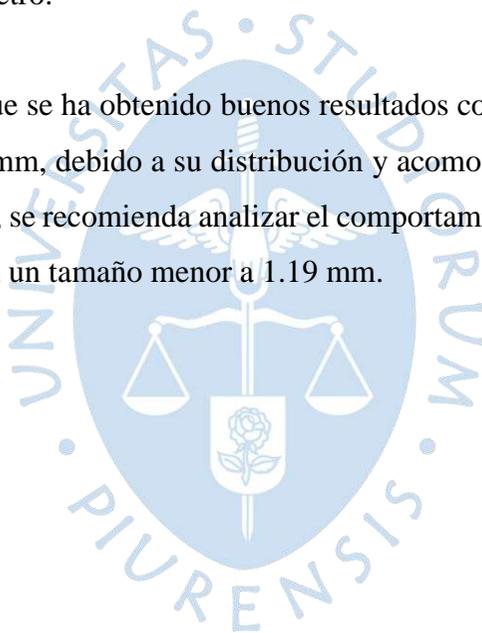
7. Después de haber evaluado cada una de las propiedades descritas en la presente tesis, ya sea en estado fresco o endurecido, se observa que con un porcentaje de reemplazo de 60% no se ve afectada significativamente la trabajabilidad, resistencia a la compresión e incluso obteniendo un menor porcentaje de absorción, siendo sus resultados muy cercanos a la mezcla patrón; esto se debe a que la curva granulométrica se encuentra ubicada aproximadamente en el centro de los husos granulométricos, originando un buen acomodo de las partículas, por lo tanto, un buen comportamiento en todas sus propiedades.



Recomendaciones

1. La presente investigación ha evaluado la influencia que produce el residuo de concha de abanico como reemplazo parcial en peso del agregado fino en la porosidad del concreto, siendo esta propiedad un indicador de su calidad y durabilidad. Sin embargo, se reconoce que el tiempo de curado es uno de los factores importantes para un buen desempeño del concreto, debido a que un curado deficiente podría afectar negativamente en sus propiedades. A pesar de la factibilidad técnica hallada en la presente investigación, se sugiere analizar la porosidad del concreto en todas las edades para obtener una visión más detallada de cómo va evolucionando este parámetro.

2. También, se observa que se ha obtenido buenos resultados con el RCA triturada entre los tamaños 4.75 mm y 1.19 mm, debido a su distribución y acomodo con los demás elementos del concreto. Sin embargo, se recomienda analizar el comportamiento del concreto utilizando un reemplazo de RCA con un tamaño menor a 1.19 mm.





Referencias Bibliográficas

- BRAVO, R., CASTRO, E., FÉRNANDEZ, L., HUAMÁN, C., RODRIGUEZ, O. & VALVERDE, W. (2014). *La hidratación y la resistencia desarrollada - previsión de la resistencia, relación gel / espacio, relaciones según la edad del concreto*. Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- CORAL, R., FLORES, N., GONZALES, E., & ROMERO, N. (2016). *Porosidad del agregado*. Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- CORTEZ, M. F., & SÁNCHEZ, J. A. (2006). *Mejoramiento en las propiedades físicas y químicas del cemento portland tipo MS por adición de Clinker tipo V, en la sustitución de escoria BFS de alto horno*. Universidad Nacional de Trujillo.
- DIARIO "EL TIEMPO" (2014). *Sechura recibe 100 mil toneladas de basura marina*. Piura.
- GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, L. (2003). *Concreto y otros materiales para la Construcción*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- INDECOPI (2014) 400.037 – AGREGADOS: Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.
- KOSMATKA, S. H., KERKHOFF, B., PANARESE, W. C., & TANESI, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois: Portland Cement Association.
- KUO, WT., WANG, HY., SHU, CY. & SU, DS. (2013). *Engineering properties of controlled low-strength materials containing waste oyster shells*. Construction and Building Materials, 46, 128-133.

