



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida
de trabajabilidad en el tiempo**

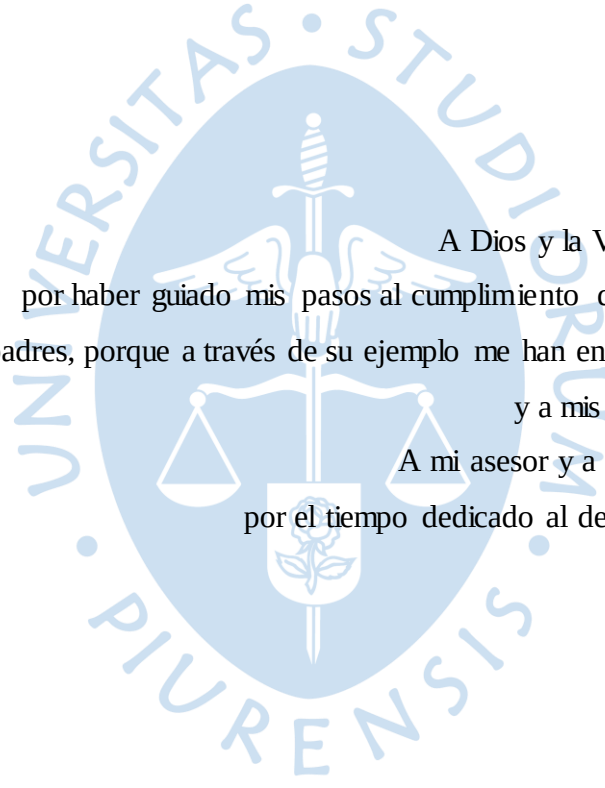
Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Jorge Antonio Manrique Purizaca

Asesor:
MSc. Christian Mario Varhen García

Piura, octubre de 2019





A Dios y la Virgen María Auxiliadora,
por haber guiado mis pasos al cumplimiento de cada una de mis metas.
A mis padres, porque a través de su ejemplo me han enseñado a vivir en valores;
y a mis hermanos, por su apoyo.
A mi asesor y a los técnicos involucrados,
por el tiempo dedicado al desarrollo de este proyecto.



Resumen Analítico-Informativo

Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo.

Jorge Antonio Manrique Purizaca

Asesor: MSc. Christian Mario Varhen García

Tesis.

Título de Ingeniero Civil.

Universidad de Piura. Facultad de ingeniería.

Palabras clave: Mezclas de concreto/ trabajabilidad/ dosificación/ superplastificante/ mantensor de plasticidad/ caja en L.

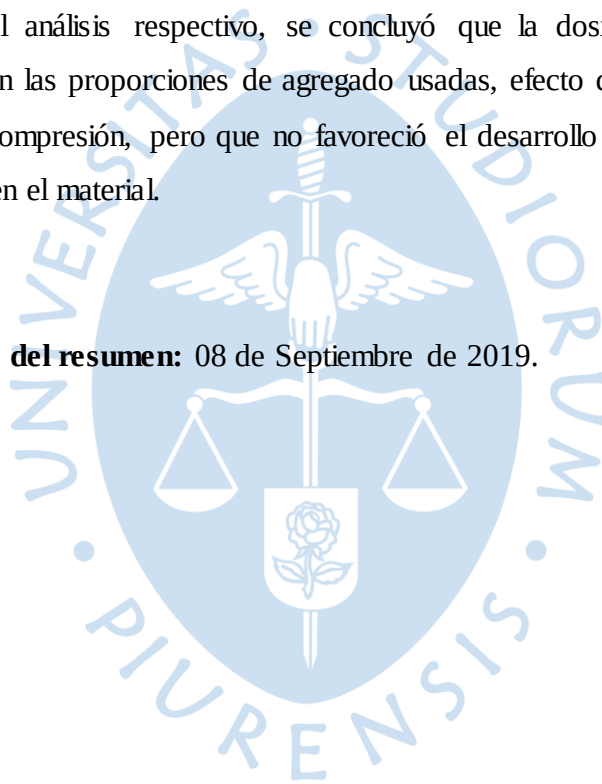
Introducción: El concreto simple, compuesto por agua, material cementante y áridos inertes, no desarrollará una resistencia mecánica elevada si se mantiene trabajable por un periodo prolongado, ni viceversa. Por esta razón, en la presente investigación se pretende fabricar una mezcla de concreto de consistencia fluida, que mantenga una baja pérdida de trabajabilidad durante un lapso determinado de tiempo y que además resista ante la acción de fuerzas de compresión considerables, a partir de la variación en la dosificación de aditivos superplastificante y retardante de fragua.

Metodología: En primer lugar, se calculó: peso unitario, gravedad específica, absorción y humedad total de los agregados; a partir de este análisis se llevó a cabo la elaboración de cuatro diseños de mezcla. En el primero no se dosificó ningún tipo de aditivo, en el segundo solo se incorporó un superplastificante, mientras que, en el tercero y cuarto se añadieron un superplastificante junto con un retardante de fragua en cantidades distintas para cada diseño. Finalmente, se evaluó la trabajabilidad y la resistencia a la compresión en cada una de las mezclas, cuyos valores también fueron comparados con el objetivo de identificar los efectos provocados por los productos adicionados; para esto se aplicaron los ensayos de: medición del slump, extensibilidad del concreto y resistencia a la compresión, y se implementaron en el laboratorio de ensayo de materiales de construcción (LEMC) las pruebas del anillo-J y L-Box. Adicionalmente, la obtención de la temperatura y del peso unitario de cada mezcla permitió tener una noción de cómo estos parámetros influyen en la fluidez del material.

Resultados: En el programa experimental de la presente investigación se obtuvo como resultado la disminución de la temperatura de la mezcla, así como un descenso en el valor del peso unitario, a medida que se dosificaba una mayor cantidad de aditivo. Respecto a la trabajabilidad de los diseños, en ninguno de estos se logró mantener la fluidez por un periodo de 4 horas o más, sin embargo, fue la mezcla adicionada con la mayor proporción de superplastificante y retardante de fragua la que se mantuvo trabajable por más tiempo. No se obtuvieron los resultados esperados tras la aplicación del ensayo denominado L-Box, pero el estancamiento entre las partículas de agregado permitió que las fuerzas de compresión se distribuyeran mejor a través de los áridos de mayor tamaño.

Conclusiones: Tras el análisis respectivo, se concluyó que la dosificación de los aditivos provocó un aumento en las proporciones de agregado usadas, efecto que generó el incremento de la resistencia a la compresión, pero que no favoreció el desarrollo de trabajabilidad por un periodo considerable en el material.

Fecha de elaboración del resumen: 08 de Septiembre de 2019.



Analytical-Informative Summary

Design and testing of concrete mixtures with low loss of workability over time.

Jorge Antonio Manrique Purizaca

Advisor: MSc. Christian Mario Varhen García

Thesis.

Civil engineer degree.

Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.

Keywords: Concrete mixtures/ workability/ dosage / superplasticizer / plasticity maintainer / L box.

Introduction: Simple concrete, consisting of water, cementing material and inert aggregates, will not develop a high mechanical strength if workable is maintained for a prolonged period, nor vice versa. For this reason, in the present investigation it is expected to manufacture a concrete mixture of fluid consistency, that maintain a low loss of workability for a certain period of time and that also resists the action of considerable compression forces, from the variation in the dosage of super plasticizing additive and forge retardant.

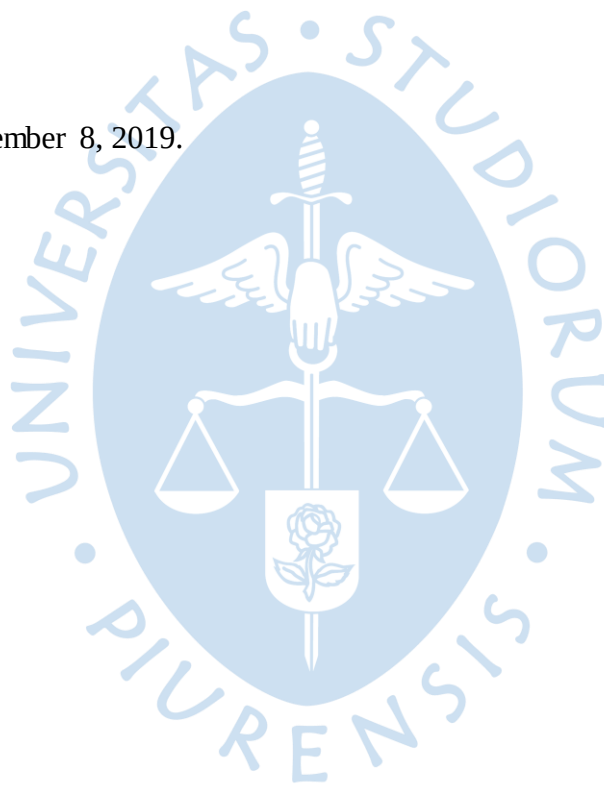
Methodology: First, it was calculated: unit weight, specific gravity, absorption and total humidity of the aggregates; from this analysis, four mixing designs were carried out. In the first one no type of additive was dosed, in the second only a superplasticizer was incorporated, while in the third and fourth a superplasticizer was added together with a forge retardant in different quantities for each design. Finally, workability and compressive strength were evaluated in each of the mixtures, whose values were also compared with the objective of identifying the effects caused by the products added; For this, the tests of: settlement measurement, concrete extensibility and compressive strength were applied, and the J-ring and L-Box tests were implemented in the laboratory. In addition, obtaining the temperature and unit weight of each mixture will give a notion of how these parameters influence the fluidity of the material.

Results: In the experimental program of the present investigation it was obtained as a result the decrease of the temperature of the mixture, as well as a decrease in the value of the unit weight, as a greater amount of additive was dosed. Regarding the viability of the designs, none of these

managed to maintain fluidity for a period of 4 hours or more, however, it was the aggregate mixture with the highest proportion of superplasticizer and forging retardant that remained viable for longer. The expected results were not obtained after the application of the test called L-Box, but the stagnation between the aggregated particles allowed the compression forces to be better distributed across the larger aggregates.

Conclusions: After the respective analysis, it was concluded that the dosage of the additives caused an increase in the proportions of aggregates used, the effect that generated the increase in compressive strength, but that did not favor the development of workability for a considerable period in the material.

Summary date: September 8, 2019.



Prefacio

El desarrollo de nuevas tecnologías en el rubro de la construcción, que servirán para mejorar el desempeño de las estructuras, involucra en gran medida a los materiales usados en este tipo de actividades.

Este avance viene de la mano con el desarrollo de disciplinas como la mecánica de suelos, de las que se sirve la ingeniería civil para realizar un análisis completo, previo a la construcción de un proyecto; por lo tanto, si se llegara a conocer que el estrato sobre el que se asentarán las estructuras no es el adecuado, será necesario buscar una pronta solución ante la presencia de estos inconvenientes.

Las cimentaciones profundas (pilotes), desarrolladas como una alternativa confiable para la estabilización de suelos, demandan el diseño de mezclas con características de trabajabilidad superiores a las de un concreto convencional, para esto, se hará uso de sustancias que intervengan en la química y en las propiedades de los componentes del concreto, modificando su comportamiento con el fin de conseguir los efectos deseados; sin embargo, a pesar de que existe una amplia variedad de aditivos en el mercado, no se puede garantizar que con la dosificación de estos productos se cubrirán todos los requerimientos de un determinado proyecto respecto a las especificaciones de la mezcla.

A partir de lo expuesto anteriormente, se busca comprobar que las propiedades de trabajabilidad del concreto diseñado, se mantengan por un lapso prologado, a partir de la aplicación de dos tipos diferentes de aditivo.

Finalmente, quiero expresar mi gratitud al ingeniero Christian Varhen García, por guiar el desarrollo de esta investigación, por sus consejos y tiempo brindados; además, quiero agradecer a los técnicos especialistas del LEMC, por su valioso aporte durante el desarrollo del programa experimental.



Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1 Marco teórico	3
1. Ventajas y desventajas del concreto	3
2. Concreto fluido.....	6
3. Trabajabilidad o manejabilidad	8
3.1. Factores que afectan la trabajabilidad.	9
3.1.1. <i>Granulometría del agregado fino.</i>	9
3.1.2. <i>Granulometría del agregado grueso.</i>	9
3.1.3. <i>Forma y textura superficial de los agregados.</i>	10
3.1.4. <i>Cantidades relativas de pasta y agregados.</i>	10
3.1.5. <i>Contenido de agua y agregado grueso.</i>	11
3.1.6. <i>Fluidez de la pasta.</i>	12
3.1.7. <i>Contenido de aire.</i>	12
3.1.8. <i>Porcentaje de arena en el agregado total.</i>	12
3.1.9. <i>Características del cemento.</i>	13
3.1.10. <i>Tiempo y temperatura.</i>	13
3.1.11. <i>Aditivos.</i>	14
3.1.11.1. <i>Aditivo superplastificante.</i>	15
3.1.11.2. <i>Retardante de fragua.</i>	17
3.1.12. <i>Factores externos que afectan la trabajabilidad del concreto.</i>	18
3.1.12.1 <i>Mezclado del concreto.</i>	18
3.1.12.2 <i>Sistema de transporte.</i>	19
3.1.12.3 <i>Colocación de la mezcla.</i>	21
3.1.12.4 <i>Compactación de la mezcla.</i>	22
3.2. Ensayos de caracterización.	22
3.2.1. <i>Agregados minerales.</i>	23
3.2.1.1 <i>Análisis granulométrico.</i>	23
3.2.1.2 <i>Peso unitario.</i>	26
3.2.1.3 <i>Gravedad específica.</i>	27
3.2.1.4 <i>Contenido de humedad.</i>	27
3.2.1.5 <i>Capacidad de absorción.</i>	29

3.2.2. Concreto fresco.	31
3.2.2.1. Asentamiento del concreto.	31
3.2.2.2. Peso unitario.....	33
3.2.2.3. Temperatura del concreto.....	33
3.2.2.4. Extensibilidad.....	34
3.2.2.5. J-Ring.	36
3.2.2.6. L-Box.	36
4. Concreto endurecido	37
4.1. Resistencia a la compresión.	38
5. Construcción de pilotes	39
5.1. Construcción de pilotes colocados in situ con camisa recuperable.....	41
5.2. Proyecto: Estabilización de terreno – Pilotes excavados.	41
5.2.1. Concreto para pilotes.....	41
5.2.2. Construcción de pilotes en el proyecto.	43
Capítulo 2 Programa experimental	45
1. Componentes del concreto	46
1.1. Cemento Pacasmayo Fortimax.....	46
1.2. Agregado fino.....	47
1.3. Agregado grueso.	48
1.4. Aditivos inorgánicos.	49
2. Ensayos aplicados	49
2.1. Caracterización de los agregados minerales.....	49
2.1.1 Análisis granulométrico.	49
2.1.2 Peso unitario suelto y varillado en stock de los agregados.	52
2.1.3 Gravedad específica.....	55
2.1.4 Capacidad de absorción.....	56
2.1.5 Humedad total.....	56
2.2. Concreto fresco.	58
2.2.1 Peso unitario.	58
2.2.2 Temperatura de las mezclas.	59
2.2.3 Medición del asentamiento del concreto (slump).	59
2.2.4 Extensibilidad del concreto.....	59
2.2.5 Flujo de la mezcla a través del anillo-J (J-Ring).....	60
2.2.6 L-box (caja en L).....	61

2.3. Concreto endurecido.	63
2.3.1 Resistencia a la compresión.	63
3. Diseño de mezclas	64
3.1. Diseño de mezcla patrón (P).	65
3.2. Diseño de mezcla D1037(0.85).	66
3.3. Diseño de mezcla D1037(0.85) yWR-75(0.25).	67
3.4. Diseño de mezcla D1037(1) yWR-75(0.3).	68
Capítulo 3 Análisis y discusión de resultados	71
1. Dosificación de los componentes en los diseños de mezcla fabricados	71
2. Concreto fresco	72
2.1. Peso unitario.	72
2.2. Temperatura de las mezclas de concreto.	73
2.3. Trabajabilidad.	75
2.4. Habilidad de paso del concreto.	79
2.4.1. Representación de la habilidad de paso.	85
2.5. Caja en L.	87
3. Concreto endurecido	89
Conclusiones	93
Recomendaciones	97
Referencias bibliográficas.....	99
Anexos	103
Anexo A.1 – Análisis granulométrico del agregado fino	104
Anexo A.2 – Análisis granulométrico del agregado grueso triturado	105
Anexo B.1 – Diseño y dosificación de la mezcla patrón	106
Anexo C.1 – Especificaciones técnicas del cemento fortimax.....	107
Anexo C.2 – Especificaciones técnicas del aditivo superplastificante	109
Anexo C.3 – Especificaciones técnicas del aditivo mantensor de plasticidad	112
Anexo D.1 – Granulometría del agregado fino (NTP 400.037).....	114
Anexo D.2 – Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037)	115
Anexo D.3 – Capacidad de los recipientes para realizar el ensayo de Peso Unitario (NTP 400.017).....	116
Anexo E.1 – Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla patrón..	117
Anexo E.2 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(0.85)	118

Anexo E.3 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(0.85) yWR-75(0.25)	119
Anexo E.4 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(1) yWR-75(0.3)	120



Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros físicos de los agregados.....	57
Tabla 2. Dosificación de la mezcla patrón.	66
Tabla 3. Dosificación de D1037(0.85).	67
Tabla 4. Dosificación de D1037(0.85) yWR-75(0.25).....	68
Tabla 5. Dosificación de D1037(1) yWR-75(0.3).....	69
Tabla 6. Dosificación de los diseños de mezcla en stock.	71
Tabla 7. Peso unitario (masa por unidad de volumen) de las mezclas de concreto.	72
Tabla 8. Tiempos y diámetros de extensibilidad de las mezclas de concreto.	80
Tabla 9. Tiempos y diámetros de flujo de las mezclas a través del anillo-J.	81

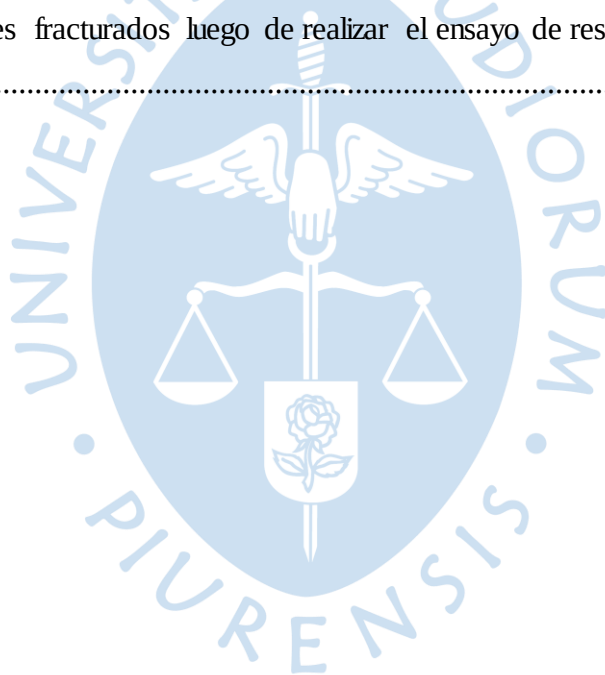




Lista de figuras

Figura 1. Esquema de los patrones del tipo de fractura.	39
Figura 2. Pérdida deseable de asentamiento a lo largo del tiempo.	42
Figura 3. Agregado fino.	47
Figura 4. Agregado grueso.	48
Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino procedente de la cantera Santa Cruz.	50
Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso triturado procedente de la cantera Sojo.	51
Figura 7. Acondicionamiento del agregado fino.	52
Figura 8. Apisonado del agregado fino.	53
Figura 9. Acondicionamiento del agregado grueso.	54
Figura 10. Varillado del agregado grueso triturado.	54
Figura 11. Acondicionamiento de las muestras de los agregados en el horno de secado.	57
Figura 12. Fabricación de concreto fluido.	58
Figura 13. Posicionamiento del cono de Abrams y extensión de la mezcla.	60
Figura 14. Anillo-J.	60
Figura 15. Colocación del concreto en el cono de Abrams invertido.	61
Figura 16. Caja en L (dimensiones en mm).	62
Figura 17. Acondicionamiento de los especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión.	64
Figura 18. Variación de la temperatura a lo largo del tiempo.	73
Figura 19. Asentamiento inicial de la mezcla patrón.	76
Figura 20. Caída del asentamiento a lo largo del tiempo.	76
Figura 21. Falla por cizalladura de la mezcla de concreto.	79
Figura 22. Diámetros de extensibilidad de las mezclas.	80
Figura 23. Flujo del concreto a través del anillo-J.	81
Figura 24. Diámetro de esparcimiento alcanzado por el concreto a través del anillo-J.	82
Figura 25. Extensibilidad de la mezcla de concreto.	83
Figura 26. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 35 y 40 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.	85

Figura 27. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 95 y 100 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.	86
Figura 28. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 155 y 160 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.	86
Figura 29. Desplazamiento real del concreto en el canal horizontal de la caja.	87
Figura 30. Capacidad del concreto para pasar entre el refuerzo y ocupar el volumen del encofrado.	87
Figura 31. Segregación de la mezcla durante el ensayo de la caja en L.	88
Figura 32. Comparación entre los valores de resistencia a la compresión promedio.	89
Figura 33. Espécimen elaborado con concreto de plasticidad mínima.	90
Figura 34. Especímenes fracturados luego de realizar el ensayo de resistencia a la compresión.	91



Introducción

El concreto es un material tan antiguo como útil, desarrollado con la necesidad de agrupar un conjunto de elementos, que eran usados como estructuras, para obtener un conglomerado que tuviera mayor resistencia y estabilidad. Ya en los primeros años de uso, el componente conglomerante era extraído del entorno a través de procesos como el de molienda de rocas, cuyo producto sufría cambios químicos cuando entraba en contacto con agua.

La industria de la construcción no ha sido ajena al constante desarrollo de técnicas y tecnologías usadas para mejorar el comportamiento del concreto, permitiendo al material, responder satisfactoriamente, frente a las necesidades únicas que se presentan en cada proyecto. En la actualidad, al uso de agregados minerales, agua y cemento, principales componentes del concreto, se ha añadido el empleo de sustancias diseñadas para modificar las características de una mezcla, sin afectar de forma negativa a otras; incluso el cemento, constituyente de mayor valor económico, tiene adiciones incorporadas desde fábrica, que potencian sus propiedades.

La presente investigación, abarca el estudio de un concreto utilizado en la construcción de pilotes, cuyas especificaciones han sido impuestas por la empresa encargada de su colocación; en resumen, era necesario fabricar una mezcla que se mantuviera trabajable durante un periodo de cinco horas aproximadamente, sin que presentara valores elevados de temperatura, además, debía esparcirse al interior del encofrado bajo la acción de su propio peso y pasar entre las barras de acero sin quedar estancado. El primer paso consiste en caracterizar cada uno de los componentes, ya que, a partir de la cuantificación de sus propiedades, se obtendrá la dosificación adecuada, con la que serán mezclados.

Debido a que es difícil que un concreto convencional cumpla con las especificaciones establecidas, se comparará el comportamiento de cuatro mezclas, diseñando una de estas sin dosificar ninguna adición que la haga más trabajable, mientras que las otras tres, presentaran modificaciones en sus propiedades a raíz de la incorporación de dos clases distintas de aditivo, en cantidades ascendentes y diferentes para cada una.

Finalmente, se llevarán a cabo los ensayos pertinentes para el concreto en esta fresco y endurecido, que permitan evaluar las características de trabajabilidad y resistencia desarrolladas

por los diseños de mezcla, identificando también los efectos generados por factores como: el tamaño y forma de los agregados, las proporciones en las que se han incorporado los aditivos, la temperatura ambiente y el calor liberado durante la hidratación del cemento; de tal manera que, de entre los cuatro diseños, se obtenga la dosificación que posibilite la fabricación de un material, cuyas propiedades estén acorde a las solicitudes establecidas.



Capítulo 1

Marco teórico

1. Ventajas y desventajas del concreto

La mejora y desarrollo de los materiales de construcción en los últimos años, ha venido de la mano con la búsqueda del incremento en la calidad de la infraestructura en materia de seguridad, durabilidad y economía, así como en un alto desempeño frente a sucesos que pongan en peligro su integridad (Ceballos, 2016).

El concreto, es el material que responde mejor a las exigencias actuales de construcción, ya que desarrolla ventajas importantes y adaptaciones al desarrollo tecnológico en torno a sus componentes; sin embargo, en términos de resistencia y dureza se encuentra en desventaja respecto a elementos como el acero. Esta comparación no es determinante para descartar su uso, lo cual se comprueba analizando los datos que indican que es un factor predominante en la mayoría de proyectos, tal y como lo da a conocer Ceballos (2016), quien afirma que la producción de este material a nivel mundial rodea los 13,000 millones de metros cúbicos por año.

Según Mindess, Young y Darwin, (2003) el concreto de peso normal, compuesto por arena natural y grava o agregados de roca triturada, es el material más utilizado; además, su adaptación a las especificaciones de cada proyecto demuestra su versatilidad y uso mayoritario.

A continuación, se presentarán las principales ventajas en el uso del concreto, propiedades que pueden ser aprovechadas desde la etapa de fabricación y colocación del material, durante toda su vida útil e incluso luego de haber sido sometido a un proceso de demolición al finalizar su tiempo de uso:

. Tiene la particularidad de adaptarse a la forma en la que se haya dispuesto el encofrado, como el de un prisma, por ejemplo. Durante el periodo previo a su fabricación, las reacciones químicas que se presentan entre sus componentes proporcionan trabajabilidad a la mezcla para posteriormente endurecer de manera indefinida en el tiempo; por lo que buscamos aprovechar

su consistencia plástica para lograr los acabados requeridos, dando lugar a una amplia gama de configuraciones estéticas (Ceballos, 2016).

. La presencia casi ilimitada de sus componentes a nivel mundial hace del concreto un material disponible en cualquier lugar. La posibilidad de que puede ser fabricado en la misma ubicación en la que se desarrolla el proyecto, permite aminorar los gastos de transporte, así mismo, debido a que no es necesario el uso de equipos industriales especializados para su elaboración, no se obtendrán residuos que contribuyan con la contaminación del entorno; además, la energía necesaria para producir el cemento, las barras de refuerzo y los aditivos, es menor en comparación con la utilizada en la manufacturación del acero estructural. Por lo tanto, a raíz de estos atributos, el concreto es considerado uno de los materiales usados en construcción más sustentables (Ceballos, 2016).

. El concreto fabricado siguiendo un adecuado proceso constructivo, no necesitará tratamientos especiales durante su vida útil y permanecerá en servicio muchos años; además, desarrollará capacidades como la de resiliencia¹, la cual le otorga resistencia ante la acción de cargas cíclicas y le permite absorber golpes. Gracias a estas propiedades, el material es una buena opción para usarse en ambientes naturales e industriales extremos (en los que existan condiciones de congelación, descongelación, abrasión y ataque por sulfatos) y es considerado como uno de los materiales más seguros (Ceballos, 2016).

. Frente a la acción de temperaturas elevadas, el concreto ayuda a mantener la integridad de la construcción por mucho más tiempo en comparación con elementos como la madera y el acero; además, no segrega material fundido, puede ser reparado fácilmente cuando es dañado por un incendio y no emite humo ni gases tóxicos (Mindess et al., 2003).

. La inercia térmica del concreto, propiedad que aumenta a medida que se incrementa su peso específico, le otorga la capacidad de tomar el calor del ambiente que le rodea, almacenarlo y finalmente liberarlo. Esta facultad aporta una mejora significativa en el confort que brinda a los usuarios la estructura constituida por este material y generará el uso eficiente de la energía

¹ Resiliencia: Energía de deformación que puede ser recuperada de un material deformado cuando cesa la fuerza que provoca la deformación.

consumida para mantener una temperatura adecuada al interior de dicha edificación (Mindess et al., 2003).

. Al finalizar su vida útil puede ser reciclado. El material se tritura para que pueda ser usado como agregado constituyente de la subbase y la base de una carretera; y en algunos casos forma parte de los componentes de una mezcla de concreto nueva. Otra forma de reciclarlo es reusando estructuras prefabricadas que son unidas con elementos de acero, las cuales se desmontan con facilidad para constituir elementos nuevos; estas prácticas disminuyen considerablemente la explotación de materia prima y los costos de transporte (Mindess et al., 2003).

. No libera sustancias que puedan contaminar el agua subterránea presente al interior del suelo que lo soporta. El resultado de los análisis químicos realizados a un gran número de muestras extraídas de los acuíferos que se encuentran bajo los elementos fabricados con varios tipos de concreto, dio como resultado que la cantidad de componentes dañinos se encontraba muy por debajo de los niveles permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud para el agua potable, por lo que el uso del material no tendrá consecuencias irreversibles en la población (Mindess et al., 2003).

Además de haber mencionado los principales beneficios del uso de concreto, es necesario saber cuáles son los problemas que aparecen en las estructuras constituidas con este material. Tener conocimiento sobre las desventajas nos ayudará a minimizar el impacto que genera en las edificaciones, en la medida de lo posible, mediante un diseño y control en el proceso constructivo adecuado.

. La mala elección de los componentes (cemento, tamaño y forma de los agregados y aditivos); así como un control inadecuado del proceso de fabricación, pueden generar problemas de segregación y exudación en el material durante su estado plástico; lo que a su vez traerá consecuencias indeseables sobre las propiedades del concreto endurecido. Si los áridos presentan mala granulometría se producirá segregación en la pasta, debido a que las partículas más pesadas se separan del mortero; la falta de agregado fino generará que el agua se disgregue de la mezcla, lo que se conoce como exudación (Mindess et al., 2003).

. Otro problema que se presenta en las estructuras de concreto es a causa de la inestabilidad en el volumen. La presencia de grietas en los elementos estructurales se debe a la contracción producida por la naturaleza de las reacciones químicas presentes en la hidratación del cemento y por los procesos propios del fraguado del concreto. Solo las fisuras que aparecen durante el fraguado pueden ser controladas aplicando técnicas de prevención adecuadas, como el curado (Mindess et al., 2003).

. El concreto endurecido es un material frágil y posee una resistencia a la tracción baja. Durante su vida útil, está sometido a la acción de fuerzas que generan su deformación, entre las cuales se encuentran las cargas de compresión y tracción; por esta razón, durante su colocación se combina con barras de acero, las cuales son embebidas al interior del elemento estructural, brindándole flexibilidad y absorbiendo las cargas de tracción. Este sistema permitirá que se controle el agrietamiento en la construcción (Mindess et al., 2003).

. La ductilidad del concreto es baja, esta desventaja se asocia con la fragilidad que caracteriza al material. A diferencia del acero, no llegará a la fluencia, quebrándose inmediatamente después de que sea sometido a la acción de sobrecargas (Mindess et al., 2003).

. La resistencia a la compresión que desarrolle está limitada por su peso unitario; es decir, un concreto liviano soportará cargas considerablemente menores en comparación con un concreto pesado; sin embargo, mientras mayor sea su capacidad para resistir a la acción de fuerzas de gran magnitud, la ductilidad del material disminuirá, lo que provocará que sea más frágil a tracción (Mindess et al., 2003).

2. Concreto fluido

Para fabricar este tipo de concreto, es necesario diseñar una mezcla que tenga una fluidez significativa, de tal manera que no existan inconvenientes durante el proceso de colocación; además, no deberá presentar problemas de segregación y debe ser capaz de desarrollar una adecuada habilidad de paso, debido a su consistencia especial. Generalmente, se dosificarán aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango, los cuales generan el incremento en la trabajabilidad del material (National Ready Mixed Concrete Association, s/f).

La fabricación del concreto fluido tiene lugar en plantas dosificadoras o en plantas mezcladoras, proceso en el que se controla continuamente la granulometría y humedad de los agregados para garantizar que la consistencia de la mezcla sea constante. Al finalizar el proceso de manufacturación, puede ser traslado en camiones mixer hasta la ubicación del proyecto (Mindess et al., 2003).

Autores como Sánchez (2001), indican que el uso de un aditivo superplastificante en mezclas con cinco centímetros de asentamiento, añadido siempre a pie de obra, puede cuadruplicar esta altura de caída del *slump*, alcanzando valores superiores a los veinte centímetros durante periodos de tiempo entre los 30 y 60 minutos; factores como el valor de la temperatura ambiente afectarán el desempeño del producto en el material. En consecuencia, se obtendrá un concreto que desarrolle una resistencia a la compresión elevada debido a una baja relación a/c, pero que presente una fluidez propia de una mezcla dosificada con una cantidad considerable de agua.

Generalmente, el material se coloca por bombeo o por el método del tubo-embudo; este último es el proceso más utilizado en la construcción de cimentaciones profundas, debido a que no necesita el uso de equipos que impliquen consumo de energía, ya que aprovecha el principio de vasos comunicantes y la gravedad. Para garantizar que el concreto fluido haya sido moldeado correctamente, se deberá comprobar el hermetismo del encofrado para evitar la pérdida de lechada y se considerará la acción de la presión hidrostática para encofrados con un alto mayor a los 3 metros. Además, es recomendable limitar la altura de caída libre y la distancia entre el punto de descarga del mixer y la ubicación del encofrado a valores máximos de 5 y 10 metros respectivamente, con el fin de evitar la presencia de segregación (Brown, Turner y Castelli, 2010).

Finalmente, en la etapa posterior al desencofrado de los elementos estructurales, se debe tener en cuenta que, gracias a la composición especial del material, se presentará un moderado aumento en la contracción de la mezcla en comparación con un concreto normal; y por consiguiente habrá un incremento en la cantidad de grietas o fisuras resultantes; es por esto que la realización de un proceso de curado a edades tempranas es necesario, con el fin de mantener las propiedades de la mezcla a lo largo del tiempo. Este procedimiento no se limita a técnicas especializadas ni costosas; por el contrario, se puede hacer uso de cualquier técnica, de

efectividad comprobada, aplicada con anterioridad a cualquier tipo de concreto (Brown et al., 2001).

Según Sánchez, (2001) las propiedades específicas de un concreto fluido se aprovechan mejor en estructuras donde existe congestionamiento de acero de refuerzo, ya que cubre partes estrechas y de difícil acceso; su uso en la construcción de elementos de poco volumen, procedimiento en el que no se utilizarán equipos especiales para la colocación del material, es el idóneo, ya que permite ahorrar tiempo durante la realización del proceso constructivo.

3. Trabajabilidad o manejabilidad

De acuerdo con las investigaciones realizadas por Mindess et al. (2003), desde la etapa de diseño de cualquier tipo de concreto, pasando por su fabricación y colocación, hasta el periodo en el que tiene lugar el proceso de fraguado, es necesario controlar el desarrollo de un conjunto de propiedades óptimas, para que sea fácilmente mezclado y transportado, tenga una consistencia constante en toda la tanda y entre tandas; y pueda ser capaz de fluir en cualquier forma en la que esté dispuesto el encofrado, sin la necesidad de hacer uso de una gran energía para compactarlo o sin que existan inconvenientes debido a la segregación; facilitando también los trabajos para lograr el mejor acabado final. La presencia de estas características tendrá un fuerte impacto sobre el concreto endurecido porque garantizará un buen desempeño para cualquier tipo de trabajo.

Es necesario considerar que las necesidades que deberá satisfacer el concreto fresco varían de acuerdo con las diferentes exigencias a las que será sometido en cada proyecto, generando el uso de un gran número de términos para hacer referencia a las propiedades que lo caracterizarán. Estas expresiones, subjetivas en varios casos, pueden agruparse bajo el concepto de trabajabilidad. Este parámetro, a menudo se define como la cantidad de trabajo mecánico o energía que se requiere para producir una compactación completa (consolidación) del material sin que se produzca segregación (Mindess et al. 2003).

La clasificación de esta propiedad está en función del valor del asentamiento del concreto en su estado plástico, obtenido en el ensayo del Cono de Abrams. Además, esta prueba nos ayudará a conocer la fluidez de la mezcla, parámetro usado para hallar cambios en la homogeneidad de esta.

3.1. Factores que afectan la trabajabilidad. Los principales agentes que afectan la trabajabilidad del concreto surgen a partir de sus componentes, así como de los métodos de fabricación y colocación usados. A continuación, se analizará cada uno de estos factores:

3.1.1. Granulometría del agregado fino. La falta o exceso de un determinado tamaño de partículas en el agregado fino generará espacios vacíos en la mezcla, que deberán ser rellenados por la pasta de cemento y agua con el objetivo de regular las características del concreto para que sea fácilmente manipulable y esté libre de porosidad. Habrá problemas de segregación cuando el árido está constituido solo por granos muy finos, por el contrario, si está compuesto solo por partículas gruesas el material será muy áspero, por lo que no se podrá lograr un buen acabado final (Rivera, s/f).

Para garantizar que el agregado fino tenga una granulometría continua, se recomienda usar el árido en el que no se haya retenido más del 45% de su peso total entre dos mallas consecutivas al momento de llevar a cabo el análisis granulométrico, proceso para el que se ha hecho uso de los tamices número 4, 8, 16, 30, 50 y 100. Además, para obtener una mezcla manejable, cohesiva y que tenga una buena textura, más del 15% de la muestra del árido deberá pasar por el cedazo N°50 y más del 4% por la malla N°100 (Rivera, s/f).

3.1.2. Granulometría del agregado grueso. El comportamiento del material, a causa de la falta o exceso de un determinado tamaño de partículas en el agregado grueso, es igual a lo que ocurre con el árido fino, es decir, que los espacios vacíos al interior de la mezcla serán llenados por la pasta de cemento y agua; por lo tanto, un factor importante para garantizar la presencia de trabajabilidad en el concreto es que el componente presente granos de todos los tamaños (Rivera, s/f).

Para subsanar problemas de granulometría discontinua en el agregado grueso, lo que significa que carece de partículas de tamaños intermedios, existen propuestas que ayudarán a mejorar el desempeño del concreto dosificado con un componente que presente esta deficiencia; por lo tanto, si se combina con un árido fino en el que se han descartado los granos más pequeños, se obtendrá una mezcla que tenga valores elevados de resistencia con una proporción de cemento mucho menor. Este hecho tiene lugar a partir de que la distribución de las partículas permite que estén en contacto directo unas con otras y porque

los vacíos se llenan con una matriz uniforme; en consecuencia, las cargas de compresión se transmiten a través de las partículas más gruesas y no por el mortero, cuya función es transferir esfuerzos de tracción y cizalladura (Rivera, s/f).

3.1.3. Forma y textura superficial de los agregados. Dentro de las diferentes formas y texturas que tienen las partículas de los áridos, cuanto más cerca estén dichos granos de ser redondeados y de tener una superficie lisa, mejor será la trabajabilidad de la mezcla, ya que se acomodarán y rodarán entre sí muy fácilmente (Mindess et al., 2003).

Para que las partículas alargadas, aplanadas, angulosas, ásperas y rugosas rueden unas sobre otras se necesita aumentar la energía necesaria para superar la fricción interna resultante, ya que entre estas existe mayor trabazón mecánica. Se debe tener en consideración que los granos achatados, con formas alargadas e irregulares, producirán un aumento en la demanda de arena, agua y cemento (Rivera, s/f).

La capacidad de absorción de los agregados, conocida como porosidad, puede afectar la trabajabilidad de la mezcla. El volumen de agua usado para humedecer a los granos se obtiene directamente de la pasta, lo que generará la pérdida de fluidez; por lo tanto, conocer el valor del porcentaje de absorción será necesario para subsanar, en lo posible, este problema (Mindess et al., 2003).

Se recomienda el uso de agregado fino natural, en lugar del obtenido durante el proceso de trituración de rocas. El porcentaje máximo permitido de partículas de árido grueso alargadas o aplanadas, para que la trabajabilidad de la mezcla no se vea afectada considerablemente, es de un 15% (Rivera, s/f).

3.1.4. Cantidades relativas de pasta y agregados. El efecto lubricante de la pasta sobre el concreto está influenciado por la relación entre esta y la proporción de los áridos. Mientras que esta correspondencia tenga un valor elevado, los agregados podrán desplazarse libremente al interior de la mezcla; de ocurrir lo contrario, la cantidad de pasta no será la suficiente para llenar los espacios vacíos lo que generará la producción de un material áspero y granuloso (Rivera, s/f).

3.1.5. Contenido de agua y agregado grueso. A partir de lo establecido por el American Concrete Institute (ACI)², se sabe que la suma de los volúmenes absolutos obtenidos al dividir el peso entre la densidad para cada componente (agua, cemento y agregados) es igual al volumen del concreto, dio a conocer que la trabajabilidad y la consistencia de la mezcla no varían mientras se mantengan constantes los volúmenes absolutos del agua y del árido grueso por metro cúbico de material, aunque se modifiquen los volúmenes absolutos del cemento y del agregado fino debido a la necesidad de cambiar la relación a/c.

Otro resultado del estudio dio a conocer que, para determinados valores del módulo de finura y tamaño máximo, parámetros cuyas definiciones se expondrán más adelante, se mantendrá constante el asentamiento de la mezcla en estado fresco para cualquier relación a/c usada, siempre que no varíe el volumen compactado del agregado grueso por metro cúbico de concreto (Rivera, s/f).

El componente que asegura la trabajabilidad de la mezcla es el agua, ya que permite el aumento de la fluidez y de la capacidad de compactación del concreto; sin embargo, si se agrega en cantidades excesivas, generará problemas de segregación y sangrado, así como la pérdida de resistencia a la compresión. Generalmente, cualquier tipo y tamaño de grano de agregado necesita agua para poder ser manejable; además, el contenido de agua deberá ser el suficiente, de tal manera que una porción cubrirá los poros y la superficie de las partículas de los áridos, mientras que la proporción sobrante lubricará el contacto entre las partículas; los granos del árido fino que poseen una mayor área superficial, demandarán la adición de más agua. Los componentes del concreto no actúan de forma independiente entre sí, por lo tanto, sin la incorporación de agregado fino, el material no será trabajable (Mindess et al., 2003).

² ACI Committee 211.1 (1991). "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211. 1.9.1.)".

3.1.6. *Fluidez de la pasta.* La pasta en una mezcla de concreto es una suspensión del cemento en el agua. La distancia entre las partículas de cemento aumentará conforme se incrementa la cantidad de agua incorporada, lo que a su vez provocará que la estructura de la pasta fresca se debilite; además, la resistencia que desarrolle el material en su estado endurecido será menor si la relación a/c es elevada (Rivera, s/f).

Respecto a la trabajabilidad del concreto, si la pasta contiene una mayor cantidad de cemento no se podrá integrar los agregados a la mezcla, debido a la deficiencia en la proporción de agua necesaria para cubrir la totalidad de los granos del árido; por el contrario, un exceso de agua aumentará la fluidez a tal punto que se producirá segregación y exudación en la mezcla (Rivera, s/f).

3.1.7. *Contenido de aire.* La presencia de aire durante la dosificación y mezclado de los constituyentes del concreto se da de forma accidental o a través de métodos cuya finalidad es la de introducir este fluido intencionalmente. Cuando el aire se aloja de forma fortuita al interior de la mezcla se le conoce como aire atrapado, el cual ocupa espacios en forma de burbujas en cantidades y tamaños variables, lo que provoca una disminución importante en la resistencia y durabilidad del material en su estado endurecido. Por otro lado, el aire inyectado de forma deliberada es llamado aire incorporado, el cual se hace presente en forma de esferoides que alcanzan diámetros entre los 0.07 y 1.25 mm, distribuidos de manera uniforme y aislados; la incorporación de aire produce el aumento en la plasticidad del concreto, previene la segregación y la exudación, ayuda a mejorar la trabajabilidad debido a que las cápsulas de aire aumentan el volumen de la mezcla, facilitando el movimiento de las partículas de agregado y brinda resistencia frente a la acción de procesos de congelamiento y descongelamiento, haciéndolo más durable en el tiempo (Rivera, s/f).

3.1.8. *Porcentaje de arena en el agregado total.* El uso excesivo de arena requerirá a su vez un aumento notable de agua para lograr la manejabilidad deseada; por otro lado, un concreto con bajo contenido de arena tenderá a producir segregación y exudación. Como regla general, el porcentaje de arena en una mezcla con una relación agua/cemento fija, será menor si la arena es fina y será mayor si la arena es gruesa (Rivera, s/f).

3.1.9. Características del cemento. El uso de cementos de molienda fina, como el tipo III, generará una reducción en la fluidez del concreto para una determinada relación a/c, ya que, para cubrir la totalidad de las partículas del componente, las cuales presentan un elevado valor de superficie específica, se requerirá un mayor volumen de agua (Mindess et al., 2003).

Durante el periodo de tiempo en el que la mezcla de concreto se encuentra en estado plástico, la hidratación del C_3S y C_3A en el cemento es uno de los factores que provocará pérdida constante de trabajabilidad. Esta variación en la fluidez del concreto a lo largo del tiempo es aproximadamente lineal, la cual desarrollará un aumento solo en la primera hora de haber empezado el mezclado de los componentes; por lo tanto, es importante cuidar la manejabilidad del material durante su colocación, a través de la correcta dosificación del cemento, agua y agregados (Mindess et al., 2003).

Cuando la mezcla tiene un bajo contenido de cemento (mezcla pobre) y sea diseñada con un valor alto de relación a/c, el material mantendrá su fluidez por más tiempo, debido a que bajo estas circunstancias la pérdida de trabajabilidad se desarrolla a una menor velocidad (Mindess et al., 2003).

3.1.10. Tiempo y temperatura. Las pruebas presentadas sobre el efecto que tiene en las mezclas de concreto el aumento de la temperatura ambiente indican que la trabajabilidad disminuirá, esto se debe a que parámetros como la velocidad de evaporación y la tasa de hidratación del cemento también tomaran valores elevados; el incremento en la cantidad de agua podría ayudar a disminuir este resultado (Mindess et al., 2003).

Existen estudios que sugieren que la trabajabilidad no se verá afectada si el concreto es expuesto a climas cálidos solo por periodos cortos de tiempo, por lo tanto, se recomienda hacer pruebas previas a la colocación del material, para determinar los efectos reales bajo ciertas condiciones de trabajo. De presentarse temperaturas iguales o por debajo de los $4^{\circ}C$, la mezcla deberá protegerse de forma adecuada, sin embargo, esta circunstancia provocará que la hidratación de los granos de cemento sea más lenta, lo que permitirá que el concreto conserve su fluidez por más tiempo y que haya un aumento en la resistencia a la compresión (Mindess et al., 2003).

3.1.11. Aditivos. Según Mindess et al. (2003), cuando existe una deficiencia de granos de los tamaños más pequeños en los agregados se recurre al uso de adiciones minerales, ya que pueden proveer de finos a las mezclas ásperas y ayudan a prevenir la presencia de exudación, aumentando también la trabajabilidad; sin embargo, al usar cualquier tipo de aditivo, será necesario incrementar la relación a/c para evitar que se presente mayor retracción del concreto o que disminuyan propiedades como la resistencia y la durabilidad.

Existen en el mercado adiciones químicas cuya función es la de incrementar el asentamiento, mejorar la trabajabilidad de una mezcla que presenta agregados mal gradados y disminuir el tiempo de inicio del fraguado; siempre en función de las diferentes necesidades del proyecto. A pesar de las ventajas que se hacen presentes al incluir estos productos en la mezcla, es necesario saber que este componente reaccionará de manera distinta para cada tipo de cemento y agregados; llegando incluso a generar pérdida de manejabilidad en el concreto (Rivera, s/f).

Según Rivera, (s/f) en general los aditivos son productos que, agregados en pequeñas proporciones durante la fabricación de morteros y concretos, modifican sus propiedades y permiten que se puedan adaptar mejor a las especificaciones de la obra. El aditivo actúa no solo en el cemento sino también sobre los agregados y el agua de mezcla, lo que involucra en gran medida a las propiedades y cantidades de estos componentes. Para que estos productos puedan ser usados en obra, deberá comprobarse que: no variarán la dosificación de diseño, no provocarán efectos negativos sobre otras propiedades del concreto y contribuirán con la disminución en los gastos de fabricación, colocación y curado.

Con el pasar de los años, las investigaciones y avances tecnológicos en la industria de los aditivos para el concreto han permitido elaborar productos nuevos, los cuales ya no proceden de los residuos de las industrias papeleras o petrolíferas, ya que se fabrican al combinar un conjunto de materias primas. Los superplastificantes y los retardantes de fragua forman parte de una nueva generación de aditivos, que actúan directamente sobre la trabajabilidad del material sin afectar otras propiedades mecánicas (Rivera, s/f).

3.1.11.1. *Aditivo superplastificante*. Empezó a fabricarse con la consigna de darle solución a la necesidad de reducir el área transversal de los elementos portantes (columnas, vigas, etc.) en rascacielos y puentes durante la década de los 70, lo que implicaba la fabricación de un concreto lo suficientemente fluido que pudiera acomodarse con facilidad por todo el encofrado congestionado con acero de refuerzo y que alcanzara resistencias por encima de lo normal (Rivera, s/f).

Este producto está elaborado a base de policarboxilatos y de grupos sulfonados (de poli- β -naftaleno y de polimelamina), lo que permite trabajar con mayores dosificaciones y controlar propiedades como: la dispersión del cemento, la duración del asentamiento y el tiempo de fraguado.

Según la investigación realizada por Fernández, (2013) un aditivo superplastificante se usa para que intervenga en las reacciones químicas que tienen lugar a partir de la combinación de los componentes del concreto (mezclado) y durante el fraguado.

Al mezclar, las partículas de agregado y cemento son lubricadas tras absorber agua, produciendo la pasta aglutinante³; aquí tienen lugar las primeras reacciones electroquímicas entre el cemento y el agua, lo que provee de consistencia, docilidad y trabajabilidad al concreto; sin embargo, los granos de cemento en contacto con el agua tendrán en su superficie un gran número de iones en disolución, los cuales generarán capas de solvatación o flóculos debido a la atracción electrostática⁴; estos flóculos tendrán efectos negativos sobre el concreto (Mindess et al., 2003), como los que se mencionan a continuación:

. Impiden la distribución uniforme de las partículas de cemento por toda la mezcla de concreto.

³ Pasta aglutinante: Producto capaz de unirse con otros elementos y formar una estructura compacta.

⁴ Atracción electrostática: Fuerza de acercamiento que presentan dos elementos cargados eléctricamente con el mismo signo.

. Retienen agua, que al no ser usada para lubricar la mezcla o para lubricar las partículas de cemento producirá un aumento en la porosidad del concreto, afectando las propiedades mecánicas del material en su estado endurecido.

Estos efectos sobre el concreto pueden ser controlados, en parte, con el uso de un aditivo superfluidificante. La presencia de componentes tensoactivos en estos productos produce mejoras en la mezcla como:

. Ionizar los filamentos del aditivo, que a su vez genera la separación de los granos de cemento entre sí. Esto se da gracias a que, debido a su forma, las moléculas del aditivo cubren por completo las partículas de cemento, proveyéndolas de carga negativa y provocando fuerzas de repulsión entre estas; este proceso es conocido como desfloculización (Fernández, (2013).