- LÓPEZ, J. O. (2004). *“Porosidad del concreto”*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala
- SIDNEY, M. (2010). *“Aggregates in concrete”*, Taylor & Francis e-Library, tercera edición.
- MEHTA, K., & MONTEIRO, P. (1998). *CONCRETO, Estructura, propiedades y materiales*. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.
- NEVILLE, A. M. (1997). *Properties of Concrete (4ta ed.)*. England: John Wiley & Sons.
- NGUYEN, DH., BOUTOUIL, M., SEBAIBI, N., LELEYTER, L. Y BARAUD F. (2013). *Valorization of seashell by-products in pervious concrete pavers*. Construction and Building Materials, 49, 151-160.
- NIZAMA, D. (2014). *“Valoración de residuos crustáceos para concretos de baja resistencia”*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura.
- OTTAZZI, G. (2004). *Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado*. Lima.
- RICHARDSON, A. E., & FULLER, T. (2012). *Sea shells used as partial aggregate replacement in concrete*. Structural Survey, 347-354.
- RIVVA, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: ACI Perú.
- VARHEN, C., CARRILLO, S., & RUIZ, G. (2016). *Experimental investigation of Peruvian scallop used as fine aggregate in concrete*. Universidad de Piura.
- VÁSQUEZ, A. R., (2012). *Cemento y sus aplicaciones*. Cementos Pacasmayo SAA.

YANG, E. I., YI, S. T., & LEEM, Y. M. (2005). *Sea shells used as partial aggregate replacement in concrete Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties. Cement and Concrete Research*, 2175 – 2182.

ZAVALETA, E. O. (2017). “*Concreto compactado con rodillo aplicado a pavimentos utilizando método de compactación de suelos*”. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Cajamarca





Anexos





Anexo A. Panel Fotográfico



Foto A.1. Ensayo de Consistencia del concreto con el Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia

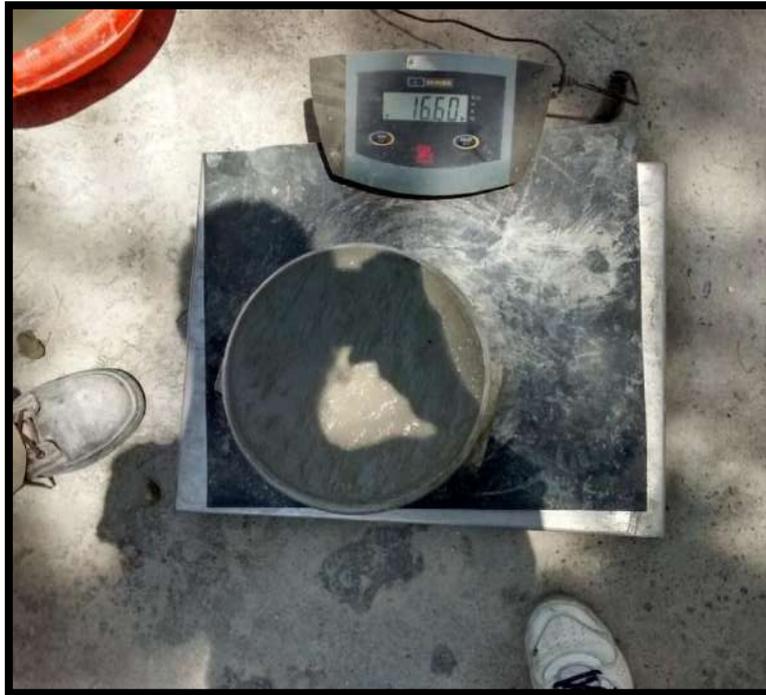


Foto A.2. Peso de la mezcla de Concreto para hallar P.U real

Fuente: Elaboración propia



Foto A.3. Contenido de aire del concreto en estado fresco

Fuente: Elaboración propia



Foto A.4. Elaboración de probetas de concreto

Fuente: Elaboración propia



Foto A.5. Desencofrado de probetas

Fuente: Elaboración propia



Foto A.6. Ensayo de absorción

Fuente: Elaboración propia



Foto A.6. Ensayo de compresión

Fuente: Elaboración propia



Foto A.7. Probeta con 5% de RCA de reemplazo

Fuente: Elaboración propia



Foto A.8. Probeta con 20% de RCA de reemplazo
Fuente: Elaboración propia



Foto A.9. Probeta con 40% de RCA de reemplazo
Fuente: Elaboración propia



Foto A.10. Probeta con 60% de RCA de reemplazo

Fuente: Elaboración propia





Anexo B. Resultados del concreto endurecido





MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19773 Informe N° : 170016
Fecha de recepción : 30/11/2016
Fecha de ensayo : 06/12/2016
Fecha de emisión : 05/01/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: MARIA XIMENA CUEVA SANCHEZ
Obra	: Tesis
Ubicación	: LEMC
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 08/11/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
1- D -3 - 5%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	21352	272	-
2- D -3 - 5%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	19858	253	-
3- D -3 - 5%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	19462	248	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionadas, pertenecientes a la misma orden de servicio : 18 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.
Correspondiente a esta orden de servicio, a la fecha se han emitido los informes N° 170015, 170016, 170017, 170018, 170019, 170020.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo


William A. Navarro
Ingeniero Civil
CIP 176339
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19773 Informe N° : 170017
Fecha de recepción : 30/11/2016
Fecha de ensayo : 06/12/2016
Fecha de emisión : 05/01/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: MARIA XIMENA CUEVA SANCHEZ
Obra	: Tesis
Ubicación	: LEMC
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 08/11/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
1- D -4 - 20%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	20409	260	-
2- D -4 - 20%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	19671	250	-
3- D -4 - 20%	08/11/16	06/12/16	28	10.0	18625	237	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionadas, pertenecientes a la misma orden de servicio : 18 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.
Correspondiente a esta orden de servicio, a la fecha se han emitido los informes N° 170015, 170016, 170017, 170018, 170019, 170020.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo


William Araujo Navarro
Ingeniero Civil
CIP 176659
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19773 Informe N° : 170018
Fecha de recepción : 30/11/2016
Fecha de ensayo : 09/12/2016
Fecha de emisión : 05/01/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: MARIA XIMENA CUEVA SANCHEZ
Obra	: Tesis
Ubicación	: LEMC
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 11/11/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
1- D -5 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	21648	276	-
2- D -5 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	21695	276	-
3- D -5 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	22219	283	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionadas, pertenecientes a la misma orden de servicio : 18 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.
Correspondiente a esta orden de servicio, a la fecha se han emitido los informes N° 170015, 170016, 170017, 170018, 170019, 170020.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo


William Araujo Navarro,
Ingeniero Civil
CIP 176559
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19773 Informe N° : 170019
 Fecha de recepción : 30/11/2016
 Fecha de ensayo : 09/12/2016
 Fecha de emisión : 05/01/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: MARIA XIMENA CUEVA SANCHEZ
Obra	: Tesis
Ubicación	: LEMC
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 11/11/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
1- D -6 - 60%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	20977	267	-
2- D -6 - 60%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	22194	283	-
3- D -6 - 60%	11/11/16	09/12/16	28	10.0	22091	281	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
 Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
 Han sido recepcionadas, pertenecientes a la misma orden de servicio : 18 Especímenes
 La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.
 Correspondiente a esta orden de servicio, a la fecha se han emitido los informes N° 170015, 170016, 170017, 170018, 170019, 170020.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
 Presenció el ensayo

William Araujo Navarro
 William Araujo Navarro
 Ingeniero Civil
 CIP 176559
 Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.



MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE
MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO
Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 19776 Informe N° : 170020
Fecha de recepción : 30/11/2016
Fecha de ensayo : 09/12/2016
Fecha de emisión : 05/01/2017

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: MARIA XIMENA CUEVA SANCHEZ
Obra	: Tesis
Ubicación	: LEMC
Muestreo realizado por	: El solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 11/11/2016

RESULTADOS:

Identificación del espécimen	Fecha de moldeo	Fecha de ensayo	Edad (días)	Diámetro (cm)	Carga máxima (kg)	Resistencia de rotura (kg/cm ²)	Resistencia especificada (kg/cm ²)
1- D -7 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	15.2	48192	266	-
2- D -7 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	15.2	49453	273	-
3- D -7 - 40%	11/11/16	09/12/16	28	15.2	49808	274	-

Observaciones:

La resistencia de rotura sólo refleja la resistencia individual a compresión de la probeta ensayada.
Los cuidados previos de los especímenes hasta la edad de ensayo, han sido hechos por: El solicitante.
Han sido recepcionadas, pertenecientes a la misma orden de servicio : 18 Especímenes
La identificación de los especímenes ha sido definida por el solicitante.
Correspondiente a esta orden de servicio, a la fecha se han emitido los informes N° 170015, 170016, 170017, 170018, 170019, 170020.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.
Presenció el ensayo

William Araujo Navarrete
William Araujo Navarrete
Ingeniero Civil
CIP 175559
Responsable



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.