. Las moléculas de aditivo se acomodan sobre toda la superficie de las partículas de cemento, lo que genera una lubricación óptima entre los granos. Es necesario considerar que la incorporación de una dosis alta del producto provocará un retardo en el proceso de hidratación del cemento (Fernández, 2013).

Posterior al mezclado, la pasta aglutinante se vuelve cementante gracias a las reacciones químicas inherentes al proceso de fraguado del concreto (Fernández, 2013).

En resumen, el modo de acción de un superplastificante puede describirse mediante tres etapas; en primer lugar, los granos de cemento absorben el aditivo. A continuación, las partículas son cargadas con fuerzas electrostáticas de repulsión para tener el mismo signo; y finalmente, aparecen tensiones superficiales que aumentan la distancia entre estas (Mindess et al., 2003).

El uso de este producto también provee al concreto de una elevada resistencia a la compresión con un balanceado contenido de cemento, evitando problemas de contracción o la aparición de fisuras durante el proceso de fraguado. Este incremento en la resistencia se debe también a la gran disminución de la porosidad de la pasta, debido a que se reduce el contenido de agua; por lo tanto, se incrementa la durabilidad y disminuye la porosidad del material.

Una aplicación inmediata de un concreto fluido es su colocación en cimentaciones profundas por medio de tubería tremie; también se podrá vaciar en estructuras esbeltas o densamente armadas, ya que el rendimiento es muy alto, compensado así los costos de producción (Brown et al., 2001).

3.1.11.2. *Retardante de fragua*. Fernández (2013) menciona que este aditivo es utilizado para disminuir la velocidad de fraguado del concreto, lo que significa que la mezcla adicionada con este producto permanecerá fluida por más tiempo.

Los elementos base usados en la manufacturación de los retardantes de fragua, se obtienen de la modificación o combinación entre los materiales que dan origen a los aditivos plastificantes, los cuales pueden ser mezclados con algunos compuestos de éter celulosa. Estos productos también pueden ser sustancias inorgánicas solubles como: bórax soluble, ácido fosfórico, óxidos de zinc, óxido de plomo, cloruro de aluminio, cloruro de cobre, cloruro de zinc, ácido bórico, fosfatos, fluoruros, sulfato de cobre, nitrato cálcico; o componentes orgánicos solubles como: almidón, aminoácidos, aminas, sacarosa, glucosa, lignosulfonatos, celulosa, entre otros (Rivera, s/f).

Una vez adicionado el retardante a la mezcla de concreto, dependiendo de la naturaleza del mismo, actuará de dos maneras:

- . Favorecerá la formación de sustancias que cubrirán a los componentes del cemento para que su hidratación se retrase, como es el caso del sulfato cálcico (CaSO_4) (Fernández, 2013).

- . Formará sales cálcicas que son absorbidas por las partículas de cemento, retrasando su hidratación (De La Cruz, Vázquez y Fernández-Peña, 1983).

Su aplicación proporcionará un mayor tiempo de uso del concreto en estado plástico sin que se produzca endurecimiento prematuro ni segregación, estas propiedades serán necesaria en situaciones en las que los procesos de transporte y colocación se prolonguen; este producto se usa también para retrasar el inicio del fraguado de una tanda de material que será colocado en varias fases, con la finalidad de evitar la presencia de

juntas frías⁵. Además, se utiliza si el proyecto se desarrolla bajo un clima cálido, ya que el aumento en la temperatura de los componentes provocará el incremento de la velocidad de endurecimiento de la mezcla; en este caso, el retardante generará que se desprenda menos calor durante la hidratación del cemento, sobre todo en los primeros 7 días.

Un retardante de fragua también aumenta la retracción del concreto, incremento que estará en función de la dosificación de sus componentes y del método de curado utilizado.

Según Fernández, (2013) si este producto se incorpora en cantidades incorrectas, puede impedir el fraguado y endurecimiento del concreto; por esta razón, a menudo se emplean aditivos de doble función. En esta clase de aditivo, la función primaria es la reducción de agua, mientras que la secundaria es el retardo; de esta manera, se controla de forma más eficiente la pérdida acelerada de trabajabilidad.

3.1.12. Factores externos que afectan la trabajabilidad del concreto. Los factores externos hacen referencia a los efectos sobre la mezcla de concreto como consecuencia de la intervención del hombre y de equipos usados en los procesos de fabricación, transporte y colocación del material.

3.1.12.1 Mezclado del concreto. El proceso de mezclado de los componentes del concreto puede ser manual o mecánico; y se realiza para cubrir totalmente la superficie de las partículas de agregado con una pasta de agua y cemento, de tal manera que se obtenga una masa uniforme y trabajable para su posterior colocación (Rivera, s/f).

Generalmente, el costo de mano de obra en el proceso manual de mezclado es elevado y para obtener como resultado una mezcla homogénea se deberá imprimir más fuerza en el paleado, así también, será necesario cuidar que los componentes sean integrados de forma adecuada. Se recomienda llevar a cabo este procedimiento sobre una

⁵ Junta fría: Superficie de contacto entre dos elementos de concreto, de tal manera que el segundo de ellos se ha colocado después de que el primero ha endurecido.

superficie no absorbente, nivelada y limpia de sustancias extrañas; la mejor opción es hacer uso de un área perteneciente a una losa de concreto o una lámina metálica, ya que si se utiliza el suelo directamente se correrá el riesgo de adicionar finos al material o de perder agua de la pasta (Rivera, s/f).

Para integrar de forma mecánica los componentes del concreto, se hará uso de una máquina mezcladora; este equipo está constituido por un contenedor metálico llamado tambor, provisto de paletas en su interior que garanticen la fabricación de una masa uniforme a un costo razonable, sin que se produzcan alteraciones en su composición durante el proceso de colocación. De hecho, el método de descarga usado, constituye un criterio de clasificación, en el que se diferencia claramente una mezcladora basculante de una no basculante (Rivera, s/f).

En una mezcladora basculante, conocida también como concretera de eje inclinado, se puede variar la inclinación del tambor para cada etapa de trabajo (carga, mezclado o colocación), lo cual asegurará una descarga del material sin segregación tan pronto como el contenedor metálico rota.

En una mezcladora no basculante el eje siempre permanecerá en posición horizontal y la descarga de la mezcla se realizará haciendo uso de un canalón que se inserta en el tambor; a partir de este procedimiento se obtiene una masa de buena calidad, pero a diferencia con una concretera de eje inclinado, el tiempo de colocación al interior del encofrado se incrementará y será necesario el uso de instrumentos adicionales para llevar a cabo este proceso (Rivera, s/f).

3.1.12.2 Sistema de transporte. En función al sistema de transporte utilizado para trasladar el material hasta la ubicación del encofrado, se elaborará una mezcla que sea más o menos trabajable. Por esta razón, el material que será bombeado a través de un sistema de tuberías para la construcción de cimentaciones profundas, proceso en el que se imposibilitará el acceso de equipos para el vibrado, deberá tener mayor fluidez y consistencia en comparación con el concreto que será desplazado en carretillas; sin embargo, el método de transporte usado no deberá ser determinante al momento de definir la trabajabilidad de una mezcla (Rivera, s/f).

. Carretillas: Cuando se utiliza este medio de transporte, el movimiento excesivo generará que las partículas de agregado de mayor peso se vayan al fondo del recipiente, lo que indica que el material ha segregado. Para que esto no ocurra, se recomienda no golpear ni vibrar el instrumento; así mismo, si el concreto debe ser trasladado distancias considerables a través de este medio, el contenedor deberá cubrirse con la finalidad de evitar la contaminación con finos o para impedir el ingreso de agua de lluvia que pueda alterar las propiedades de la mezcla (Rivera, s/f).

. Bandas: Los transportadores de banda pueden ser usados siempre que se tomen las medidas necesarias para evitar la segregación de la mezcla, la pérdida de asentamiento y la merma de mortero en la faja de retorno.

La segregación tiene lugar en los puntos de transferencia y en los extremos de los transportadores; la solución a esto es la colocación de canaletas en los límites de las bandas y el uso adecuado de tolvas para recepcionar el material. Para evitar la pérdida de asentamiento, producida principalmente por la evaporación del agua de mezcla, es recomendable cubrir el transportador para que este no entre en contacto directo con el sol o con el viento. Finalmente, el material adherido en los puntos de traspaso debe rasparse y desecharse de ser necesario (Rivera, s/f).

. Cucharones: Los cucharones usados en las diferentes obras para transportar el concreto en su estado fresco son de diferentes formas y tamaños; y pueden llegar a tener una capacidad de hasta 6 metros cúbicos aproximadamente. Cualquiera sea la estructura y capacidad del equipo, en la mayoría de los modelos, el material es extraído por una compuerta que abarca toda el área del fondo del cucharón; la cual puede ser controlada manualmente o a través de medios mecánicos. Este instrumento puede manipularse por medio de grúas, camiones, montacargas, cable-guía; o por medio de una combinación de estos. En cualquier situación de uso, es necesario cuidar que no haya tirones ni sacudidas, ya que esto producirá segregación sobre todo en concretos relativamente fluidos. El método de activación mecánica o neumática de las compuertas del cucharón, que a su vez es manipulado por medio de cable-guía, es uno de los más seguros; ya que la descarga se realiza sin sacudir de forma violenta el cable (Rivera, s/f).

. Bombeo: El concreto que será transportado por bombeo hasta la ubicación del encofrado debe tener características especiales de trabajabilidad. Este sistema está constituido por una tolva que recibe el material directamente de la mezcladora, una bomba y un conjunto de cañerías; la tubería por la que pasará la mezcla es generalmente de acero, tiene entre 6 a 8 pulgadas de diámetro exterior y 3/16 de pulgada de espesor, por otro lado, las especificaciones de uso recomiendan un diámetro mínimo igual a tres veces el tamaño máximo del agregado (Rivera, s/f).

A partir de los datos recolectados en campo, se sabe de casos en los que la interrupción o retraso del bombeo produjo una caída en la trabajabilidad del concreto, debido a que el material había permanecido demasiado tiempo al interior de la tubería, por lo que empezó a fraguar (Brown et al, 2010); es necesario considerar que, para cualquier sistema de descarga usado, la colocación de la mezcla deberá ser continua y se llevará a cabo durante el menor tiempo posible.

3.1.12.3 *Colocación de la mezcla*. La trabajabilidad del concreto también estará en función del método usado para su colocación en obra; por ejemplo, la consistencia de una mezcla que es bombeada directamente al encofrado es diferente en comparación con un material que se colocará por caída libre a una altura considerable. La velocidad con la que se realice este proceso deberá ser tal que le permita al concreto acomodarse entre el acero de refuerzo sin dejar espacios vacíos mucho antes de que empiece a fraguar; la colocación se llevará a cabo de forma continua hasta completar una sección determinada (Rivera, s/f).

El concreto contaminado o que ha empezado a fraguar no deberá ser usado; es recomendable evitar la colocación de una mezcla en la que se incorporó agua en obra con la finalidad de mejorar la trabajabilidad, o de un material que fue remezclado después de que comenzó el fraguado inicial (Rivera, s/f).

La altura desde la que se coloca la mezcla juega un papel importante ya que, de no controlarse, las partículas más pesadas se irán al fondo del encofrado y los granos pequeños se quedarán en la superficie; la altura optima recomendada para colocar el concreto es de 1.50 metros (Brown et al, 2010).

Cuando el concreto para pilotes se coloca en una perforación que se encuentra inundada con agua subterránea a causa de un bajo nivel freático, propio del terreno, el proceso constructivo deberá ser supervisado; en este caso, el material se coloca a través de un método llamado embudo tremie. Este sistema consta de un embudo ubicado en la parte superior de la perforación, el cual recibe la mezcla de una manguera conectada a un tubo de acero sellado herméticamente, cuyo diámetro estará en función de las dimensiones de la perforación (Rivera, s/f).

El extremo inferior del tubo perteneciente al sistema embudo tremie, se sumerge en concreto fresco durante todo el proceso de colocación, con la finalidad de crear un cierre hermético entre el material antes acomodado y la mezcla nueva. Según Brown, Turner y Castelli, (2010) el peso total del concreto que se encuentra al interior del tubo deberá ser tal que genere una presión considerable, de tal manera que empuje a cualquier fluido presente la interior de la perforación, forzándolo a desplazarse y a salir por la parte superior de dicha excavación.

Por lo tanto, el concreto usado en este proceso deberá tener una cohesión y plasticidad que le permitan llenar todos los espacios al interior de la perforación y pasar entre el acero de refuerzo; con la ayuda de adiciones químicas, se buscará conseguir un asentamiento entre los 10 a 15 cm usados habitualmente. La colocación del material deberá ser de forma continua, perturbando lo menos posible al concreto ya colocado (Rivera, s/f).

3.1.12.4 Compactación de la mezcla. El objetivo de realizar la compactación del concreto es eliminar todo el aire atrapado en su interior; en consecuencia, el trabajo necesario para compactar una mezcla de consistencia más seca será mayor al usado para compactar un concreto fluido (Rivera, s/f).

3.2. Ensayos de caracterización. Para que el concreto tenga un desempeño aceptable durante su vida útil, es fundamental conocer las características de los componentes y del concreto en estado plástico, ya que esto permitirá al constructor definir criterios para comprobar la calidad del material.

3.2.1. Agregados minerales. Según Oré (2014), los agregados se obtienen a partir del proceso de erosión de las rocas por acción de la naturaleza, o son el resultado de la tritución mecánica a través del uso de equipos especializados.

Dependiendo del tamaño de sus partículas, se pueden identificar dos tipos de árido, como son el agregado grueso y el agregado fino. En función de la gravedad específica del componente, se han clasificado en ligeros, normales y pesados.

En la investigación realizada por Mindess et al. (2003), se menciona que los agregados minerales constituyen entre el 70 y 80% del volumen total del concreto, por esta razón, estos componentes tienen una gran influencia sobre las propiedades del material. Los áridos son usados también, para brindar estabilidad dimensional y resistencia al desgaste.

3.2.1.1 Análisis granulométrico. La caracterización de los agregados que constituyen el concreto, empieza con la agrupación de las partículas de una muestra del componente según su tamaño o diámetro representativo⁶. El uso de una serie de tamices es indispensable para llevar a cabo esta tarea, estos instrumentos tendrán aberturas cuadrangulares de dimensiones estandarizadas, diseñadas para retener únicamente los granos que sean más grandes a estas. Es recomendable dividir el árido según el tamaño de los granos (porción gruesa y porción fina).

En el Perú, el acondicionamiento de la muestra que será tamizada, así como los equipos y el procedimiento usados en este proceso, se encuentran detallados en la Norma Técnica Peruana 400.012-2001, desarrollada a partir de la ASTM C 136-96a. Los resultados obtenidos son analizados y comparados con los requisitos establecidos en la NTP 400.037-2002, la cual nos ayudará a determinar la calidad e idoneidad del agregado fino y grueso para fabricar concreto.

⁶ Diámetro representativo: Idealización de la forma y volumen de una partícula de agregado, considerándola con una esfera.

El porcentaje de agregado retenido en el tamiz de un determinado tamaño de aberturas representará a la granulometría de este componente, por lo que, se podrá saber si existen granos de todas las dimensiones o si hay acumulación de partículas de un solo tamaño (Mindess et al., 2003).

En función de las características y prestaciones individuales que tiene cada proyecto se desarrollará un diseño de mezcla, que se ajuste a las especificaciones de trabajabilidad y desempeño estructural requeridas, a partir de la relación entre la gradación de los granos y las condiciones particulares de aplicación; por lo tanto, al no contar con áridos constituidos por partículas de todos los tamaños, propiedad conocida como granulometría continua, se podrá hacer combinaciones entre los agregados con la finalidad de suplir, en la medida de lo posible, cualquier deficiencia que afecte el comportamiento del concreto durante su vida útil.

Según Mindess et al. (2003), una granulometría discontinua, es aquella en la que no existe presencia de granos de tamaños intermedios, lo que traería como consecuencia la presencia de segregación severa en concretos diseñados para tener características de trabajabilidad elevadas.

. Tamaño máximo: Representa el conjunto de partículas más grandes que componen el agregado, expresado con la dimensión de las aberturas del tamiz más pequeño por el que pasan la totalidad de los granos de la muestra del árido.

Mindess et al. (2003) mencionan que, si durante la realización del tamizado una pequeña porción de partículas del árido queda retenida, esto no afectará en gran medida las propiedades de la mezcla.

. Tamaño Máximo Nominal: A raíz de que en la práctica es común que suceda lo mencionado en el párrafo anterior, se considerará a la dimensión de las aberturas del tamiz más pequeño, en el que se ha retenido un máximo del 5% en peso de la muestra, como el tamaño máximo nominal del agregado.

Según lo establecido por Mindess et al. (2003) los requisitos de granulometría tienen fundamento en el tamaño máximo nominal del agregado. Estos autores mencionan que la elección del valor que tomará este parámetro, estará en función de las dimensiones de los elementos estructurales, de la separación establecida entre el acero de refuerzo y del espesor del recubrimiento de las barras corrugadas; sin embargo, la presencia de granos grades, generará que en una sección determinada de la estructura el concreto no sea representativo de la cantidad total, por esta razón, en la Norma E.060, que forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones, se recomienda que el tamaño máximo nominal no deberá ser mayor de:

- . Un quinto de la menor dimensión entre caras del encofrado.
- . Tres cuartas partes del menor espacio libre entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras de refuerzo, tendones o ductos de preesfuerzo.

Mindess et al. (2003) explican que, si aumenta el tamaño máximo del agregado, disminuirá la cantidad de pasta utilizada en la mezcla; a raíz de este incremento, debido a que la relación a/c puede tomar cualquier valor, para una trabajabilidad (asentamiento y cohesión) y proporción de cemento fijados, también se producirá un aumento de la resistencia mecánica del concreto.

. Módulo de finura: El cálculo de este parámetro es opcional, sin embargo, su valor permite estimar qué tan fino es el agregado, de tal manera que, si el árido tiene un módulo de finura elevado, se concluirá que está compuesto por partículas gruesas. Este factor se halla preferentemente para el agregado fino (Mindess et al., 2003).

Según las definiciones y terminología establecidas en la NTP 339.047-2006, el módulo de finura es la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada uno de los tamices de la serie especificada.

. Curvas granulométricas: En la NTP 339.047-2006, se define como la representación gráfica de la gradación, que proporciona una visión objetiva de la distribución de las dimensiones de las partículas del árido; en el eje de las abscisas del plano sobre el que se dibujan las curvas, expresado en escala logarítmica, se sitúan los

tamaños de las aberturas de los tamices, mientras que en el eje de las ordenadas, en escala aritmética, se localizan los porcentajes que pasan o sus complementos a 100.

Dentro de la NTP 400.037-2002, se mencionan los requisitos obligatorios que deberán cumplir los áridos, estableciendo los límites o husos, dentro de los que deberán estar las curvas granulométricas de los agregados grueso y fino, presentados en la Tabla 1 y 2 de la norma respectivamente; sin embargo, Mindess et al. (2003) explican que, de no cumplirse esta condición, no necesariamente los áridos serán descartados para ser usados en la fabricación de concreto, pero podrán utilizarse bajo el condicionamiento de la necesidad de una mayor cantidad de pasta, generando que la mezcla esté más propensa a segregar.

3.2.1.2 Peso unitario. Representa el peso de una determinada cantidad de agregado, confinado en un recipiente de volumen igual a 1m^3 , excluyendo la masa del depósito, además, para el cálculo del peso unitario, se considerará el espacio vacío que se encuentra entre las partículas del árido.

El procedimiento para llevar a cabo este ensayo se encuentra normalizado en la NTP 400.017-2011, en la que también aparece la Tabla 1, necesaria para determinar la capacidad del recipiente que se usará para pesar la muestra de agregado, cuyos valores se encuentran en función del tamaño máximo del árido. Según lo estipulado en la norma, existen dos formas de llenar el depósito con el árido, ya sea dejándolo caer libremente o acomodándolo mediante el proceso de varillado o apisonado.

Mindess et al. (2003) precisan que, el peso unitario suelto de los agregados fino y grueso serán de utilidad para calcular la dosificación en volumen de los componentes del concreto, por otra parte, el peso unitario varillado del árido grueso es un dato requerido para hallar las proporciones de la mezcla, haciendo uso del método volumétrico.

3.2.1.3 *Gravedad específica*. Es un parámetro adimensional que representa la relación entre la densidad de los agregados y del agua, calculado por el desplazamiento del árido en agua. Este factor es de mucha utilidad en el proceso de dosificación de los componentes del concreto, debido a que es necesario conocer la cantidad de agua necesaria para que los granos se saturen y para constituir la pasta en conjunto con el cemento (Mindess et al., 2003).

Dependiendo de la inclusión, en el cálculo de la gravedad específica, de los poros presentes en las partículas de agregado, se han establecido los siguientes términos:

. Gravedad específica absoluta (ASG): Relación entre densidades, calculada sin considerar el espacio ocupado por los poros al interior de las partículas de agregado.

. Gravedad específica bulk (BSG): Relación entre densidades, calculada considerando el espacio ocupado por los poros al interior de las partículas de agregado.

Por lo tanto, el valor de la gravedad específica bulk será menor y se considerará como un parámetro real, calculado a partir del volumen efectivo del árido; sin embargo, la cantidad de agua absorbida al interior de los granos generará un aumento en el peso del agregado, provocando el incremento de la gravedad específica (Mindess et al., 2003).

El procedimiento de desplazamiento establecido para calcular la gravedad específica bulk de los agregados grueso y fino en condición SSD, se encuentra en las NTP 400.021-2002 y 400.022-2002 respectivamente. Es necesario considerar que el árido que tenga un menor valor de gravedad específica es muy poroso, lo que significa que el componente es de baja calidad.

3.2.1.4 *Contenido de humedad*. La estructura interna de los agregados está constituida por agujeros interconectados entre sí y con la superficie, esta condición provoca que una porción del agua presente alrededor de las partículas del árido sea absorbida al interior debido a la capilaridad, mientras que otra parte, forma una película delgada sobre toda el área superficial.

Es necesario conocer el contenido de humedad de los agregados, porque si las partículas de este componente se encuentran saturadas con agua en su superficie y al interior, afectará la relación a/c de la mezcla, lo que provocará el desarrollo de una baja resistencia a la compresión, caso contrario, de haber una deficiencia de agua en los granos, esta tendrá que extraerse de la pasta de la mezcla, ocasionando la pérdida de trabajabilidad del concreto (Mindess et al., 2003).

En el agregado fino ocurre un proceso diferente en comparación con lo que sucede en el árido grueso, lo que causa que presente un contenido de humedad mayor; además de la película que se forma sobre la superficie, la formación de meniscos en los espacios donde las partículas se tocan (superficie de contacto), genera que se acumule una pequeña cantidad de agua en esta zona, provocando que los granos se mantengan separados entre sí. Este aumento en el volumen se conoce como esponjamiento, efecto que se depende también de la granulometría, ya que mientras más fino sea el agregado, el grado de esponjamiento será mayor (Rivera, s/f).

Esta característica, inherente a los agregados compuestos por partículas pequeñas, puede acarrear inexactitudes en los valores de dosificación de los componentes del concreto, por esta razón, no se recomienda hallar las proporciones de los áridos por volumen.

Mindess et al. (2003) indican que, los agregados tienen cuatro estados de humedad:

. Seco al horno (OD): Estado en el que toda la humedad es removida del árido cuando es calentado al horno a 105°C hasta obtener peso constante. En esta condición se considera que todos los poros conectados a la superficie están vacíos.

. Seco al aire (AD): En este estado se ha removido toda la humedad de la superficie, pero los poros están parcialmente llenos de agua.

. Saturado superficie seca (S.S.D): En este estado, todos los poros del grano están llenos de agua, sin embargo, no hay agua en la superficie del mismo.

. Mojado: En este estado, los poros están llenos de agua y hay agua en la superficie del agregado.

Estos autores (Mindess et al., 2003) mencionan también que, solo los estados seco al horno y saturado superficie seca, representan valores de contenidos de humedad específicos, por lo tanto, cualquiera de los dos puede ser utilizado como estado de referencia para hallar el contenido de humedad de los agregados; los estados restantes, probablemente se presentan en áridos que hayan sido almacenados en obra.

El estado SSD simboliza el equilibrio de los granos, debido a que, al interior de la mezcla no ceden ni absorben agua, además, es común entre los agregados depositados en campo.

3.2.1.5 *Capacidad de absorción*. Mindess et al. (2003) mencionan que este parámetro, forma parte del procedimiento utilizado para hallar el volumen de agua que el agregado absorberá o agregará a la pasta, por lo que será necesario definirlo junto con dos cantidades más.

. Capacidad de absorción (AC): Es la máxima cantidad de agua que el agregado puede absorber. Se calcula a partir de la diferencia entre los pesos de los agregados en estado SSD y OD, y es expresada como un porcentaje del peso del árido en condición OD. Este parámetro se utiliza en el cálculo de las proporciones de una mezcla de concreto y puede ser usado para convertir un sistema SSD en un sistema OD, o viceversa Mindess et al. (2003).

. Absorción efectiva (EA): Es la cantidad de agua, necesaria para que los poros al interior de los granos pasen de estar parcialmente llenos a estar saturados, la cual se obtiene a partir de la diferencia entre los pesos de los áridos en estado SSD y AD, expresada como un porcentaje del peso del agregado en condición SSD Mindess et al. (2003).

El peso de esta cantidad de agua se obtiene al multiplicar el valor de la absorción efectiva calculada por el peso del árido en condición SSD. Si el agregado, cuando es

añadido a la mezcla, está cerca de su condición OD, le tomará tiempo llegar a su estado SSD Mindess et al. (2003).

.Humedad superficial (SM): Representa la cantidad de agua que conforma una película sobre la superficie de las partículas de agregado cuando este alcanzó su estado mojado, la cual es igual a la diferencia entre los pesos de los áridos en condición mojado y SSD, y expresada como un porcentaje del peso del árido en estado SSD u OD, dependiendo del sistema de referencia Mindess et al. (2003).

El peso de esta cantidad de agua añadida se obtiene del producto de la humedad superficial calculada por el peso del árido en condición SSD u OD, dependiendo del sistema de referencia.

Según Mindess et al. (2003) cuando el estado de referencia es SSD, la cual es la condición más común entre los agregados depositados en campo, el contenido de humedad de estos es la diferencia entre los pesos de los áridos en la condición en la que se encuentran almacenados y SSD, expresada como un porcentaje del peso del agregado en estado SSD. Si el valor de este parámetro es negativo, significa que el agregado tiene absorción efectiva, pero si se obtiene un resultado positivo, el árido tiene humedad superficial.

Finalmente, el peso de agua total, asociado con la humedad del agregado, se obtiene del producto del contenido de humedad calculado por el peso del árido presente en la mezcla de concreto; si el valor de este parámetro es negativo, significa que el componente absorberá agua de la pasta, pero si se obtiene un resultado positivo, cederá agua a la misma.

3.2.2. Concreto fresco. Las pruebas realizadas a las mezclas durante su estado plástico son muy importantes, pues, permiten conocer las propiedades y calidad del concreto, también porque ayudan a comprobar que las proporciones de los componentes son las adecuadas para que el material tenga las características de trabajabilidad y resistencia solicitadas. Además, sirven para conocer el posible comportamiento del concreto endurecido y son una herramienta para identificar errores que puedan traer consecuencias graves durante su vida, generando la opción de subsanarlos a tiempo.

3.2.2.1. *Asentamiento del concreto.* Según Mindess et al. (2003) este ensayo apareció por primera vez como una norma ASTM en el año 1922, y se ha venido perfeccionado desde entonces. Actualmente en nuestro país, el procedimiento estándar y los equipos utilizado para llevar a cabo esta prueba, están establecidos en la NTP 339.035.

En la norma se puntualiza que, la prueba de asentamiento fue desarrollada para brindar una herramienta que permita observar la consistencia del concreto en estado plástico. En el laboratorio, bajo procedimientos estrictos de fabricación, el valor del asentamiento siempre aumentará si se hace uso de una mayor cantidad de agua en la mezcla, lo que a su vez generará la disminución de la resistencia del material; sin embargo, este efecto no se identifica claramente en campo, por lo que el desempeño estructural de la mezcla no debe ser asociado necesariamente con el contenido de agua en la pasta. Se recomienda hacer esta prueba en concretos manejables, constituidos por agregados de hasta 37.5 mm de tamaño.

El resultado obtenido a partir de este ensayo se considerará como el valor de la resistencia al corte de la mezcla al fluir bajo su propio peso; en función del tipo de concreto diseñado, el comportamiento del revenimiento luego de levantar el cono de Abrams relleno de material puede ser de tres tipos:

. Revenimiento cercano a cero: Se presenta en concretos dosificados con una poca cantidad de agua.

. Revenimiento normal: Es el hundimiento o depresión de toda la masa del concreto, sin presencia de rupturas.

. Revenimiento por cizalladura: Revenimiento asociado con la falta de cohesión de la mezcla; este efecto se presenta en concretos duros o con una tendencia considerable a segregar.

. Colapso de la mezcla en el revenimiento: Efecto resultante a partir de la fabricación de concreto con una excesiva cantidad de agua en la pasta o de agregado grueso, por lo tanto, los componentes que constituyen a la mezcla se separan, dando lugar a la segregación. Este comportamiento es común en hormigones diseñados para desarrollar una caída de 8 pulgadas (200 mm), *slump* característico de un material de consistencia fluida.

Mindess et al. (2003) indican que este ensayo presenta limitaciones durante su realización y en los resultados obtenidos tras ponerlo en práctica, las cuales deben ser consideradas.

. Es un proceso desarrollado empíricamente, cuyo resultado no refleja una medida real de la trabajabilidad en la mezcla, la cual ha sido definida anteriormente como la cantidad de energía necesaria para producir una consolidación adecuada del concreto; el valor obtenido en este ensayo, solo nos muestra la caída del material, medida respecto a la altura del cono de Abrams.

. Se pueden obtener medidas de asentamiento iguales para mezclas de concreto que tienen características diferentes, que a su vez han sido dosificadas con materiales distintos.

. No permite hacer una comparación entre la trabajabilidad de dos mezclas que presentan asentamientos menores a 1 pulgada (25mm), en este caso se recomienda la aplicación de ensayos desarrollados para aplicarse a concretos rígidos, como los descritos en el ACI 211.3⁷.

⁷ ACI 211.3: Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete.

Finalmente, se puede considerar que el propósito real de este ensayo es proporcionar una herramienta que permita llevar a cabo el control de calidad del concreto fabricado, cuyo resultado nos ayudará a detectar características indeseables en la mezcla.

3.2.2.2. *Peso unitario*. Ensayo aplicado al concreto fresco, el cual se usa para calcular su densidad, dividiendo el peso neto de una determinada cantidad de mezcla, entre el valor del volumen que ocupa esta porción de material (Mindess et al., 2003).

En la NTP 339.046, se especifica que el peso neto de la mezcla involucra la suma de las masas del cemento, de los agregados en la condición en la que son usados, del agua adicionada y de cualquier otro material sólido o líquido que haya sido dosificado.

Según Mindess et al. (2003) el aire retenido al interior de la mezcla afectará el valor del peso unitario, ya que este fluido generará un aumento en el volumen del concreto, sin provocar cambios en el peso neto del material.

3.2.2.3. *Temperatura del concreto*. Cuando el cemento entra en contacto con el agua durante la dosificación, sus componentes se hidratan; durante este proceso se producen reacciones exotérmicas⁸, a partir de las cuales se libera lo que se conoce como calor de hidratación.

Según la información brindada por Mindess et al. (2003) los cuatro componentes principales del cemento están involucrados en el aumento de la temperatura, por lo que es necesario conocer su comportamiento durante el proceso de hidratación.

. Silicato tricálcico (C_3S): Desde el momento en el que el cemento entra en contacto con el agua, el C_3S empieza a hidratarse a una velocidad considerable, dando paso al inicio del proceso de fraguado y al desarrollo de la resistencia mecánica a edades tempranas.

⁸ Reacciones exotérmicas: Reacciones químicas que desprenden energía, ya sea como luz o calor.

. Silicato dicálcico (C_2S): El proceso de hidratación del C_2S ocurre a una velocidad mucho menor, debido a que es un compuesto menos reactivo; la resistencia alcanzada por el concreto a edades posteriores a una semana es gracias a este componente.

. Aluminato tricálcico (C_3A): La hidratación de este componente produce etringita a partir de procesos químicos exotérmicos; al igual que el C_3S , el aluminato tricálcico contribuye al desarrollo de resistencia a edades tempranas.

. Ferroluminato tetracálcico (C_4AF): El proceso de hidratación de este componente tiene lugar durante una etapa denominada fase ferrita, aquí las reacciones químicas ocurren lentamente y se libera menos calor de hidratación, por lo que este compuesto no contribuye en el fraguado del concreto.

En cuanto a los factores externos que producen el incremento del calor de hidratación, ya presente en la mezcla fabricada, la temperatura ambiente es el más importante. Aunque este agente no afecta considerablemente el calor generado, si hay un valor de temperatura ambiente baja, el calor de hidratación también lo será (Mindess et al., 2003).

Según Zeña M. (2015), es necesario controlar el incremento del calor de hidratación, ya que, si este factor perdura en el tiempo, provocará cambios en el volumen del concreto; sin embargo, este efecto puede ayudar a mantener temperaturas de curado idóneas, bajo la presencia de climas fríos.

3.2.2.4. *Extensibilidad*. Este ensayo se realiza para comprobar que el concreto tiene la capacidad de esparcirse bajo su propio peso luego de levantar el cono de Abrams lleno de material, debido a que presenta las características de fluidez necesarias para colocarse sin necesidad de aplicar energía adicional, proveniente de equipos vibradores, entre otros (Caicedo, 2015).

Durante el ensayo, el cono de Abrams puede situarse de dos maneras, la primera es colocando la abertura de mayor área hacia abajo, la cual es la posición normal del equipo, y la segunda, es cuando el instrumento está invertido.

. Posición normal del cono: El concreto se esparcirá por efecto de la gravedad, sin que se presente perturbación en las capas del material. La presencia de segregación en la mezcla, a raíz del descenso de los granos gruesos hacia la parte inferior del cono, se podrá apreciar en el límite del diámetro de extensibilidad. Esta posición del instrumento es la más favorable para llevar a cabo la prueba, ya que el concreto fluirá bajo su propio peso, garantizando su esparcimiento por todos los espacios al interior del encofrado y entre el acero de refuerzo (Caicedo, 2015).

. Posición invertida del cono: Debido a que, la mayor cantidad de concreto se encuentra en la parte superior del cono, se generará empuje sobre la porción de la muestra ubicada en la parte baja del instrumento, por lo tanto, el material fluirá por acción de la suma de las fuerzas generadas por el peso de la mezcla y por la presión ejercida desde la parte superior, lo que afectará el desplazamiento normal del concreto (Caicedo, 2015).

El diámetro de esparcimiento alcanzado estará en función de la granulometría de los agregados; la mezcla constituida por un exceso de árido fino, tendrá un diámetro mayor en comparación con un diseño en el que se ha dosificado una menor cantidad de este componente (Caicedo, 2015).

A partir del procedimiento usado para llevar a cabo esta prueba descrita en la NTP 339.219-2008, se evaluarán algunas propiedades importantes del concreto fluido, como son.

. Cohesión: Capacidad o fuerza presente entre los componentes del concreto, la cual permite que las partículas de agregado se mantengan embebidas al interior de la pasta de cemento y agua, evitando así problemas de segregación y/o exudación (Caicedo, 2015).

. Viscosidad: Esta propiedad representa a la capacidad del material de fluir frente a la acción de fuerzas internas de fricción (esfuerzo cortante), presentes entre las capas de pasta de cemento y agua al desplazarse una sobre otra durante el esparcimiento del concreto.

En la norma ASTM C 1611⁹, se describe que la presencia de segregación o exudación en la mezcla de concreto puede ser evaluada visualmente, por lo tanto, el ensayo de extensibilidad descrito en esta norma puede usarse en el control de calidad del material.

3.2.2.5. *J-Ring*. Este método de caracterización del concreto en estado plástico, sirve para determinar la fluidez del material al pasar a través de obstáculos, los cuales son representados por un instrumento metálico llamado anillo-J. El equipo, está constituido por un anillo fabricado a partir de un material rígido, sostenido por 16 barras verticales de acero repartidas a lo largo de la longitud de su circunferencia (Caicedo, 2015).

Fue desarrollado como una alteración del ensayo de extensibilidad descrito anteriormente, sin embargo, ambas pruebas son complementarias, debido a que permitirán calcular la habilidad de paso del concreto.

. Habilidad de paso: Según las definiciones establecidas en la norma ASTM C 1621¹⁰, representa la capacidad del concreto para fluir bajo la acción de su propio peso y llenar todos los espacios al interior de cualquier elemento estructural, el cual estará reforzado con barras de acero corrugado. Además, a partir de los resultados obtenidos sobre este parámetro, se podrá estimar, a grandes rasgos, la congestión acero mínima aceptable que permita el flujo normal de la mezcla (Caicedo, 2015).

El flujo de la mezcla a través del anillo-J, también involucra las propiedades de cohesión y viscosidad, definidas anteriormente.

3.2.2.6. *L-Box*. La finalidad de este ensayo, es medir la capacidad del concreto de pasar a través de un obstáculo, que simulará el acero de refuerzo al interior de un elemento estructural, así como (Caicedo, 2015).

⁹ ASTM C 1611: Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.

¹⁰ ASTM C 1621: Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete By J-Ring.

La prueba se realiza en un aparato que acopla una sección vertical (simulando el encofrado de una columna de concreto) con un canal horizontal, conectando ambos espacios a través de una compuerta deslizante; en la intersección se dispondrán barras de acero en dirección perpendicular respecto al sentido del desplazamiento de la mezcla (ACI 238, 2008).

Además de las propiedades del concreto involucradas en la capacidad de la mezcla para fluir de forma adecuada, como son la trabajabilidad, cohesión y viscosidad, se evaluará la consistencia del material a raíz de haber puesto en práctica el ensayo de la caja L.

. Consistencia del concreto: Es la capacidad que tiene la mezcla de concreto para deformarse y tomar cualquier forma, sin que haya separación entre sus componentes, permitiendo que se esparza y ocupe todos los espacios al interior de un volumen determinado. Esta propiedad, está en función de la cantidad de agua y del tamaño máximo de las partículas del agregado.

Finalmente, como resultado de la realización del ensayo, se obtendrá el factor de bloqueo (FB), el cual representa la capacidad del concreto de fluir por elementos angostos, con elevado congestionamiento de acero de refuerzo. Un valor de FB cercano a 1, significa que el material fluirá con mayor facilidad (ACI 238, 2008).

4. Concreto endurecido

A medida que el concreto pierde plasticidad, entra en un estado en el que no conserva sus características iniciales de trabajabilidad, ya que presenta una evidente pérdida de fluidez, pero sin haber endurecido en su totalidad.

Según Mindess et al. (2003) este estado intermedio, es conocido como fraguado del concreto, el cual se presenta antes que el endurecimiento y puede ser considerado como un lapso de transición entre una condición de verdadera fluidez a verdadera rigidez.

El endurecimiento del concreto es el estado en el que el material ha desarrollado resistencia (rigidez), a consecuencia de un proceso de constante hidratación del cemento durante un periodo determinado de tiempo.

4.1. Resistencia a la compresión. Una de las características más importantes del concreto usado en elementos que tienen un desempeño estructural, es la resistencia. El material en su estado endurecido debe responder a las diferentes sollicitaciones de carga ejercidas sobre este, a consecuencia de la acción de fuerzas de compresión, tracción, etc (Mindess et al., 2003).

Este parámetro se calcula a partir de la carga máxima que puede soportar un cilindro al interior de una prensa que aplicará presión sobre su superficie hasta que su integridad se vea afectada y se fracture, el cual es fabricado y curados siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 339.033-2009.

El ensayo de resistencia a la compresión se llevará a cabo con la finalidad de comprobar que el material cumple con las especificaciones de resistencia mecánica establecidas. Según las indicaciones presentadas en la NTP 339.034-1999, la prueba solo se aplica a concretos con peso unitario mayor a los 800 kg/m³; los resultados obtenidos, son un indicador de la calidad bajo la que se realizaron los procesos de dosificación y mezclado, lo que permitirá concluir si el concreto evaluado se podrá usar o no.

Las fracturas que aparecen en los testigos de concreto, como consecuencia de la aplicación de presión axial sobre estos, pueden ser de diferentes tipos, tal y como se muestra en la Figura 1.

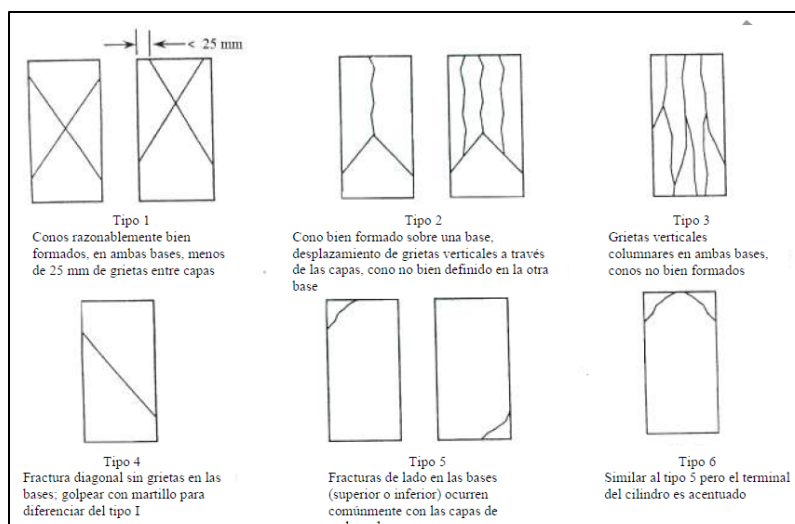


Figura 1. Esquema de los patrones del tipo de fractura.

Fuente: (Norma Técnica Peruana 339.034, 2008).

5. Construcción de pilotes

La mezcla de concreto diseñada, debe responder a las solicitaciones y consideraciones exigidas en los procedimientos que forman parte del proceso constructivo de los pilotes (cimentaciones profundas), los cuales han sido desarrollados específicamente para este tipo de estructuras.

El concreto para pilotes es dosificado en una planta y transportado largas distancias, además, debe permanecer trabajable al menos 4 horas más, debido a que, en ocasiones todos los procesos realizados antes del curado pueden prolongarse por un periodo considerable de tiempo. Durante su colocación, posterior al traslado a la ubicación del proyecto, la mezcla debe conservar la fluidez necesaria, para pasar sin dificultad a través de las tuberías o equipos usados para bombearla y entre el acero de refuerzo, incluso bajo condiciones de temperatura ambiente elevadas, evitando la presencia de sangrado excesivo o de un alto calor de hidratación (Brown et al, 2010).

Las propiedades elementales de una mezcla de concreto para pilotes serán mencionadas a continuación:

. **Capacidad de llenado:** El concreto debe tener la capacidad de fluir a través de la tubería tremie usada para que sea colocado bajo su propio peso, ocupando todo el volumen de la excavación y restaurando la tensión lateral en las paredes al interior de la perforación. La mezcla

debe conservar su trabajabilidad para que el encofrado pueda ser retirado sin dificultad y también tiene que llenar el espacio libre que deja el fuste metálico (Brown et al, 2010).

. Capacidad de paso: El concreto debe pasar a través del acero de refuerzo sin obstruirse, incluso, dependiendo del tamaño de las partículas de agregado, deberá fluir al interior de secciones estrechas (Brown et al, 2010).

. Autocompactación: Vibrar el concreto al interior del elemento estructural no es posible, sobre todo en la base del pilote, la cual está ubicada a una profundidad considerable; por esta razón, el material debe consolidarse bajo su propio peso por efecto de la gravedad (Brown et al, 2010).

. Resistencia a la segregación y exudación: El grado de cohesión del concreto debe ser el necesario, de tal manera que el agua no se separe de la mezcla (exudación), ni que los granos de agregado se disgreguen de la pasta (segregación) (Brown et al, 2010).

. Durabilidad: El recubrimiento de concreto alrededor del acero de refuerzo debe ser impermeable y denso, con la finalidad de evitar el paso de sustancias corrosivas que comprometan la integridad de la estructura (Brown et al, 2010).

. Calor de hidratación: En las estructuras para las que se ha utilizado un volumen considerable de concreto, es necesario controlar el incremento de la temperatura del pilote, generado por la existencia de un elevado calor de hidratación tras dosificar más cemento o por la presencia de condiciones ambientales indeseables en el entorno; de mantenerse un alto valor de este parámetro, se producirán grietas, afectando la durabilidad del material (Brown et al, 2010).

. Resistencia a la compresión: El concreto debe cumplir con los requisitos de resistencia especificados, en función de las características del proyecto (Brown et al, 2010).

Se recomienda conocer las necesidades específicas del proyecto, con la finalidad de que se pueda fabricar una mezcla de concreto que tenga las características de trabajabilidad adecuadas.

5.1. Construcción de pilotes colocados in situ con camisa recuperable. Debido a que este sistema es uno de los más usados para la construcción de pilotes, se cree necesario mencionar los inconvenientes que pueden presentarse durante los procesos de colocación del concreto y extracción del fuste metálico, etapa en la que se pondrán a prueba las propiedades de la mezcla diseñada (Brown et al, 2010).

Los problemas relacionados con la pérdida de trabajabilidad del material a edades tempranas, provocará la inmovilización del fuste metálico de la pilotera¹ al interior de la perforación, lo que obligará a los operarios a hacer uso de fuerza con ayuda de equipos especiales para destruir el concreto fraguado.

En algunos casos, se han colocado mezclas diseñados para desarrollar un valor de resistencia a la compresión mucho menor al establecido en las especificaciones técnicas del proyecto, pues es complicado fabricar un concreto de alta resistencia que mantenga sus propiedades de trabajabilidad por un periodo de tiempo prolongado (Brown et al, 2010).

Finalmente, a consecuencia de la pérdida del fuste metálico por estancamiento, el proceso constructivo de los pilotes podría ser suspendido, por lo que se buscarán diferentes alternativas para estabilizar el terreno, que en muchos casos son económicamente inviables.

5.2. Proyecto: Estabilización de terreno – Pilotes excavados. Para la edificación de una tienda de insumos comerciales, se realizó el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) respectivo durante la etapa preliminar a la construcción del proyecto; como resultado, en el informe se da a conocer la necesidad de reforzar y mejorar los estratos mediante el uso, entre otros sistemas, de muros de contención y de pilotes excavados. En este estudio se describe también que la presencia de sales solubles totales en el suelo no es perjudicial para el concreto de las cimentaciones, por lo que se sugiere el uso de cemento Tipo I únicamente (Lama, 2017).

5.2.1. Concreto para pilotes. Las especificaciones y características que debía tener el concreto para los pilotes en el proyecto fueron impuestas por la empresa a cargo de las perforaciones y de la colocación del material al interior del encofrado; estas son presentadas por Lama (2017, p. 31), como se muestra a continuación:

1. Concreto con *slump* de 8" puesto en obra.
2. Tamaño máximo de agregado $\frac{3}{4}$ ", nominal de $\frac{1}{2}$ ".
3. Retardador de pérdida de fluidez de por lo menos 4 horas. Se debe mantener fluido, por lo menos 4 horas, considerando una reducción máx. de la fluidez según el siguiente esquema (ver Figura 2). Evitar aditivos superfluidificantes vertidos en obra.

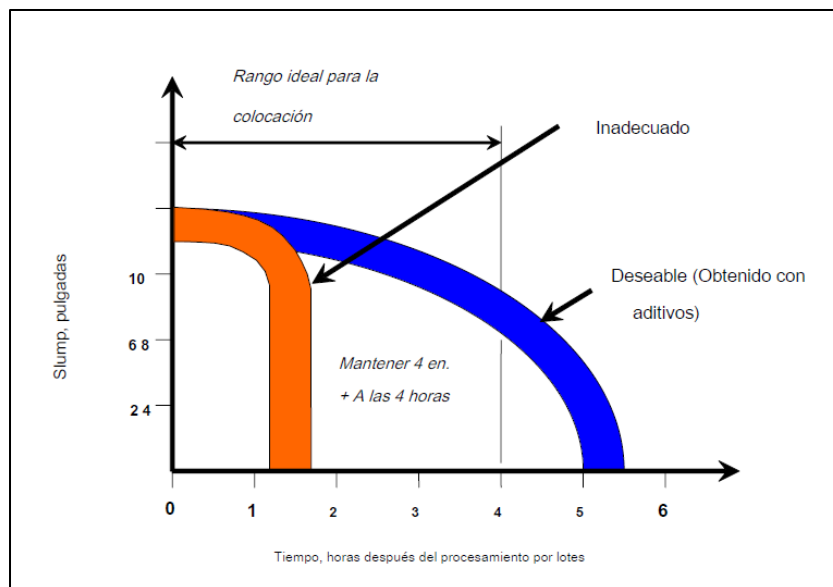


Figura 2. Pérdida deseable de asentamiento a lo largo del tiempo.

Fuente: (Brown, Turner y Castelli, 2010).

- 4.- Resistencia H30 (300 Kg/cm²).

Aspectos Constructivos

- 5.- Descarga directa desde el mixer hacia la tubería tremie (tubería para la colocación de la mezcla en los pilotes). El concreto no se vibra.
- 6.- Considerar la provisión en horario nocturno.
- 7.- El tiempo de descarga es el tiempo que se demore el mixer en vaciar todo su contenido mediante el chute. En caso implique cortar una camisa, el mixer esperará entre 10m y 15m para esta labor.

Sin embargo, “este concreto no es comercial en el estado peruano, sería complicado mantener una caída de revenimiento tan lenta de 4 horas, por lo que era urgente y necesario realizar el diseño de mezcla en las principales concreteras del mercado” (Lama, 2017, p.43).

5.2.2. Construcción de pilotes en el proyecto. Como menciona Lama (2017, p. 29), el suelo antrópico que constituye el área perteneciente al proyecto es un terreno fácilmente colapsable, por ende, el procedimiento utilizado constará de la construcción de pilotes in situ de 1000 mm de diámetro con camisa recuperable, haciendo uso de una perforadora rotativa con barras Kelly para terrenos duros o roca. En este proceso, a medida que se haga la excavación y se extraiga el material excedente de la misma, se colocará una camisa o fuste metálico¹¹ para confinar el suelo, cabe resaltar que el orificio llegará hasta alcanzar la profundidad a la que se encuentra el estrato de suelo o arena firme; luego se introducirá el acero de refuerzo, para finalmente vaciar el concreto al interior de la estructura. La reubicación de algún pilote, debido a la presencia de materiales duros y desconocidos en el estrato de suelo sobre el que se realizaría la perforación, generara la necesidad de realizar un recálculo estructural como consecuencia de la aparición de excentricidad¹².

Al mismo tiempo que la mezcla se coloca a través de la tubería tremie se irá retirando el fuste metálico, esto no experimentará ningún inconveniente si el concreto cumple con las condiciones de trabajabilidad necesarias.

¹¹ Fuste metálico: Encofrado de acero introducido por la máquina pilotera, el cual se irá retirando conforme se vacía el concreto en la perforación.

¹² Excentricidad: Desviación de un pilote con respecto a la vertical en el terreno, por lo que su capacidad portante se ve reducida.



Capítulo 2

Programa experimental

El desarrollo del programa experimental de la presente investigación tiene como finalidad el diseño y prueba de concreto que, al estar constituido por materias primas a las que se puede acceder sin dificultad en la ciudad de Piura, desarrolle baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo. Esta característica es propia de mezclas usadas en la construcción de un determinado tipo de estructuras, que a su vez son fabricadas tras combinar la experiencia adquirida en campo y los avances tecnológicos aplicados en la producción de los aditivos inorgánicos. En este caso en específico, se evaluará si el material se mantiene trabajable un periodo similar al necesario para edificar pilotes colocados in situ con encofrado metálico recuperable, lo que permitirá que el fuste de la pilotera no quede atrapado.

En primer lugar, se seleccionará la procedencia de los agregados, tomando en consideración los yacimientos que producen áridos de buena calidad; además, se escogerá el tipo de cemento a dosificar, el cual deberá estar formulado de tal manera que propicie la presencia de un bajo calor de hidratación y permita fabricar un concreto que resista los efectos de sustancias que afectan a las estructuras que se encuentran en contacto directo con el suelo. Posteriormente, se llevarán a cabo los ensayos usados para caracterizar a los agregados minerales, ya que estos influirán significativamente en las propiedades del concreto.

En la etapa de diseño de mezclas se tomará en consideración las especificaciones técnicas establecidas en el informe presentado por Lama, (2017) para la construcción de pilotes, como son: *slump* de 8'', TMN de ½'', resistencia a la compresión igual o mayor a 300 kg/cm²; y se utilizarán los parámetros obtenidos en el proceso de caracterización de los agregados. Se diseñarán cuatro mezclas, la primera no tendrá ningún tipo de adición, mientras que en las otras tres se incorporarán dos tipos de aditivo en proporciones distintas; por lo tanto, para cada diseño y entre estos la trabajabilidad desarrollada será medida y comparada.

Los ensayos para el concreto se llevarán a cabo en dos etapas. La primera de estas se efectuará durante el periodo en el que el material se encuentra en estado plástico, debido a que es necesario conocer si la mezcla cumple con las especificaciones de trabajabilidad al inicio y durante un determinado periodo de tiempo (el cual se especifica en la descripción de cada

ensayo); por lo tanto, siguiendo los procedimientos especificados en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) y en las normas de la *American Society of Testing Materials* (ASTM), se registrarán los datos resultantes. Finalmente, conforme a las normas establecidas, las muestras extraídas durante la realización de las pruebas serán curadas por 28 días calendario, dando paso a la segunda parte de la investigación, compuesta por la prueba de resistencia a la compresión.

1. Componentes del concreto

Los materiales seleccionados para fabricar las mezclas de concreto son distribuidos con facilidad en el departamento de Piura, ubicado al norte del Perú, ya sea porque los lugares de donde son extraídos pertenecen a este territorio, como es el caso de los agregados minerales; o porque existe una adecuada comercialización¹³ de estos, como son el cemento Fortimax y los aditivos inorgánicos.

1.1. Cemento Pacasmayo Fortimax. Según el documento presentado por la empresa que lleva a cabo la manufacturación de este producto (Especificación Técnica Cemento Fortimax, 2018), el cemento FORTIMAX (MS(MH)) es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de Clinker, yeso, filler calizo, puzolana y/o escoria. El Clinker es un mineral artificial y está compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C. Esta composición garantiza un bajo calor de hidratación, ideal para estructuras construidas en climas cálidos, mejor comportamiento frente a la acción de salitre y sulfatos propios de suelos húmedos; así como el desarrollo de resistencia a la compresión elevada. La ficha que nos muestra todos los requisitos que cumple y los ensayos a los que fue sometido el cemento se encuentra en el anexo C.1.

¹³ Comercialización: Consiste en poner a la venta un producto, darle las condiciones comerciales necesarias para su venta y dotarla de la vía de distribución que permita que llegue al público final.

1.2. Agregado fino. Este material proviene de la cantera Santa Cruz, ubicada en el distrito Miguel Checa, provincia de Sullana. Chávez (2016) define a este yacimiento como un depósito eólico compuesto en su mayoría por material grueso, que se contamina con arcillas y capas de yeso acarreadas por el viento desde la formación Chira¹⁴, ubicada en las proximidades de la cantera; por esta razón, el contenido de material más fino que pasa la malla N°200 es bajo en comparación con otros depósitos ubicados en la misma zona. La investigación de Chávez (2016) nos da a conocer que, en Santa Cruz la gravedad específica del agregado fino es mucho más uniforme que la del agregado grueso, esto tiene relación con el nivel de porosidad que el agregado fino presenta respecto al del agregado grueso.

Chávez (2016) concluye que el agregado fino extraído de la cantera Santa Cruz es apto para elaborar concreto, siempre y cuando este no sea colocado en estructuras que estarán sujetas a desgaste por abrasión; sin embargo, es importante resaltar que, tal como lo señala la NTP 400.037-2002¹⁵, se puede hacer uso de agregados que no cumplan con los límites establecidos siempre que se compruebe que no afectarán las propiedades de durabilidad y resistencia del material. En la Figura 3 se muestra al agregado fino tal y como es extraído de la cantera.



Figura 3. Agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁴ Formación Chira: Formación geológica que delimita cuerpos de rocas con características comunes de composición y estructura, que aflora a lo largo del río Chira y se extiende hacia el norte hasta Talara, llegando hasta Punta Bravo (Lobitos) y por el sur llegando hasta Sechura.

¹⁵ NTP 400.037-2002: AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).

1.3. Agregado grueso. Este material proviene de la cantera Sojo, ubicada en el distrito Miguel Checa, provincia de Sullana. Según Chávez (2016), aquí se produce agregado grueso de superficie rugosa, composición densa y baja porosidad, cualidades que le permiten tener una buena adherencia con el cemento y resistencia frente a acciones mecánicas; estas propiedades favorecen el incremento de la resistencia a la compresión en el concreto endurecido, debido a que entre las partículas de mayor tamaño se presenta una trabazón más eficiente.

En el capítulo 1 de esta investigación, se mencionaron las condiciones que favorecían el desarrollo de una adecuada trabajabilidad en el concreto, sugiriéndose el uso de agregados compuestos por partículas redondeadas y lisas que se acomodaban y rodaban entre sí con facilidad; no obstante, en el programa experimental se evaluará el efecto que genera en la fluidez del material el empleo de árido grueso conformado por granos provenientes de un proceso de trituración artificial, teniendo presente que deberá aumentarse la energía necesaria para superar la fricción interna resultante durante el mezclado. En la Figura 4 se muestra el agregado grueso tal y como es extraído de la cantera.

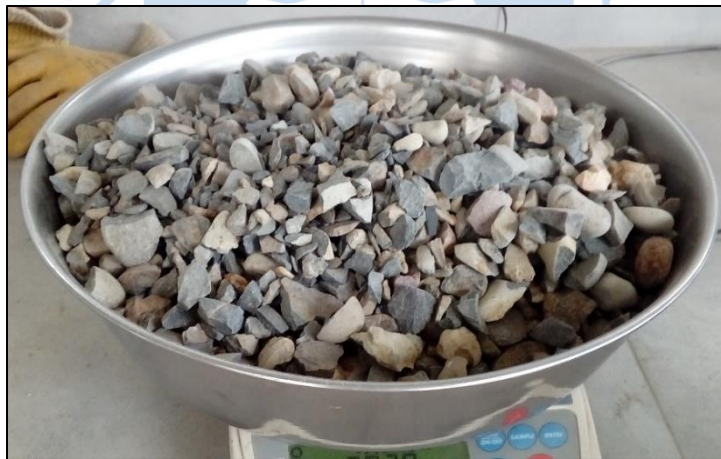


Figura 4. Agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para la elección del agregado grueso que será usado en esta investigación, así como del punto de extracción del mismo, se tomó en consideración lo expuesto en el documento elaborado por Chávez (2016), en el que se concluye que el material procedente de la cantera Sojo es apto para producir concreto de calidad; además se obtiene de un lugar ubicado estratégicamente respecto a las áreas urbanas y rurales y a las zonas agrícolas, facilitando la distribución de los áridos hacia los diferentes proyectos que se vienen

ejecutando en la provincia de Piura. En este yacimiento, se emplea uno de los métodos más económicos de explotación: a cielo abierto.

1.4. Aditivos inorgánicos. Para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y prolongar el tiempo de inicio de fraguado se hará uso de dos tipos de aditivo; el primero de ellos es el EUCON 1037 aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango, mientras que el segundo es el EUCO WR-75 ADITIVO MANTENSOR DE PLASTICIDAD, REDUCTOR DE AGUA CON RETARDO CONTROLADO. Las fichas técnicas de ambos productos, con los detalles de sus características, información técnica e instrucciones de uso, se encuentran en los anexos C.2 y C.3 respectivamente.

2. Ensayos aplicados

2.1. Caracterización de los agregados minerales. Cada uno de los elementos utilizados para fabricar concreto determinarán sus características y comportamiento mientras presente plasticidad y a lo largo de toda su vida útil. Las especificaciones técnicas alcanzadas por los fabricantes de componentes como el cemento y los aditivos inorgánicos detallan sus propiedades y las ventajas que genera sobre el producto final una adecuada dosificación de estos; del mismo modo, es necesario conocer las cualidades que definen a los agregados, de tal manera que puedan aprovecharse para fabricar una mezcla de concreto de calidad.

Los ensayos, efectuados durante el desarrollo de la etapa experimental de la tesis, fueron realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción (LEMC) de la Universidad de Piura, en conformidad con las NTP y ASTM competentes.

2.1.1 Análisis granulométrico.

- Agregado fino

- Módulo de finura: Este parámetro se calculó a partir de las cantidades de agregado fino que fueron separadas, según el tamaño de sus partículas, mediante el proceso de tamizado, hallando la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los cedazos: 1 ½'', ¾'', 3/8'', N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100, obteniéndose un

módulo de finura igual a 2.7. El tamizado se realizó en conformidad con lo establecido en la NTP 400.012-2001¹⁶ y sirve para hallar la curva granulométrica característica del árido.

Los requisitos descritos en la NTP 400.037-2002 complementan el análisis granulométrico, ya que permiten validar la calidad del agregado fino al comprobarse que el módulo de fineza está dentro del intervalo de valores recomendados (entre 2.3 y 3.1); además, pese a que el porcentaje que pasó por el tamiz N°4 no se encuentra dentro de los límites establecidos en la Tabla 1 de la norma (ver anexo D.1), esto no generará problemas sobre la trabajabilidad. En la Figura 5 se muestra la curva granulométrica del agregado fino, elaborada a partir de los datos obtenidos en el proceso de tamizado; los puntos de color azul representan los porcentajes de agregado que pasan por los tamices estandarizados que se muestran en el eje de las abscisas.

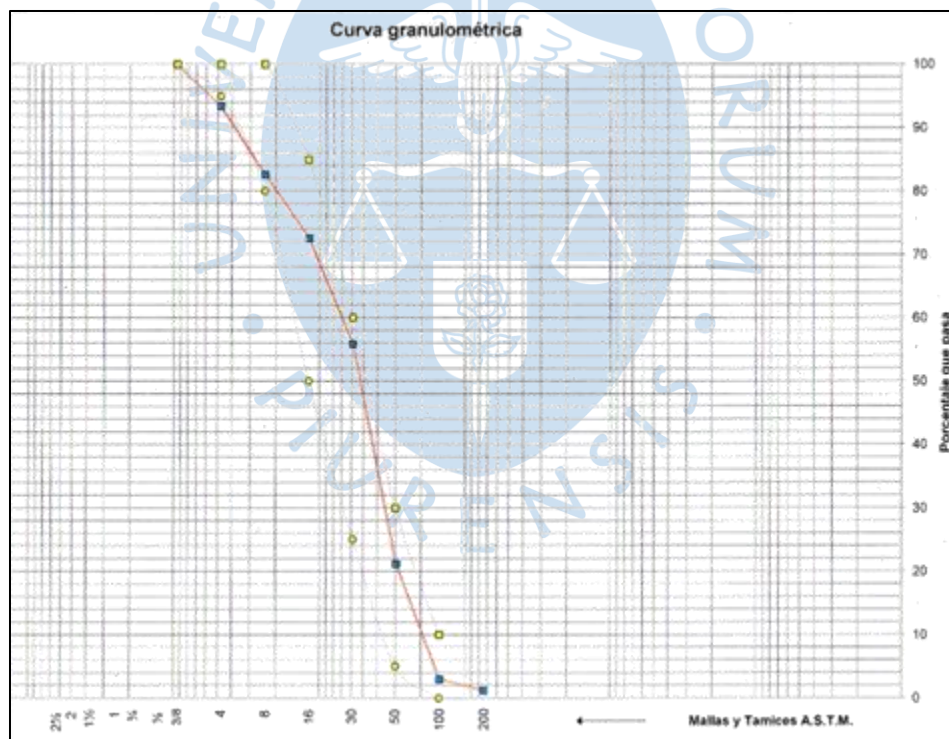


Figura 5. Curva granulométrica del agregado fino procedente de la cantera Santa Cruz.

Fuente: Elaboración propia.

¹⁶ NTP 400.012-2001: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

- Agregado grueso

- Tamaño máximo nominal: Siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 400.012-2001, se llevó a cabo el análisis granulométrico, esta vez, para el agregado grueso triturado, obteniéndose un tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ". En la Figura 6 se muestra la curva granulométrica del agregado grueso, elaborada a partir de los datos obtenidos en el proceso de tamizado; los puntos de color azul representan los porcentajes de agregado que pasan por los tamices estandarizados que se muestran en el eje de las abscisas.

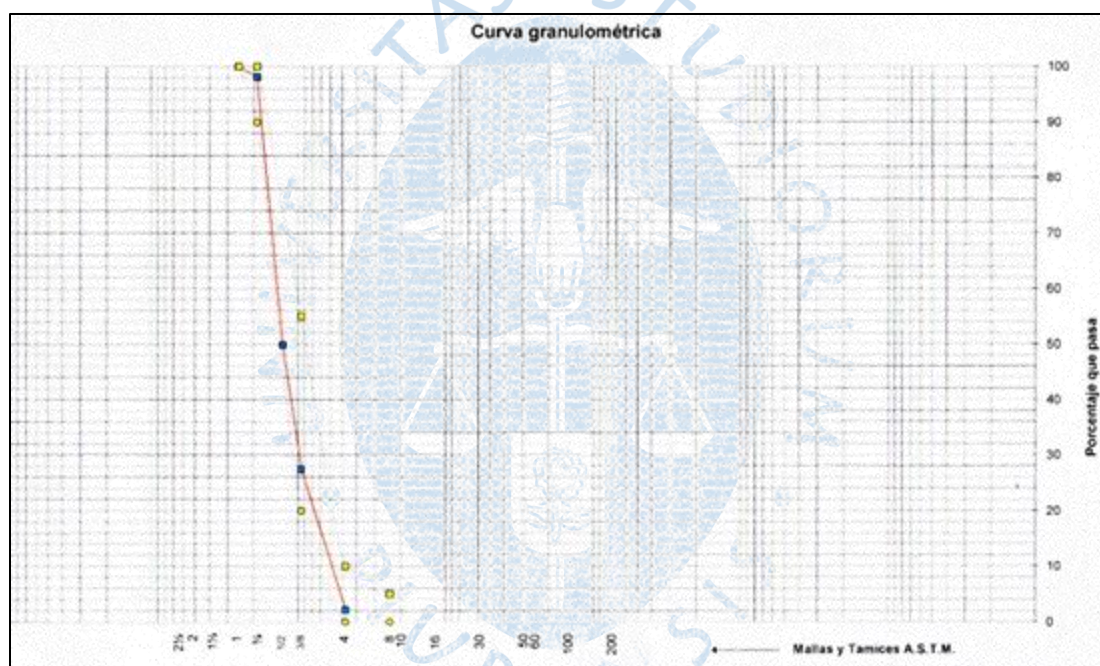


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso triturado procedente de la cantera Sojo.
Fuente: Elaboración propia.

Para comprobar la calidad del agregado grueso triturado se tomó como referencia la NTP 400.037-2002, con la cual pudo corroborarse que cada uno de los valores que representan los porcentajes de material que pasa por los tamices estandarizados cumplen con la gradación¹⁷ definida en la Tabla 4 de la norma (ver anexo D.2), correspondiente en este caso al huso granulométrico¹⁸ N°67.

¹⁷ Gradación: La gradación o granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del proceso de tamizado.

¹⁸ Huso granulométrico: Zona comprendida entre dos curvas granulométricas. En la Figuras 6 el huso granulométrico está delimitado por las curvas que unen a los puntos de color amarillo.

2.1.2 Peso unitario suelto y varillado en stock de los agregados.

- Agregado fino

- Peso unitario suelto: Este ensayo se llevó a cabo siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 400.017-2011¹⁹, en la que se menciona la necesidad de tomar los datos con una exactitud de 0.05 kg.

En este caso se utilizó el recipiente más pequeño recomendado en la Tabla 1 que aparece en la norma antes mencionada y que se muestra en el anexo D.3 de esta investigación, cuya capacidad en metros cúbicos fue seleccionada en función del TMN del agregado grueso. La Figura 7 muestra el acondicionamiento del material en el recipiente justo antes de pesarlo, este proceso se llevó a cabo dos veces con la finalidad de obtener mayor precisión en el cálculo de la densidad a partir del uso de un peso promedio, arrojando valores iguales a 6.429 kg y 6.422 kg.



Figura 7. Acondicionamiento del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, conocidos los valores de parámetros como el peso promedio del recipiente lleno de agregado (6.426 kg), el peso del recipiente vacío (1.709 kg) y el volumen

¹⁹ NTP 400.017-2011: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.

del recipiente (0.00285 m^3), se calculó el peso unitario suelto en stock²⁰ del agregado fino, que es igual a 1655 kg/m^3 .

- Peso unitario varillado: Se calculó mediante el proceso de compactación por apisonado de la NTP 400.017-2011. En la Figura 8 se muestra el apisonado del material haciendo uso de una varilla metálica.



Figura 8. Apisonado del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

El recipiente en el que se acondicionó el agregado fino fue el mismo que se utilizó para calcular el peso unitario suelto, cuyo volumen es 0.00285 m^3 ; el ensayo arrojó valores de peso promedio del recipiente lleno de agregado apisonado y de peso del recipiente vacío iguales a 6.755 kg y 1.709 kg respectivamente. Finalmente, se determinó que el peso unitario varillado en stock es 1771 kg/m^3 .

- Agregado grueso triturado

- Peso unitario suelto: Este parámetro se calculó según la NTP 400.017-2011. El recipiente utilizado para realizar el ensayo fue proporcionado por el LEMC, cuya capacidad era mayor en comparación con el depósito empleado para caracterizar el agregado fino y en el cual se introdujo el material, tal y como se muestra en la Figura 9.

²⁰ Stock: Condición que presenta el agregado bajo temperatura ambiente y en situaciones normales de almacenamiento.



Figura 9. Acondicionamiento del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Tras utilizar los valores correspondientes al peso promedio del recipiente lleno de agregado (17.65 kg), al peso del recipiente vacío (4.65 kg) y al volumen del recipiente (0.00956 m^3); resultó que el peso unitario suelto en stock de agregado grueso triturado es 1360 kg/m^3 .

- Peso unitario varillado: En conformidad con la NTP 400.017-2011 se llevó a cabo el ensayo para calcular la densidad de masa varillada del agregado grueso, para lo cual se utilizó el mismo recipiente empleado para hallar el peso suelto de este material, tal y como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Varillado del agregado grueso triturado.

Fuente: Elaboración propia.

Conocido el volumen del recipiente (0.00956 m^3), como resultado de realizar el proceso de pesado se obtuvo que los valores correspondientes al peso promedio del recipiente lleno de agregado apisonado y al peso del recipiente vacío son 19.31 kg y 4.65 kg respectivamente. Por último, el peso unitario varillado en stock del agregado grueso dio un valor de 1534 kg/m^3 .

2.1.3 Gravedad específica.

- Agregado fino

En conformidad con lo dispuesto en la NTP 400.022-2002²¹ se llevó a cabo el ensayo para determinar la gravedad específica del agregado fino en condición saturado superficialmente seco, cuyo valor es igual a 2.59.

- Agregado grueso triturado

Siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 400.021-2002²², se calculó la gravedad específica del agregado grueso triturado en condición saturado superficialmente seco, obteniéndose un valor de 2.74.

El resultado coincide con el valor promedio registrado en la investigación de Chávez (2016), quien ha identificado que la gravedad específica que caracteriza al material extraído de esta cantera puede tomar un valor máximo igual a 2.79.

²¹ NTP 400.022-2002: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.

²² NTP 400.021-2002: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.

2.1.4 Capacidad de absorción.

- Agregado fino

La capacidad de absorción del agregado fino se calculó según los procedimientos establecidos en la NTP 400.022-2002, cuyo resultado arrojó un valor igual a 1.64%.

Según la investigación de Chávez (2016), el agregado fino extraído de la cantera Santa Cruz ha registrado, a lo largo de los años, valores que oscilan entre el 1% y el 1.60%; no obstante, Chávez aclara que el agregado será apto para su uso en la fabricación de concreto siempre que su capacidad de absorción sea menor al 2.5%.

- Agregado grueso triturado

Para calcular la capacidad de absorción del agregado grueso se tomó como referencia la NTP 400.021-2002, resultando un valor igual a 1.22%. Es necesario mencionar que Chávez (2016) establece un rango de valores históricos para este parámetro, propio de un agregado grueso proveniente de la cantera Sojo, el cual oscila entre 0.72% y 1.90%, con un valor promedio igual a 1.16%.

2.1.5 Humedad total.

- Agregado fino

Este ensayo se llevó a cabo en conformidad con los procedimientos mencionados en la NTP 339.185-2002²³.

A partir de los datos obtenidos sobre el peso del material, antes y después de llevar a cabo el proceso de secado en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, se obtuvo un valor de humedad total igual al 0.50%. Según la investigación realizada por Chávez (2016),

²³ NTP 339.185-2002: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

este resultado se encuentra dentro del rango de valores que normalmente alcanza el agregado fino de la cantera Santa Cruz, comprendido entre 0.24% y 0.73%.

- Agregado grueso triturado

La humedad total del agregado grueso triturado se calculó siguiendo el mismo procedimiento usado en el agregado fino (NTP 339.185-2002), obteniéndose como resultado un valor igual a 0.49%. En la Figura 11 se muestra el inicio del secado de las muestras, como parte del cálculo de la humedad total del agregado fino y del agregado grueso triturado.



Figura 11. Acondicionamiento de las muestras de los agregados en el horno de secado.

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 es una tabla resumen de los parámetros físicos, tanto del agregado fino como del agregado grueso triturado.

Tabla 1. Parámetros físicos de los agregados.

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Módulo de fineza	2.70	-
TMN (pulg.)	-	½"
Peso unitario suelto en stock (kg/m ³)	1655	1360
Peso unitario varillado en stock (kg/m ³)	1771	1534
Gravedad específica (SSS)	2.59	2.74
Capacidad de absorción (%)	1.64	1.22
Humedad total (%)	0.50	0.49

TMN: Tamaño máximo nominal.

SSS: Agregado en condición saturado superficialmente seco.

Fuente: (Castro, 2018).

2.2. Concreto fresco. Al concluir el proceso usado para integrar los componentes al interior de la mezcladora (ver Figura 12), equipo proporcionado por el laboratorio de ensayo de materiales de construcción, fue necesario constatar que el concreto cumpliera con los requerimientos de asentamiento y conservación de la trabajabilidad durante un periodo prolongado de tiempo fijados; para esto, se aplicaron las pruebas correspondientes al material mientras permaneció en estado plástico, cuyos procedimientos se expondrán a continuación.



Figura 12. Fabricación de concreto fluido.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Peso unitario. A partir del procedimiento mencionado en la NTP 339.046-2008²⁴, el primer paso para hallar el valor de este parámetro en cada uno de los diseños fabricados fue seleccionar el método de llenado del concreto al interior de un recipiente, para lo cual se escogió el proceso de consolidación por apisonado; luego de hallar los valores correspondientes al volumen del depósito, al peso del instrumento lleno de material y al peso del contenedor cuando este se encontraba vacío, se dividió el peso neto de la muestra entre el volumen. Los datos se registraron inmediatamente después de que culminó el mezclado de los componentes.

²⁴ NTP 339.046-2008: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).

2.2.2 Temperatura de las mezclas. Los datos obtenidos al llevar a cabo este ensayo, que se realizó siguiendo los procesos establecidos en la NTP 339.184-2002²⁵, fueron medidos en intervalos de tiempo de 30 minutos desde el momento en el que culminó el mezclado al interior del trompo; esta prueba permitió conocer la acción de los aditivos frente a la variación del asentamiento del material. Cabe resaltar que no se cuenta con las especificaciones técnicas sobre valor de este parámetro para el concreto puesto en obra.

2.2.3 Medición del asentamiento del concreto (slump). El método usado para medir el asentamiento de las mezclas diseñadas se encuentra en la NTP 339.035-2015²⁶. La toma de datos se realizó en intervalos de 20 minutos, medidos desde el momento en el que finalizó el proceso de mezclado y culminó cuando el resultado fue igual a cero milímetros.

El volumen de concreto usado para realizar la prueba fue introducido nuevamente en la mezcladora, debido a que la capacidad del instrumento era limitada y no se recomendaba agregar material ajeno a la tanda para suplir la porción consumida de la cantidad total de mezcla, necesaria para llevar a cabo todos los ensayos y para fabricar probetas; además, al adoptar esta medida, se buscaba simular las condiciones en las que un camión mixer transportaría el concreto durante periodos de tiempo prolongados.

2.2.4 Extensibilidad del concreto. Este ensayo se llevó a cabo para verificar la fluidez del concreto adicionado, siguiendo los procedimientos establecidos en la NTP 339.219-2008²⁷; se registraron datos cada 60 minutos a partir de la primera vez que se aplicó esta prueba, la cual se realizó luego de que transcurrieran 35 minutos de haber fabricado la mezcla.

En primer lugar, se eligió un área de terreno no absorbente, que tuviera una superficie lisa y se encontrara nivelada, sobre la que se dibujó un círculo de 500 mm de diámetro, al que identificaremos con la letra F; acto seguido, el cono usado en la prueba de asentamiento

²⁵ NTP 339.184-2002: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).

²⁶ NTP 339.035-2015: CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.

²⁷ NTP 339.219-2008: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo estándar para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactado.

fue ubicado en la parte central del círculo y llenado de concreto sin hacer ningún tipo de consolidación, para que finalmente fuese levantado de manera que el material en su interior se esparciera (ver Figura 13).



Figura 13. Posicionamiento del cono de Abrams y extensión de la mezcla.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5 Flujo de la mezcla a través del anillo-J (J-Ring). Para medir el flujo del concreto a través del anillo-J, se usaron como referencia los procedimientos establecidos en la NTP 339.220²⁸, se registraron datos cada 60 minutos a partir de la primera vez que se aplicó esta prueba, la cual se realizó luego de que transcurrieran 40 minutos de haber fabricado la mezcla.

En esta oportunidad, el anillo japonés o anillo-J, indispensable para la realización de esta prueba, fue construido desde cero ya que no se cuenta con este aparato en el LEMC. El instrumento consta de un anillo con un ancho de 3.8 ± 1.5 mm y 150 mm de radio medido desde el centro hasta la mitad del ancho, en el que se soldaron barras verticales de acero, separadas una distancia de 58.9 ± 1.5 mm medida entre los centros de estas (ver Figura 14).



Figura 14. Anillo-J.

Fuente: Elaboración propia.

²⁸ NTP 339.220: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo estándar para determinar la habilidad de paso del concreto autocompactado por el anillo.

El diámetro mayor del cono de Abrams, sumado a la longitud de los estribos para colocar los pies, superaban los 300 mm de longitud, lo que provocó que se invirtiera el molde para que pudiese colocarse al centro del anillo; finalmente, se llenó de concreto sin hacer ningún tipo de consolidación y fue levantado de manera que el material en su interior se esparciera (ver Figura 15).



Figura 15. Colocación del concreto en el cono de Abrams invertido.

Fuente: Elaboración propio.

2.2.6 L-box (caja en L). El método de ensayo es explicado por el *American Concrete Institute* en la norma ACI 238.1R-37²⁹, para lo cual se hace uso de una caja en forma de L, de dimensiones sugeridas por el ACI, en la que se dispondrán barras de acero verticales separadas una distancia igual a tres veces el tamaño máximo del agregado que compone a la mezcla ensayada y que cuenta además con una compuerta que aísla la sección vertical de la horizontal, esta última representará el volumen de los elementos estructurales pertenecientes al proyecto (ver Figura 16).

²⁹ ACI 238.1R: Report on Measurements of Workability and Rheology of Fresh Concrete.

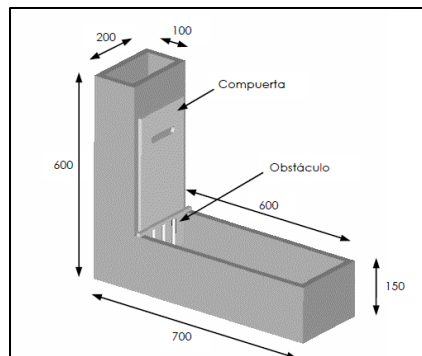


Figura 16. Caja en L (dimensiones en mm).

Fuente: (American Concrete Institute, 2008).

La caja en L fue proporcionada al LEMC y construida con piezas de madera de 18 mm de espesor, no absorbentes, de superficie lisa y ensambladas de tal manera que las uniones estén selladas herméticamente; sobre el segmento que constituye el fondo de la caja se han dibujado marcas que indican longitudes de 200 y 400 mm, medidas desde la posición de la compuerta. Las barras que constituyen el obstáculo que simula el refuerzo al interior de una estructura son de acero corrugado y tienen un diámetro de $\frac{1}{2}$ ".

Siguiendo el procedimiento descrito en la norma, el ensayo empezó con el aislamiento de la sección vertical luego de haber cerrado la compuerta, en la que se colocó una muestra de concreto igual a 0.012 m^3 ; finalmente, se abrió la compuerta para que el material se esparciera por acción de la gravedad. Los valores de T_{20} y T_{40} (tiempo que le toma a la mezcla desplazarse 200 y 400 mm respectivamente), así como de h_1 (nivel del concreto en la sección vertical de la caja) y de h_2 (nivel del concreto en el canal horizontal), ayudaron a comprobar que la consistencia encontrada fuese la adecuada a partir del cálculo de la relación de bloqueo (h_2/h_1). Se registraron datos cada 60 minutos a partir de la primera vez que se aplicó esta prueba, la cual se realizó luego de que transcurrieran 45 minutos de haber fabricado la mezcla.

De presentarse problemas de exudación o segregación en las mezclas, estos pueden identificarse a través de un proceso de observación al final del ensayo.

2.3. Concreto endurecido. En la etapa final del programa experimental, luego de haber cuantificado los aspectos más importantes de trabajabilidad en los diseños de mezcla fabricados, se realizaron los ensayos pertinentes para comprobar que el concreto tuviera la resistencia a la compresión especificada (300 kg/cm^2 o 29.4 MPa) y para verificar que las proporciones de los componentes sean las correctas. Los especímenes elaborados fueron curados según las exigencias de la NTP respectiva y almacenados por 28 días calendario antes de llevar a cabo la prueba.

2.3.1 Resistencia a la compresión. En conformidad con la NTP 339.033³⁰, los especímenes fueron fabricados, usando el proceso de consolidación por apisonado, en moldes cilíndricos de 150 mm de diámetro x 300 mm de alto, a razón de dos probetas cada 60 minutos a partir de la elaboración de los dos primeros testigos, lo cual se realizó en cada uno de los diseños de mezcla inmediatamente después de haber llevado a cabo la prueba de peso unitario.

Para la fabricación de los últimos testigos, 180 minutos después de la elaboración de los dos primeros especímenes, el volumen de concreto restante en la mezcladora no era el suficiente para continuar con el moldeado, por lo que se decidió cambiar el tamaño de los moldes y utilizar cilindros de 100 mm de diámetro x 200 mm de alto, obteniéndose para cada mezcla tres probetas con estas dimensiones. Finalmente, se obtuvo un total de 36 probetas.

El curado inicial terminó cuando la consistencia de la muestra fue la necesaria para retirar el molde cilíndrico (máximo 48 horas), acto seguido, cada espécimen fue identificado y almacenado en una solución de agua con cal al interior de las pozas del LEMC de la Universidad de Piura, a una temperatura aproximada de 23°C . Transcurridos los 28 días de curado en la poza, cada testigo fue acondicionado y posteriormente ensayado en la prensa hidráulica según lo dispuesto en la NTP 339.034³¹ (ver Figura 17).

³⁰ NTP 339.033-2009: HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.

³¹ NTP 339.034-1999: HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.



Figura 17. Acondicionamiento de los especímenes para el ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

3. Diseño de mezclas

Para la construcción de pilotes colocados in situ con encofrado metálico recuperable, descrita en el informe presentado por Lama, (2017) se solicitó la fabricación de un concreto que: tenga un revenimiento de 8 pulgadas (200 mm), este compuesto por agregado grueso con un TMN igual a $\frac{1}{2}$ pulgada, desarrolle resistencias alrededor de los 300 kg/cm^2 y que se mantenga trabajable por un periodo mínimo de 4 horas. Además, las especificaciones indican que el concreto será bombeado desde donde se encuentre hasta el punto de ubicación del encofrado y colocado a través del sistema de tubería tremie; finalmente, es necesario considerar que no se debe hacer uso de equipos especiales para que la mezcla se acomode correctamente por toda la estructura, ya que esto debe ocurrir por acción de su propio peso y gracias a su capacidad para autocompactarse.

Este proceso se llevó a cabo conforme a los procedimientos expuestos en la norma ACI 211.1. Es necesario considerar que el método del *American Concrete Institute* (ACI) es un modo práctico de fabricar concreto, desarrollado a partir de una gran cantidad de información empírica recolectada sobre el tema y que exige la ejecución de ensayos que confirmen, para este caso en particular, que la mezcla tenga las propiedades mecánicas exigidas.

3.1. Diseño de mezcla patrón (P). Para elaborar un concreto de calidad era necesario calcular la dosificación³² adecuada, a fin de obtener la trabajabilidad requerida. Las proporciones usadas para fabricar este diseño fueron establecidas a partir de la evaluación realizada al desempeño de varias mezclas de prueba.

Conocido el asentamiento que debía desarrollar, característico de un concreto de consistencia fluida, así como el tamaño máximo nominal del agregado grueso, se estableció que el volumen unitario de agua³³ y el contenido de aire fueran 206 L y 2.5% respectivamente; además, a partir de la resistencia a la compresión especificada, se fijó una relación agua/cemento (a/c) igual a 0.51. Para hallar el volumen varillado del agregado grueso en un metro cúbico de material, se utilizaron el tamaño máximo de este componente y el módulo de finura del árido fino, obteniéndose 0.65 m³; la proporción de este parámetro permitió dosificar una menor cantidad de árido fino, lo que a su vez generó que se usara menos cemento para cubrir las partículas más pequeñas.

Cabe resaltar que en la norma ACI 211.1 se presentan los valores máximos recomendados de los parámetros usados para producir concreto, lo que permitió corregir la dosificación tomando como referencia las características de los agregados y la experiencia adquirida respecto a la fabricación de mezclas.

Los parámetros expresados en la Tabla 1, así como el volumen varillado del árido grueso, fueron utilizados para hallar las cantidades en estado seco, saturado superficialmente seco y stock de los agregados únicamente; la proporción del agregado fino se obtuvo a partir del volumen absoluto de este material, que a su vez fue calculado al restar el volumen absoluto de 1m³ de concreto con la suma de los volúmenes absolutos pertenecientes al resto de componentes (agregado grueso, agua, cemento y aire). Durante el proceso de diseño, debido a la capacidad de absorción de los áridos usados, la dosificación del agua de mezcla sufrió un aumento tras realizar la corrección por humedad pertinente. En la Tabla 2 se muestra la dosificación definitiva de la mezcla patrón.

³² Dosificación: Proporción de cada uno de los componentes usados para fabricar concreto.

³³ Volumen unitario de agua: Cantidad de agua de mezcla para un metro cúbico de concreto.

Tabla 2. Dosificación de la mezcla patrón.

	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1 m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Pacasmayo	404	kg	1
Agregado fino	Santa Cruz	697	kg	1.56
Agregado grueso	Sojo	997	kg	2.72
Agua	LEMC	221	kg	--
Vol. varillado a.g.	--	0.65	m ³	--
a/c	--	0.51	--	--
Slump	--	200	mm	--
Factor cemento	--	9.51	bls/m ³	--

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción de la Universidad de Piura.

3.2. Diseño de mezcla D1037(0.85). En el marco teórico perteneciente a esta investigación se mencionaron los resultados favorables obtenidos a partir de la incorporación de adiciones en una mezcla, por lo tanto, con la finalidad de mejorar las propiedades de trabajabilidad del concreto evaluado, se dosificó el aditivo EUCON 1037 superplastificante, cuyas propiedades se presentan en el anexo C.2.

Con la dosificación del reductor de agua de alto rango se buscó proveer a la mezcla con un asentamiento mínimo de 8 pulgadas (200mm) con la incorporación de una menor cantidad de agua en comparación con la mezcla patrón, siempre y cuando se mantengan las proporciones adecuadas de los agregados; además, la relación a/c fue igual a la que se calculó en el diseño anterior, debido a que la resistencia a la compresión ya se ha fijado.

A partir de la disminución en el volumen de agua, se utilizó menos cemento para que la relación a/c no varíe, por esta razón, la cantidad de agregados incorporados debía ser mayor, de tal manera que las proporciones de los componentes sean las suficientes para producir un metro cúbico de concreto. Como se consideró en el diseño de mezcla patrón, el porcentaje que representa al agregado grueso debe ser mayor, de tal manera que la porción de pasta necesaria para cubrir todas las partículas del árido fino sea menor, lo que significa que el volumen varillado aumentó, obteniéndose un valor igual a 0.66 m³.

Finalmente, a partir de las consideraciones presentadas en los párrafos anteriores, se elaboró la mezcla que identificaremos con el código D1037(0.85). En esta denominación, D

hace referencia a que se trata de un diseño de mezcla de concreto, 1037 representa al aditivo EUCON 1037 superplastificante reductor de agua de alto rango, el cual ayuda a mantener la plasticidad de 30 a 90 minutos después de su aplicación (ver anexo C.2), y el número ubicado dentro del paréntesis simboliza el porcentaje en el que fue añadido el aditivo a la mezcla, cantidad que está en función de las características de los materiales locales y de las necesidades particulares de la obra, cuyos valores oscilan entre el 0.7% y 1.9% del peso del cemento por recomendación del fabricante.

El volumen de agua inicial fue de 181 L, este valor sufrió un incremento luego de realizar la corrección por humedad respectiva, obteniéndose 197 L de agua efectiva.

La dosificación de este segundo diseño de mezcla se muestra en la Tabla 3 presentada a continuación.

Tabla 3. Dosificación de D1037(0.85).

	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1 m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Pacasmayo	355	kg	1
Agregado fino	Santa Cruz	787	kg	1.9
Agregado grueso	Sojo	1012	kg	3.1
Agua	LEMC	197	kg	--
1037(0.85%)	LEMC	3.02	kg	--
Vol. varillado a.g.	--	0.66	m ³	--
a/c	--	0.51	--	--
Slump	--	200	mm	--
Factor cemento	--	8.4	bls/m ³	--

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción de la Universidad de Piura.

3.3. Diseño de mezcla D1037(0.85) yWR-75(0.25). El tercer diseño de mezcla fue complementado con la adición de EUCON WR-75 ADITIVO MANTENSOR DE PLASTICIDAD, REDUCTOR DE AGUA CON RETARDO CONTROLADO en una proporción igual al 0.25% del peso del cemento, la cual se encuentra dentro del rango de valores recomendados presentado por el fabricante.

Según la ficha técnica presentada en el anexo C.3, el EUCON WR-75 también fue formulado para que el concreto desarrolle un determinado valor de *slump* con la incorporación

de una menor cantidad de agua; en consecuencia, con la dosificación de este producto, sumado al efecto que produciría el superplastificante, se busca reducir aún más el consumo de cemento a partir de la adición de un menor volumen de agua, manteniéndose la relación a/c usada anteriormente para que el material tenga la resistencia a la compresión establecida. El retardo controlado fue evaluado en los ensayos correspondientes, cuyos resultados serán analizados en el capítulo siguiente.

De la misma forma como se consideró en todos los diseños evaluados, el porcentaje de agregado grueso fue mayor en comparación con la cantidad de árido fino incorporada; por último, el volumen de agua efectiva obtenida al llevar a cabo la corrección por humedad correspondiente fue igual a 187 L. En la Tabla 4 se muestra la dosificación de este diseño de mezcla.

Tabla 4. Dosificación de D1037(0.85) yWR-75(0.25).

	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1 m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Pacasmayo	333	kg	1
Agregado fino	Santa Cruz	819	kg	2.1
Agregado grueso	Sojo	1028	kg	3.4
Agua	LEMC	187	kg	--
1037(0.85%)	LEMC	2.83	kg	--
WR-75(0.25%)	LEMC	0.83	kg	--
Vol. varillado a.g.	--	0.67	m ³	--
a/c	--	0.51	--	--
Slump	--	200	mm	--
Factor cemento	--	7.84	bls/m ³	--

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción de la Universidad de Piura.

3.4. Diseño de mezcla D1037(1) yWR-75(0.3). En la parte final del diseño de mezclas se probaron nuevas alternativas de dosificación de los aditivos, variando estos valores hasta llegar a utilizar, como fue el caso del WR-75, las cantidades máximas recomendadas. Las proporciones de cada componente fueron iguales a las que se calcularon en el diseño de mezcla anterior. La Tabla 5 muestra la dosificación de la mezcla con variación en las proporciones de los aditivos.

Tabla 5. Dosificación de D1037(1) yWR-75(0.3).

	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1 m³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	Pacasmayo	333	kg	1
Agregado fino	Santa Cruz	819	kg	2.1
Agregado grueso	Sojo	1028	kg	3.4
Agua	LEMC	187	kg	--
1037(1%)	LEMC	3.33	kg	--
WR-75(0.3%)	LEMC	0.99	kg	--
Vol. varillado a.g.	--	0.67	m³	--
a/c	--	0.51	--	--
<i>Slump</i>	--	200	mm	--
Factor cemento	--	7.84	bls/m³	--

Fuente: Laboratorio de ensayo de materiales de construcción de la Universidad de Piura.





Capítulo 3

Análisis y discusión de resultados

En el presente capítulo se expondrán los argumentos que podrían ayudarnos a entender mejor los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las mezclas de concreto diseñadas, evaluadas durante el periodo en el que se mantuvo la plasticidad y en la etapa posterior al desarrollo de resistencia del material.

Las características de asentamiento y resistencia a la compresión fueron comparadas entre todas las mezclas, sin embargo, los resultados de las pruebas aplicadas para medir la trabajabilidad solo se contrastaron entre los diseños que estaban compuestos por algún tipo de aditivo que propiciaría la mejora de esta condición.

1. Dosificación de los componentes en los diseños de mezcla fabricados

A continuación, se evaluarán las cantidades en las que los componentes del concreto han sido incorporados. Una adecuada dosificación ayudará a producir una mezcla con las características de trabajabilidad y resistencia deseadas, generando también ahorro en cuanto a los gastos de adquisición y de explotación de las materias primas.

En la Tabla 6 se presenta una comparación entre la dosificación de los cuatro diseños de mezcla fabricados, tomando en consideración que estas son las cantidades necesarias para producir un metro cúbico de concreto.

Tabla 6. Dosificación de los diseños de mezcla en stock.

	P	D1037(0.85)	D1037(0.85) yWR-75(0.25)	D1037(1) yWR-75(0.3)
Cemento (kg)	404	355	333	333
A. fino (kg)	697	787	819	819
A. grueso (kg)	997	1012	1028	1028
Agua (kg ^a)	221	197	187	187
EUCON 1037 (kg)	-	3.02	2.83	3.33
EUCO wr-75 (kg)	-	-	0.83	0.99
PT (kg)	2319	2354	2371	2371
Factor cemento	9.51	8.4	7.84	7.84

PT: Peso total.

a: Cantidad calculada considerando la densidad del agua potable igual a 0.9982 kg/L.

Fuente: Elaboración propia.

Las proporciones de agregado grueso triturado y de árido fino que constituyen a la mezcla patrón, representan el 59% y el 41% respectivamente de la suma de los pesos de ambos componentes; estas porciones, calculadas a partir de los procedimientos establecidos en la norma ACI 211.1, serán las idóneas para producir una mezcla que desarrolle 8 pulgadas (200mm) de *slump* y tenga una resistencia a la compresión de 300 kg/cm² a los 28 días. Por esta razón, en los cuatro diseños evaluados se mantuvo un porcentaje de árido grueso mayor en comparación con el fino, ya que la disminución del contenido de arena propiciaría un menor consumo de cemento y agua.

Al agregarse una menor cantidad de agua, también disminuye la trabajabilidad del material, por lo tanto, con la incorporación de aditivos inorgánicos, se intenta suplir esta deficiencia y obtener un concreto que presente valores de asentamiento y resistencia a la compresión adecuados; además, se busca que el costo de producción sea más bajo gracias al ahorro en el número de bolsas de cemento (factor cemento³⁴) usadas.

2. Concreto fresco

2.1. Peso unitario. En la Tabla 7 se muestran los pesos unitarios reales de los cuatros diseños de mezcla fabricados.

Tabla 7. Peso unitario (masa por unidad de volumen) de las mezclas de concreto.

	P	D1037(0.85)	D1037(0.85) yWR-75(0.25)	D1037(1) yWR-75(0.3)
PU (kg/m³)	2354	2365	2361	2337

PU: Peso unitario.

Fuente: Elaboración propia.

Los diseños D1037(0.85) y D1037(0.85) yWR-75(0.25) desarrollaron un peso unitario mayor en comparación con la mezcla patrón (P), este resultado lógico se debe al incremento en la proporción de los agregados minerales (ver Tabla 6); sin embargo, el valor de este parámetro tenderá a disminuir entre las mezclas adicionadas a medida que se dosifique una mayor cantidad de aditivos superplastificante y mantensor de plasticidad, lo que se podría considerar con la causa de que el diseño D1037(1) yWR-75(0.3) fuese mucho más liviano.

³⁴ Factor cemento: Parámetro que representa al número de bolsas de cemento necesarias para calcular un metro cúbico de concreto.

Con la finalidad de complementar lo mencionado en el párrafo anterior, se podría considerar también que el decremento del peso unitario se debió a que la cantidad de cemento que se incorporó en los diseños fue disminuyendo (ver Tabla 6); por lo tanto, al tener este componente un peso específico mayor al de los áridos, si se dosifica en una menor proporción, el peso unitario del material disminuirá. El efecto de la incorporación de aditivos sobre el peso unitario del concreto deberá ser objeto de investigaciones futuras.

2.2. Temperatura de las mezclas de concreto. La temperatura del concreto es un parámetro que debe controlarse, de lo contrario, se generaría pérdida de trabajabilidad y fraguado del material a edades tempranas, ambas son características indeseables en una mezcla usada para construir cimentaciones profundas (pilotes).

A partir de los datos mostrados en la Figura 18 se analizará la variación de este parámetro a lo largo del tiempo, así como la influencia de las condiciones de temperatura ambiente sobre el material y el aumento del calor de hidratación en la mezcla a raíz de la dosificación de una cantidad determinada de cemento.

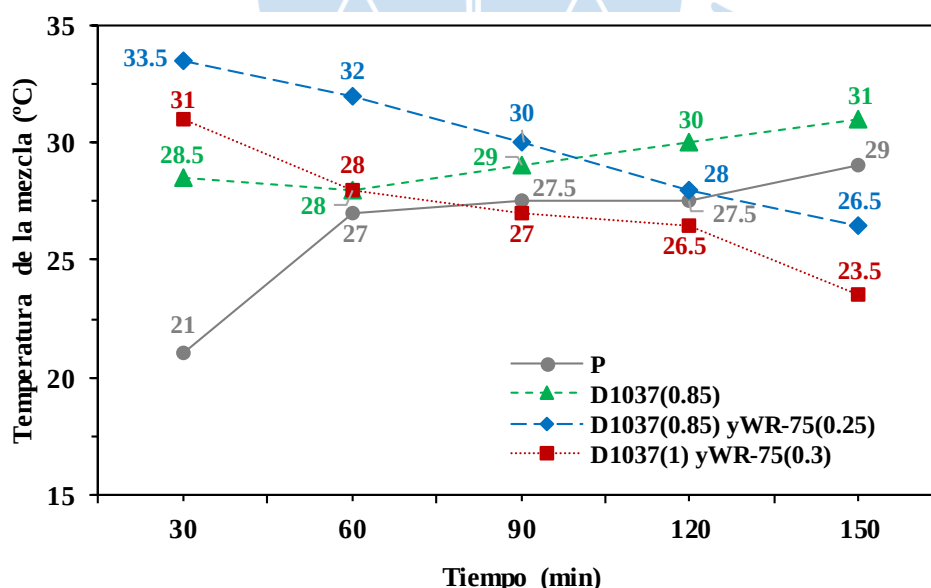


Figura 18. Variación de la temperatura a lo largo del tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la Figura 18, la temperatura de la mezcla patrón incrementa conforme avanza el tiempo, registrándose la mayor variación durante la primera hora, medida a partir de la dosificación de los componentes ($\Delta 6^{\circ}\text{C}$), esto ocurre debido a las reacciones

exotérmicas inherentes al proceso de hidratación de las partículas de cemento cuando entran en contacto con agua, presentándose los valores más altos durante los primeros minutos, lapso en el que tiene lugar la hidrólisis³⁵ inicial. La temperatura del material también podría subir si la temperatura ambiente se eleva, por esta razón, durante los ensayos, el diseño evaluado se conservó al interior del trompo mezclador con el propósito de disminuir los efectos del incremento de este parámetro en el entorno.

En D1037(0.85) el proceso de hidratación del cemento se llevó a cabo de forma normal, sin embargo, entre 30 y 60 minutos después de la dosificación se registró un descenso en la temperatura de la mezcla ($\Delta -0.5^{\circ}\text{C}$); según las especificaciones técnicas presentadas en el anexo C.2, la incorporación del aditivo superplastificante podría generar que el concreto retenga su consistencia plástica de 30 a 90 minutos, medidos desde la integración de sus componentes, dando lugar a que el material libere menos calor de hidratación durante la hidrólisis inicial. Finalmente, la caída de la temperatura no logró mantenerse en el tiempo, obteniéndose valores superiores en las siguientes horas.

Los valores final e inicial en D1037(0.85), mostrados en la Figura 18, difieren en 2.5°C luego de haber transcurrido 2 h 30 min de la fabricación del material, lo que demuestra que la temperatura del concreto no aumentó considerablemente a lo largo del tiempo.

En D1037(0.85) y WR-75(0.25) se notó un cambio significativo, presentándose una variación de temperatura igual a -7°C en un periodo de 2 h 30 min (ver Figura 18); el aditivo retardante fue diseñado, entre otros propósitos, para inhibir el proceso de hidratación de las partículas de cemento, lo cual pudo haber sido uno de los factores que provocó que este parámetro disminuyera en la mezcla a lo largo del tiempo.

En las especificaciones técnicas del aditivo EUCO WR-75 incorporado en este diseño (ver anexo C.3), se indica que este producto es ideal para mezclas colocadas en climas cálidos y templados.

³⁵ Hidrólisis: Proceso en el que algunos componentes del cemento se disuelven en agua.

La prueba se llevó a cabo bajo una temperatura ambiente promedio de 35°C; sin embargo, a pesar de alcanzar un valor elevado en el entorno, no se registró un incremento de este parámetro en la mezcla.

En D1037(1) yWR-75(0.3) se obtuvo el mismo resultado que en el caso anterior, pero en esta oportunidad se alcanzaron valores de temperatura mucho menores, registrándose una variación de -7.5°C en un periodo de 2 h 30 min (ver Figura 18). La incorporación de una mayor proporción de aditivo retardante sería la causa de este efecto; además, el hecho de que el ensayo se llevó a cabo bajo una temperatura ambiente menor a la que fue expuesta D1037(0.85) yWR-75(0.25) también pudo influir en los resultados.

2.3. Trabajabilidad. La colocación del concreto para la construcción de pilotes puede prolongarse varias horas después de la fabricación del material, además, en ocasiones se presenta la necesidad de mantener la trabajabilidad por mucho más tiempo para que el encofrado metálico de la pilotera sea retirado sin dificultades; por esta razón, es necesario comprobar que la mezcla se mantendrá fluida durante un lapso determinado. Esto se evaluará a través de la realización de diversos ensayos disponibles para medir la manejabilidad.

Comparado con las especificaciones técnicas exigidas para el proyecto, presentadas por Lama (2016), el *slump* inicial de los cuatro diseños fabricados superó al requerido (8 pulgadas o 200 mm), como se muestra en la Figura 19; sin embargo, también se considera necesario que el material tenga una pérdida de asentamiento lenta, de tal manera que presente una depresión mayor a 4 pulgadas aún después de haber transcurrido cuatro horas (240 minutos) desde su fabricación.



Figura 19. Asentamiento inicial de la mezcla patrón.

Fuente: Elaboración propia.

Según la norma ACI 211.1³⁶, un concreto de consistencia fluida posee un *slump* igual o mayor a 5 pulgadas (125 mm), mientras que, una mezcla que tiene una adecuada trabajabilidad, desarrolla un *slump* mínimo de 4 pulgadas (100 mm); en la Figura 20 se muestra la curva que representa la pérdida de asentamiento a lo largo del tiempo de cada mezcla diseñada en esta investigación.

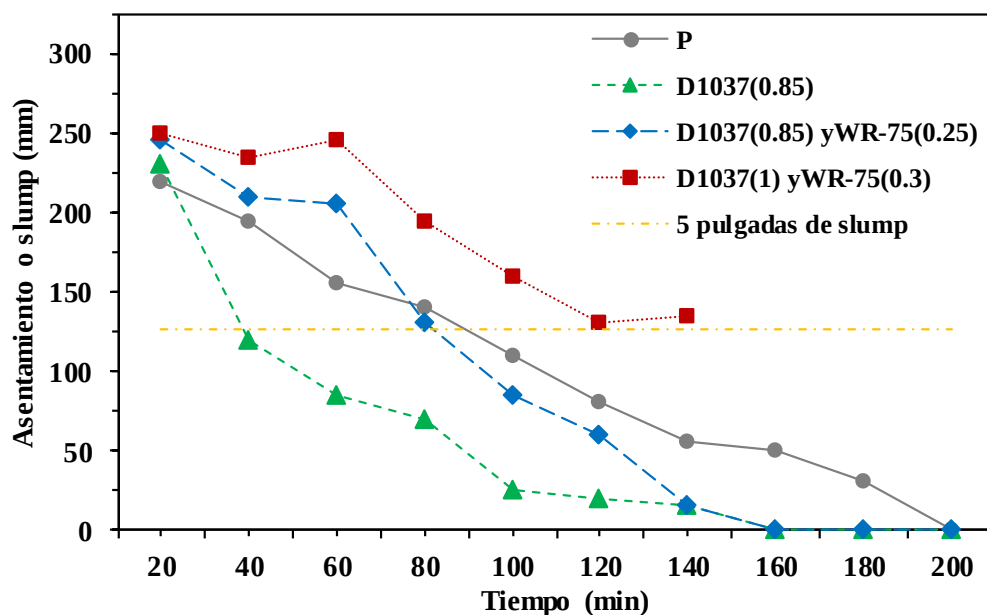


Figura 20. Caída del asentamiento a lo largo del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

³⁶ ACI 211.1: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009).

Al analizar los datos registrados, se observó lo siguiente:

A pesar que no se ha dosificado ningún tipo de aditivo, la mezcla patrón mantuvo un *slump* mayor o igual a 5 pulgadas (127 mm), ideal para su colocación al interior de la camisa recuperable de la pilotera, un periodo de 1 h 20 min, al que identificaremos con las siglas T_c en todos los diseños fabricados; el tiempo límite para que el fuste metálico pueda ser retirado sin que quede atrapado por endurecimiento del concreto, lapso en el que el material desarrolla un asentamiento de 4 pulgadas (101 mm) como mínimo, será identificado con la sigla T_r y en este caso resultó igual a 1 h 40 min, medido a partir de la incorporación de los componentes.

En promedio, este concreto convencional presentó una pérdida de asentamiento a razón de 0.96 pulgadas (24 mm) cada veinte minutos, por consiguiente, el material tuvo un *slump* de cero pulgadas transcurridas 3 h 20 min después de su dosificación.

El diseño de mezcla patrón no cumplió con la especificación de trabajabilidad prolongada requerida, sin embargo, la dosificación usada fue la base, a partir de la cual se corrigieron las cantidades de los componentes en función de las dosis en las que se incorporaron los aditivos inorgánicos.

En la ficha técnica del superplastificante EUCON 1037 (ver anexo C.2), se indica que este producto fue fabricado con el propósito de mantener la consistencia plástica del material de 30 a 90 minutos después de la integración de todos los componentes; el resultado del ensayo fue que la mezcla D1037(0.85) presentó una pérdida de asentamiento promedio de 1.01 pulgadas (25 mm) cada veinte minutos, obteniéndose valores de T_c y T_r menores a 40 y 50 minutos respectivamente, los cuales representan solo el 44% y el 55% del lapso total en el que la mezcla podría haber conservado su fluidez. El diseño desarrolló un *slump* igual a cero, pasadas 2 h 40 min (160 min).

Según los datos registrados en la Figura 20, solo en los primeros 40 minutos posteriores a la fabricación de la mezcla, el asentamiento de 230 mm (9.01 pulgadas), propio de un concreto de consistencia fluida, se redujo en 47.8%.

Con la finalidad de fabricar un concreto que se mantenga trabajable por más tiempo, se agregó, además del superplastificante, un aditivo reductor de agua con retardo controlado durante la dosificación de los componentes de D1037(0.85) yWR-75(0.25). Tras medir el asentamiento de la mezcla a lo largo del tiempo, se obtuvieron valores de T_c y T_r iguales a 1 h 20 min y 1 h 30 min respectivamente, presentándose una caída de *slump* a razón de 1.07 pulgadas (27 mm) cada veinte minutos. Este diseño alcanzó una depresión nula³⁷ en un lapso de 2 h 40 min después de su dosificación.

D1037(0.85) yWR-75(0.25) no se mantuvo trabajable por un periodo mínimo de 4 horas; sin embargo, la caída de asentamiento que presentó a edades tempranas es considerablemente menor en comparación con D1037(0.85). En el anexo C.3, se menciona que el retardo controlado proporcionado por el aditivo WR-75 está en función de la dosis empleada; en consecuencia, para elaborar D1037(1) yWR-75(0.3) se aumentó la proporción de este componente hasta el valor límite recomendado.

Al ensayar D1037(1) yWR-75(0.3) se obtuvo un T_c igual a 2 h 20 min; aparentemente, el incremento en la proporción de los aditivos fue la causa de que el *slump* cayera a razón de 0.75 pulgadas (19 mm) cada veinte minutos, presentándose incluso un mayor valor de asentamiento a los 60 y 140 minutos después de su dosificación, tal y como se muestra en la Figura 20; sin embargo, a pesar de que la trabajabilidad del material se mantuvo una hora más en comparación con los diseños anteriores, no se registraron datos para un lapso de 2 h 40 min ni posteriores, dificultando el cálculo de T_r y del tiempo en el que el *slump* alcanzó un valor de cero.

Como se muestra en la Figura 21, al llevar a cabo el ensayo de asentamiento luego de 2 h 40 min de haber fabricado la mezcla, una porción de la muestra depositada en el cono cayó fuera de la superficie sobre la que se realizó la prueba después de levantar dicho instrumento, lo que indica que el material segregó (separación de los componentes); esta anomalía es conocida como falla por cortante o por cizalladura, la cual se presenta debido a la falta de cohesión en el concreto. Por consiguiente, al haber obtenido el mismo resultado tras repetir en dos oportunidades el procedimiento, este fue suspendido.

³⁷ Depresión nula: Cuando el valor de slump o asentamiento es igual a cero milímetros.



Figura 21. Falla por cizalladura de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente a la prueba de asentamiento, ensayos como el de extensibilidad y el de habilidad de paso, cuyas primeras medidas se tomaron a los 35 y 40 minutos respectivamente después de haber fabricados las mezclas y que a partir de esto se registraron datos cada 60 minutos, se llevaron a cabo con la finalidad de caracterizar mejor el grado de trabajabilidad que presentaron los diseños evaluados.

2.4. Habilidad de paso del concreto. Como se mencionó en el capítulo anterior, el valor de la habilidad de paso se calcula restando el flujo de asentamiento del concreto (F_a), obtenido a partir de la realización del ensayo de extensibilidad, y el promedio de los diámetros del esparcimiento circular resultante al hacer discurrir el material a través del anillo-J. Los datos registrados durante la aplicación de las pruebas mencionadas se presentan a continuación.

- Ensayo de extensibilidad

En la Tabla 8 se muestran los datos registrados de los tiempos y diámetros resultantes tras aplicar la prueba de extensibilidad; además, se presenta el valor del flujo de asentamiento, el cual es el promedio de los diámetros obtenidos.

Tabla 8. Tiempos y diámetros de extensibilidad de las mezclas de concreto.

	D1037(0.85)	D1037(0.85) yWR-75(0.25)		D1037(1) yWR-75(0.3)		
	35 min	35 min	95 min	35 min	95 min	155 min
T_{50}	04.22	02.52	08.52	01.94	04.84	05.24
T_f	04.32	17.45	08.52	13.74	16.32	05.25
D_m	500	470	250	630	430	350
D_p	490	460	230	630	420	340
F_a	500	470	240	630	430	350

T_{50} : Tiempo que le tomó a la mezcla fluir hasta llegar a cualquier punto del círculo F, medido desde el momento en el que se levanta el cono de Abrams. (s).

T_f : Tiempo en el que la mezcla dejó de fluir (esparcirse) (s).

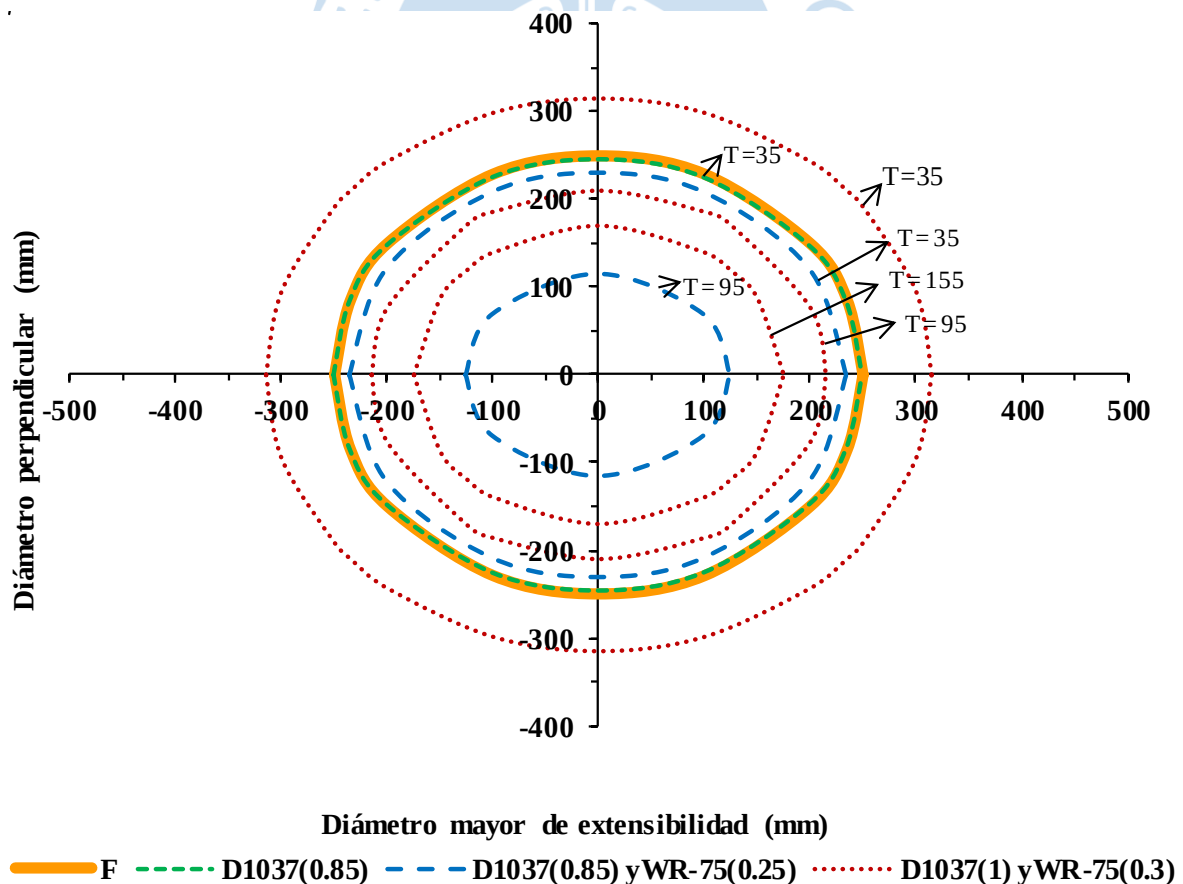
D_m : Diámetro mayor alcanzado por la mezcla cuando terminó de esparcirse (mm).

D_p : Diámetro perpendicular al diámetro mayor (mm).

F_a : Flujo de asentamiento del concreto. Valor redondeado a un múltiplo de 10 (mm).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 22 se muestran los diámetros de extensibilidad alcanzados por los diseños adicionados (ver Tabla 8), medidos en los diseños a los que se les incorporó algún tipo de aditivo.

**Figura 22.** Diámetros de extensibilidad de las mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

- Flujo de la mezcla a través del anillo-J

En la Tabla 9 se presentan los valores del tiempo y los diámetros resultantes, obtenidos al hacer fluir las mezclas de concreto a través del anillo-J.

Tabla 9. Tiempos y diámetros de flujo de las mezclas a través del anillo-J.

	D1037(0.85)	D1037(0.85) yWR-75(0.25)	D1037(1) yWR-75(0.3)		
	40 min	40 min	40 min	100 min	160 min
T_f	13.87	06.32	19.21	20.43	15.5
D_m	410	450	670	430	300
D_p	400	430	670	410	320

T_f: Tiempo en el que la mezcla dejó de fluir (esparcirse) (s).

D_m: Diámetro mayor alcanzado por la mezcla cuando terminó de esparcirse (mm).

D_p: Diámetro perpendicular al diámetro mayor (mm).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23 se muestra el comportamiento de la mezcla D1037(1) yWR-75(0.3) tras ser sometida a la prueba de flujo a través del anillo-J 160 minutos después de su fabricación. El resultado fue una mezcla que segregó, como se puede apreciar en la parte superior de la masa de concreto, y cuyo diámetro de esparcimiento superó ligeramente el diámetro del instrumento.



Figura 23. Flujo del concreto a través del anillo-J.

Fuente: Elaboración propia.

Las circunferencias dibujadas en la Figura 24 representan los diámetros del esparcimiento circular resultante, medidos a lo largo del tiempo en los diseños de mezcla adicionados (ver Tabla 9). En este caso, el flujo normal del concreto se vio afectado debido al obstáculo impuesto por las barras de acero corrugado del anillo-J, del cual se hace referencia en el gráfico con la circunferencia de mayor grosor (A).

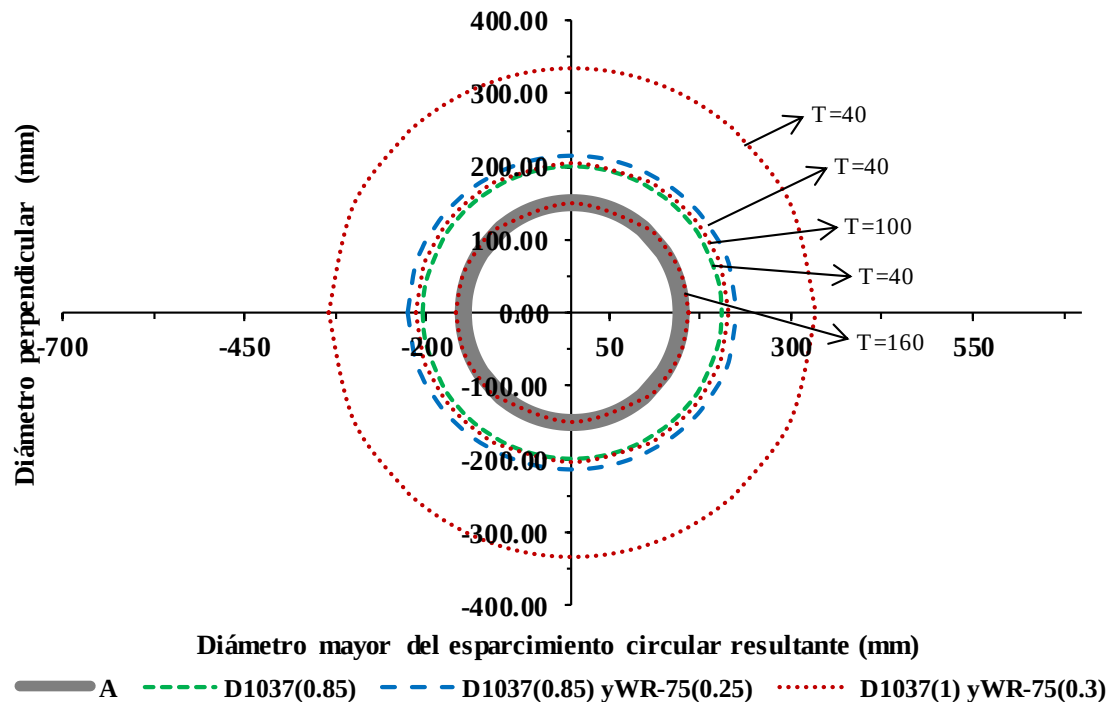


Figura 24. Diámetro de esparcimiento alcanzado por el concreto a través del anillo-J.

Fuente: Elaboración propia.

El valor de T_{50} ³⁸ (ver Tabla 8) permite estimar el grado de viscosidad relativa del diseño; por lo tanto, si este parámetro presenta un valor elevado (cercano a los 10 s), significa que la viscosidad de la mezcla será mayor, lo que a su vez es un indicativo de que el material podría colocarse en elementos con un alto congestionamiento de acero. Por el contrario, si T_{50} es cercano a 02 s, se recomienda vaciar el concreto en estructuras en las que no haya mucha obstrucción y en las que tenga que desplazarse de forma horizontal (losas armadas).

En la Figura 25 se muestra el esparcimiento de la mezcla D1037(1) y WR-75(0.3) tras ser sometida al ensayo de extensibilidad, 155 minutos después de la dosificación de sus componentes; cuando el concreto terminó de discurrir se pudo visualizar que había segregado, por lo que según lo dispuesto en la norma ASTM C1611, es un material muy inestable.

Bajo circunstancias normales de aplicación de los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J, la mezcla se expande de forma constante y simétrica, como lo muestran las flechas dibujadas en la Figura 25; sin embargo, esta disposición no se presentó en los

³⁸ T_{50} : Tiempo en el que la mezcla alcanzó la marca que representa al círculo F, medido desde el momento en que se levanta el cono de Abrams.

diseños evaluados en esta investigación, ya que el radio de esparcimiento³⁹ alcanzado por el material, luego de levantar el cono de Abrams, fue diferente en todas las direcciones (ver Figura 25). Por ello, para que exista un criterio de comparación respecto al círculo F y al anillo-J, las circunferencias dibujadas en las Figuras 22 y 24 se dispusieron de manera concéntrica.

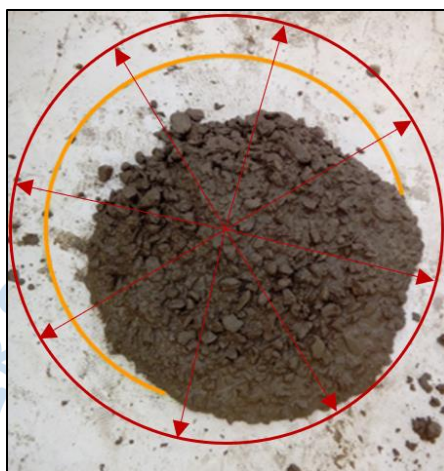


Figura 25. Extensibilidad de la mezcla de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

En D1037(0.85), T_{50} es igual a 04.22 s, lo que significa que el valor de la viscosidad de la mezcla es bajo; en consecuencia, el uso de este concreto en la construcción de pilotes no es recomendable.

Se cree que la pérdida de trabajabilidad imposibilitó que se registraran datos pasados 100 min después de la fabricación de la mezcla, debido a que, al entrar ya en la etapa de fraguado, el concreto no discurrió por el suelo el tiempo suficiente para formar áreas con un diámetro superior a 500 y 300 mm, lo cual era necesario para llevar a cabo los ensayos de extensibilidad y flujo a través del anillo-J respectivamente.

El valor de la habilidad de paso de este diseño permitirá conocer el tipo de bloqueo que presenta, es decir, se podrá identificar el grado de dificultad con el que la mezcla fluirá al interior de todo el volumen de la estructura y entre el acero de refuerzo. Este criterio de clasificación se realizó a partir de los datos mostrados en el cuadro No. 1 de la norma ASTM

³⁹ Radio de esparcimiento: Longitud alcanzada por la mezcla cuando deja de fluir, medida desde el centro del círculo F o del anillo-J.

C 1621⁴⁰; por lo tanto, para este caso particular, en el que la habilidad de paso fue igual a 90 mm, es posible indicar que el material puede llegar a tener un bloqueo notable a extremo durante el proceso de colocación al interior del encofrado.

Para D1037(0.85) yWR-75(0.25), el valor de T_{50} registrado en la primera hora de ensayo fue 02.52 s, lo cual indica que la mezcla posee una viscosidad muy baja; por el contrario, el T_{50} medido en la segunda hora de prueba fue 08.52 s. Este último resultado sugiere que este diseño puede utilizarse para construir pilotes que presentan un alto congestionamiento de acero; sin embargo, al igual que en el caso anterior, la pérdida de trabajabilidad en el concreto imposibilitó que los ensayos arrojaran valores aceptables durante la segunda hora de su aplicación, lo cual se comprobó tras llevar a cabo la prueba de extensibilidad por segunda vez, ya que se obtuvieron diámetros de esparcimiento menores a 500 mm (ver Tabla 8); este hecho fue determinante para descartar el uso del material pasados 80 minutos después de su dosificación.

Finalmente, se calculó la habilidad de paso, obteniéndose un valor igual a 30 mm; el resultado indica que este concreto fluirá de forma adecuada a través del encofrado y entre el acero de refuerzo de la estructura mientras se mantenga trabajable, presentando un bloqueo mínimo.

En el caso de D1037(1) yWR-75(0.3), el valor de T_{50} medido en diferentes periodos de tiempo (ver Tabla 8) fue en aumento, lo que significa que la propiedad de viscosidad puede haber mejorado a consecuencia de los efectos del retardante sobre la mezcla; sin embargo, la pérdida de fluidez en este diseño provocó que los diámetros obtenidos en la segunda y tercera vez que se aplicó la prueba de extensibilidad fueran menores a 500mm. Transcurridas 2 h 40 min después de su fabricación no fue posible registrar datos, presentándose como uno de los factores que probablemente dieron origen a este hecho a la falta cohesión de la mezcla (ver Figura 20).

Luego de calcular la habilidad de paso de este diseño, se obtuvieron valores iguales a -40, 10 y 40 mm en cada hora de ensayo (ver Figuras 26, 27 y 28), estos resultados sugieren

⁴⁰ ASTM C 1621: Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring.

que el concreto podría fluir a través del encofrado y entre el acero de refuerzo de forma adecuada hasta 3 horas después de su fabricación, presentando un bloqueo no visible a mínimo.

2.4.1. Representación de la habilidad de paso. En la Figura 26, Figura 27 y Figura 28 se representa gráficamente la habilidad de paso, parámetro que se obtuvo al restar el valor de F_a (calculado a partir de la aplicación del ensayo de extensibilidad) con el promedio entre el diámetro mayor medido en el esparcimiento circular resultante tras hacer fluir el concreto a través del anillo-J y la longitud perpendicular a este.

Es necesario aclarar que mientras el largo de los rectángulos presentados en las figuras sea menor, las condiciones de fluidez del material serán mejores; si se observa una magnitud considerable (superior a 50 mm), significa que el concreto no puede ser usado en la construcción de pilotes.

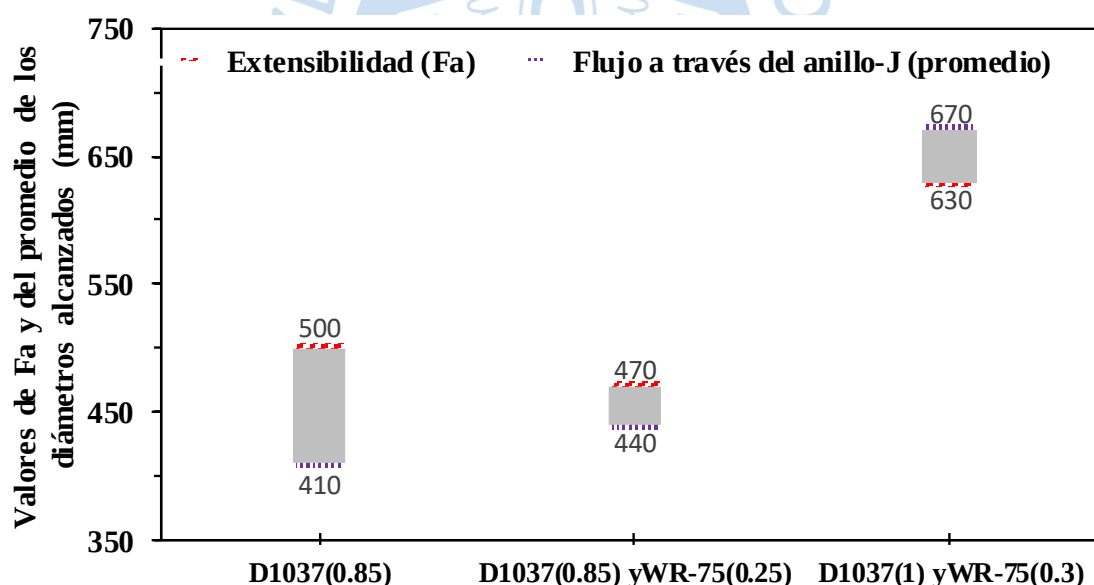


Figura 26. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 35 y 40 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

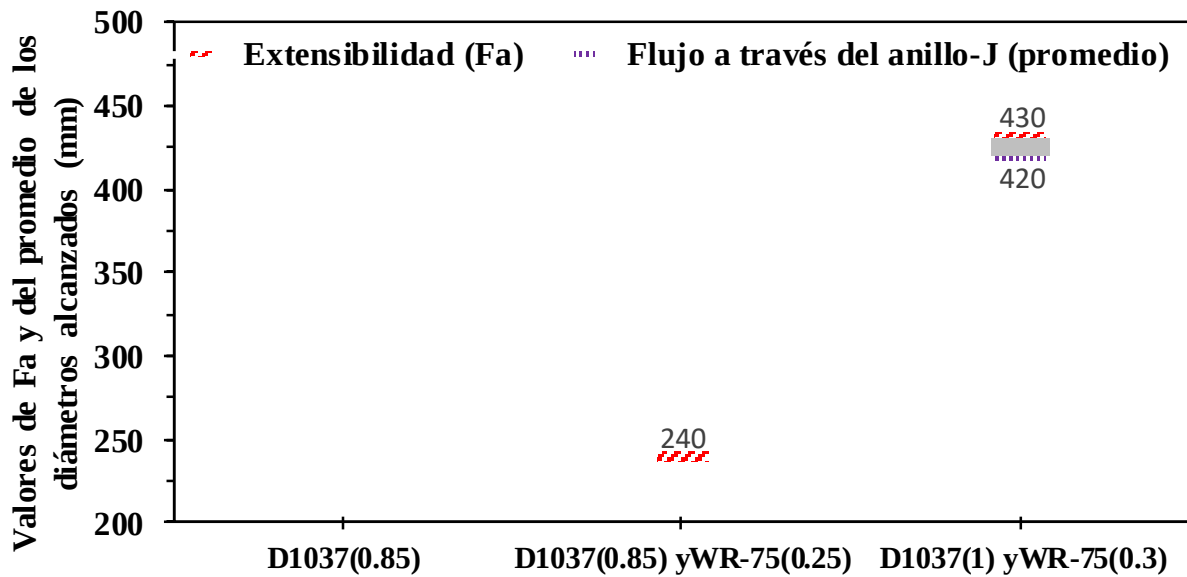


Figura 27. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 95 y 100 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

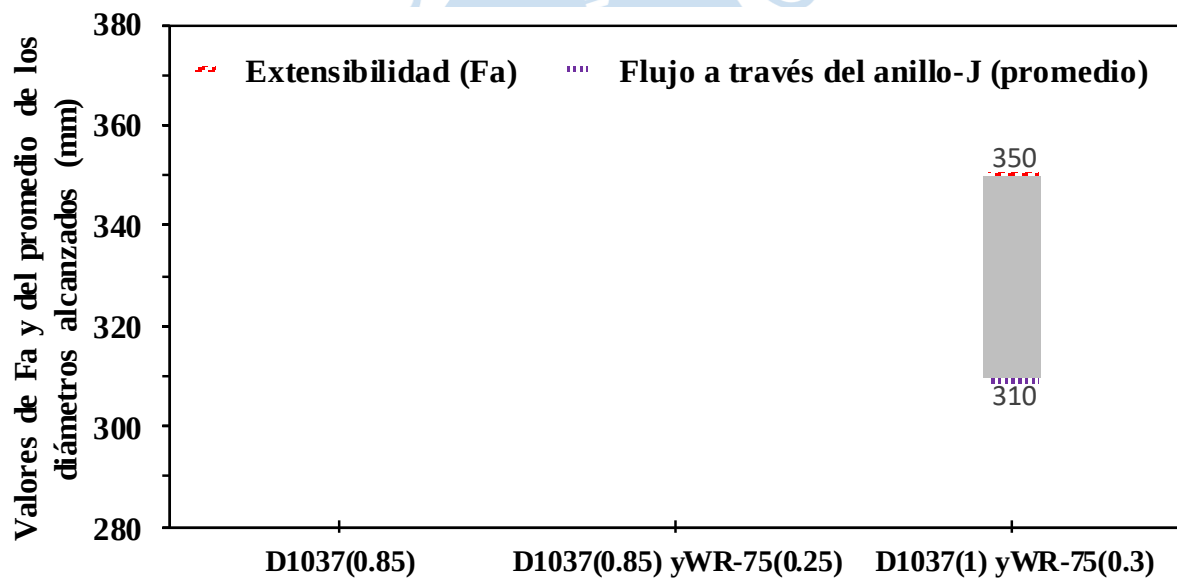


Figura 28. Habilidad de paso calculada tras aplicar los ensayos de extensibilidad y de flujo a través del anillo-J a los 155 y 160 minutos respectivamente después de haber fabricado las mezclas.

Fuente: Elaboración propia.

Es probable que la pérdida de trabajabilidad y cohesión en el concreto a lo largo del tiempo imposibilitara el cálculo de la habilidad de paso a partir de un lapso determinado, tal y como se muestra en las figuras 27 y 28, en las cuales no se presentan datos para las mezclas D1037(0.85) y D1037(0.85) yWR-75(0.25) pasados 95 minutos después de haber fabricado el material.

2.5. Caja en L. Las mezclas evaluadas en el ensayo de la caja en L no llegaron a dispersarse al interior del canal horizontal como se tenía previsto, frenando su avance alrededor de la marca de 200 mm (ver Figura 29).



Figura 29. Desplazamiento real del concreto en el canal horizontal de la caja.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 30 se muestra la distancia real que alcanzó el concreto al interior del instrumento, por el tiempo medido desde que se levantó la compuerta hasta que el material dejó de desplazarse.

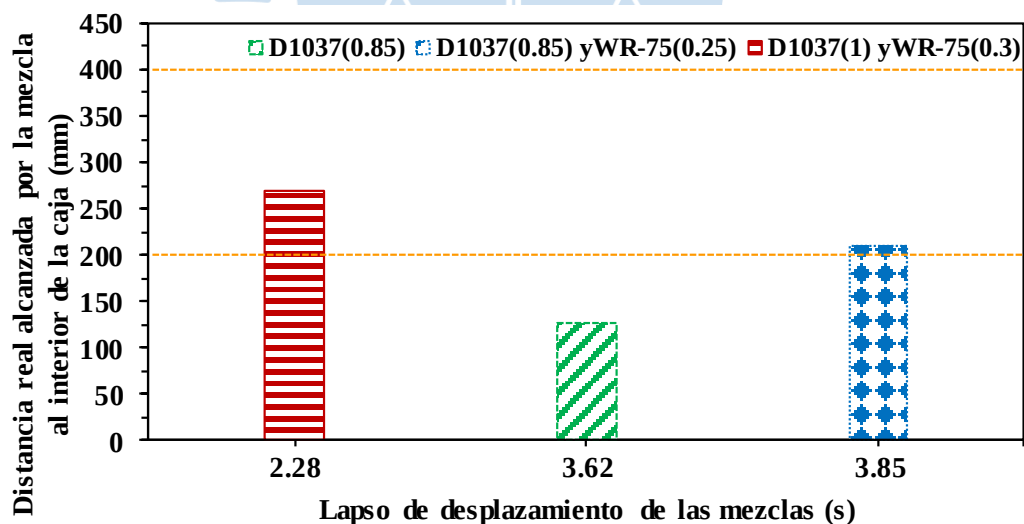


Figura 30. Capacidad del concreto para pasar entre el refuerzo y ocupar el volumen del encofrado.

Fuente: Elaboración propia.

Después de poner a prueba la mezcla D1037(0.85) no se obtuvieron valores para los parámetros de T_{20} (tiempo que le toma a la mezcla desplazarse 200 mm al interior de la caja), T_{40} (tiempo que le toma a la mezcla desplazarse 400 mm al interior de la caja), h_1 (nivel del concreto en la sección vertical de la caja) y h_2 (nivel del concreto en el canal horizontal); por

lo tanto, no pudo calcularse el factor de bloqueo (h_2/h_1), el cual nos hubiese permitido estimar el grado de fluidez del concreto evaluado.

Para los diseños de mezcla D1037(0.85) yWR-75(0.25) y D1037(1) yWR-75(0.3), solo se registraron datos de T_{20} (ver Figura 30), parámetros insuficientes para calcular las relaciones de bloqueo correspondientes.

Se había programado repetir el ensayo en intervalos de 60 min a partir de la primera prueba, sin embargo, esto tuvo que suspenderse debido al comportamiento del material al interior del instrumento; en esta ocasión, la falta de cohesión se hizo más notoria, problema que venía presentándose desde el proceso de medición del asentamiento. La variación del nivel de concreto en la sección vertical de la caja fue casi imperceptible, tal y como se pudo apreciar en la Figura 29, por consiguiente, a raíz de que se produjo estancamiento en la zona donde se encuentra la compuerta, empezaron a separarse los componentes de la mezcla.

La trabazón mecánica desarrollada entre las partículas del agregado grueso triturado fue una de las posibles causas del bloqueo, así mismo, esta obstrucción fue un indicativo de que el concreto siempre tenderá a segregar, tal y como se muestra en la Figura 31; la segregación de la mezcla pudo deberse a la incorporación de grandes cantidades de aditivo superplastificante o por un alto contenido de material muy fino, este último estuvo presente como contaminante del agregado, a consecuencia de una mala práctica en los procesos de almacenamiento y transporte del mismo.



Figura 31. Segregación de la mezcla durante el ensayo de la caja en L.

Fuente: Elaboración propia.

La colocación de la mezcla en la sección vertical de la caja en L se hizo sin necesidad de vibrar el concreto, ya que uno de los requisitos necesarios para que el material sea utilizado en la construcción de pilotes, es el de poder consolidarse bajo su propio peso y sin hacer uso de excesiva fuerza; sin embargo, la presencia de esta característica no será determinante si no se cumplen las condiciones evaluadas anteriormente.

3. Concreto endurecido

En la Figura 32 se muestra la comparación entre el promedio de la resistencia a la compresión de los especímenes fabricados al mismo tiempo, debido a que se elaboraron dos testigos inmediatamente después de concluir la integración de los componentes al interior del trompo mezclador (0 min), repitiéndose dicho procedimiento cada 60 minutos hasta obtener seis probetas.

Durante la cuarta hora de ensayo (180 min) fueron elaborados tres testigos más, cuyas dimensiones eran menores en comparación con los anteriores; sin embargo, el tamaño de estos moldes también se encuentra contemplado en la norma. Finalmente se fabricaron nueve especímenes por cada diseño de mezcla.

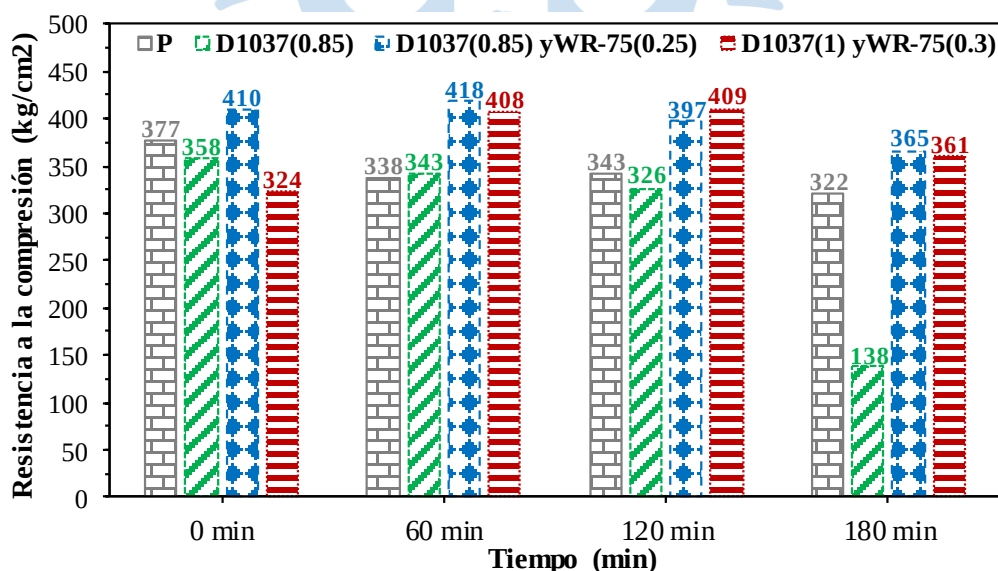


Figura 32. Comparación entre los valores de resistencia a la compresión promedio.

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades mecánicas de los agregados, así como la elaboración adecuada de los diseños de mezcla, son las principales causas de que los especímenes desarrollaran valores de resistencia a la compresión por encima de la especificada en capítulos anteriores (300 kg/cm^2).

Los testigos elaborados a partir de D1037(0.85) después de un lapso de 3 horas (180 min) de haber fabricado el concreto, alcanzaron una resistencia a la compresión promedio igual a 138 kg/cm^2 , el valor más bajo en comparación con los demás diseños fabricados; la pérdida de trabajabilidad y la falta de cohesión en el material a edades tempranas dificultó la colocación de la mezcla al interior del molde metálico, lo que a su vez también pudo afectar el desempeño estructural de los especímenes, ya que con la disminución de pasta, no hubo una adecuada adherencia entre las partículas de los componentes, generando planos de falla al interior de la probeta, además, no se obtuvo un buen acabado final, tal y como se muestra en la Figura 33.



Figura 33. Espécimen elaborado con concreto de plasticidad mínima.
Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo especificado en la NTP 339.034, se pudo observar que las fracturas presentes en los especímenes al final de la prueba de resistencia a la compresión fueron de tipo 3, grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados, como se muestra en la Figura 34.



Figura 34. Especímenes fracturados luego de realizar el ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al análisis realizado tras efectuar los ensayos usados para medir la trabajabilidad de las mezclas evaluadas, D1037(0.85) solo se podrá utilizar en la construcción de pilotes hasta 40 minutos después de su fabricación; por el contrario, los diseños en los que se incorporó el aditivo retardante de fragua, además de que permitirán ahorrar en el costo de producción y desarrollarán valores de temperatura muy por debajo de lo normal, se podrán colocar al interior de la camisa recuperable de la pilotera hasta 100 minutos luego de la integración de sus componentes. Una vez cumplido el lapso especificado, el concreto endurecido provocará que el fuste metálico quede atrapado al interior de la perforación, dañando la maquinaria, generando pérdidas económicas y retazos en los plazos de ejecución.



Conclusiones

1. Las propiedades del superplastificante y del retardante de fragua, propiciaron la disminución de las cantidades de cemento y agua usadas en la mezcla, por esta razón, fue necesario incrementar la dosificación de los agregados, combinándolos adecuadamente para ocupar los espacios vacíos generados por el defecto de pasta, y así producir un total de un metro cúbico de concreto.
2. D1037(0.85) yWR-75(0.25) y D1037(1) yWR-75(0.3) fueron los diseños de mezcla a los que se les proporcionó la menor cantidad de cemento posible, lo que nos permite aseverar que su producción será la más viable desde el punto de vista económico. El ahorro generado estará en función del precio de los aditivos; sin embargo, a pesar de que el último de estos diseños presenta una mayor dosificación del reductor de agua de alto rango (superplastificante) y del retardante de fragua, la proporción en la que fueron incorporados los áridos no disminuyó, con la finalidad de evitar problemas de segregación y pérdida de trabajabilidad en el concreto.
3. El diseño de mezcla idóneo, que responda satisfactoriamente a las necesidades de un determinado proyecto, tiene origen a partir de las características y propiedades de los componentes (agua, cemento y áridos); además, estará en función de las especificaciones técnicas establecidas y de la calidad en la aplicación de los procesos de transporte y colocación.
4. El superplastificante EUCON 1037 no propició el descenso del calor de hidratación al interior de D1037(0.85), por consiguiente, la temperatura de este diseño aumentó, sobrepasando incluso los resultados obtenidos tras ensayar a la mezcla patrón; sin embargo, esto fue atenuado en D1037(0.85) yWR-75(0.25) y D1037(1) yWR-75(0.3) gracias a las propiedades del retardante de fragua. El aditivo EUCO WR-75, ayudará a controlar las reacciones exotérmicas en la producción de cantidades considerables de concreto y en situaciones de fabricación del material bajo condiciones de temperatura ambiente elevada, siempre que este proceso se lleve a cabo bajo sombra.

5. La incorporación de los aditivos inorgánicos generó que el asentamiento inicial de los diseños en los que se dosificaron estos productos, fuera mayor al de la mezcla patrón; sin embargo, aunque el material se almacenó al interior del trompo mezclador durante el desarrollo del programa experimental, no se pudo mantener la trabajabilidad durante un periodo mínimo de 4 horas.
6. D1037(0.85) presentó una caída considerable de *slump* a lo largo del tiempo, este diseño desarrolló plasticidad por 45 minutos únicamente, periodo que está muy por debajo del lapso de 90 minutos durante el que una mezcla de concreto puede llegar a tener fluidez a raíz de la incorporación del EUCON 1037, como se asevera en la ficha técnica del aditivo.
7. El diseño de mezcla patrón presentó una pérdida de asentamiento similar a la desarrollada por el diseño adicionado con EUCO WR-75, a pesar de que la función de este producto era mejorar la trabajabilidad en el material y prolongar el tiempo de fraguado; además, el aumento en las proporciones del aditivo provocó que, después de un determinado periodo de tiempo, el concreto perdiera cohesión.
8. El aditivo retardante no provocó que la trabajabilidad de las mezclas de concreto se prolongara por 4 horas o más, esto se concluyó a partir de los diámetros alcanzados por las mezclas tras realizar el ensayo de extensibilidad; el material ya no poseía la fluidez necesaria para aplicar la prueba pasados 90 minutos después su fabricación. La amplia diferencia presentaba entre los resultados obtenidos para los parámetros T_{50} y T_f en D1037(0.85) y WR-75(0.25) y D1037(1) y WR-75(0.3), indica que estos diseños son propensos a segregar, debido a que la pasta de cemento se alejaba de la masa constituida por los granos de agregado hasta que dejara de esparcirse.
9. A partir de la realización del ensayo de flujo por el anillo-J, se concluye que solo los diseños de mezcla adicionados con EUCO WR-75, desarrollaron una capacidad de paso aceptable, sin embargo, solo podrían esparcirse al interior de estructuras reforzadas con una congestión de acero de refuerzo baja o moderada hasta 90 minutos después de su dosificación.
10. La visualización del recorrido de cada uno de los diseños de mezcla al interior de la caja en L, indica que las cantidades adicionadas a la dosificación de los agregados, no son las

adecuadas, lo cual confirma que el concreto fabricado tenderá a segregar; las proporciones usadas en esta investigación, generaron que haya un estancamiento en la compuerta que conecta la sección vertical con el canal horizontal, debido a la acumulación de granos del árido, lo que demuestra que el material no posee la fluidez necesaria para pasar entre el acero de refuerzo.

11. Todos los diseños desarrollaron resistencia a la compresión por encima de lo establecido, sin embargo, ningún de estos se mantuvo trabajable durante el tiempo especificado (4 horas). Solo el diseño D1037(1) yWR-75(0.3) podrá ser usado para construir cimentaciones profundas (pilotes), siempre y cuando estas estén reforzadas con una baja congestión de acero; además, el material deberá colocarse en un lapso máximo de 120 minutos después de su fabricación.





Recomendaciones

1. Se recomienda evaluar la habilidad de paso de un concreto dosificado con los mismos componentes, exceptuando al agregado grueso, el cual deberá ser reemplazado por un árido compuesto por partículas redondeadas; esta sustitución podría mejorar la capacidad de la mezcla de llenar los espacios al interior del encofrado y de pasar entre el acero de refuerzo.
2. Para futuras investigaciones sobre el tema presentado en este documento, se recomienda evaluar el comportamiento de un determinado número de mezclas de concreto, dosificadas con agregado grueso triturado, superplastificante y aditivo retardante de fragua, pero variando el valor de la relación a/c para cada diseño.
3. Con la finalidad de caracterizar mejor una determinada mezcla que será usada en la construcción de pilotes, se recomienda implementar un sistema que simule y permita controlar las condiciones de temperatura y presión a las que sería sometido el material al interior de una perforación, varios metros por debajo de la superficie del suelo, de tal manera que sirva al constructor como una herramienta para conocer la calidad del concreto e incluso le ayude a identificar la presencia de deficiencias en la tanda.



Referencias bibliográficas

- ACI Committee 211 (2002). "Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete (ACI 211.3R-02)". ACI Manual of Concrete Practice. American Concrete Institute. Farmington Hills. Detroit, Michigan. USA.
- ACI Committee 211.1 (1991). "Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211. 1.9.1.)". ACI Manual of Concrete Practice, Part 1. American Concrete Institute. Farmington Hills. Detroit, Michigan. USA.
- ACI Committee 238 (2008). "Report on Measurements of Workability and Rheology of Fresh Concrete (ACI 238.1R-08)". ACI Manual of Concrete Practice. American Concrete Institute. USA.
- ACI Committee 336 (2001). "Specification for the Construction of Drilled Piers (ACI 336.1-01)". ACI Manual of Concrete Practice. American Concrete Institute. USA.
- Ahmad, I., & Azhar, S. (2003). Temperature variation in high slump drilled shaft concrete and its effect on slump loss. En I. Ahmad, & S. Azhar, *Cement and Concrete* (págs. 207-217). Miami, Florida, USA: Pergamon.
- ASTM C128 - 2015 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.
- ASTM C136 / C136M - 2014 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM C1611 / C1611M - 2018 Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete.
- ASTM C1621 / C1621M - 2017 Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring.
- Brown, D., Turner, J., & Castelli, R. (2010). *Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods* (4th ed.). Washington, D.C.
- Caicedo, E., & Del Alamo, J. (2015). Desarrollo de concretos fluidos coloreados a reología adaptada, aplicados a la construcción de edificaciones de concreto en Lima. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- CAPECO. (2018). *Informe Económico de la Construcción*. Cámara Peruana de la Construcción, Lima. Obtenido de www.capeco.org/iec
- Ceballos, M. A. (Agosto de 2016). *Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de Construcción y Tecnología en Concreto: <http://www.revistacyt.com.mx/>
- Chávez, L. (2016). Evaluación geoeconómica del área costera de la Región Piura orientada al estudio de agregados para concreto. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Piura, Perú.

- De La Cruz, I., Vazquez, T., & Fernandez-Peña, O. (1983). Sulfates en el cemento portland. *Materiales de Construcción*(192), 43-54.
- Fernández Cánovas, M. (2013). *Hormigón* (10ª ed.). Madrid, España: Ibergarceta; Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Ghorab, H., Kenawi, I., & Abdel All, Z. (2012). Interacción entre cementos de diferente composición. *Materiales de Construcción*, 62(307), 359-380.
- INDECOPI (2001). NORMA TÉCNICA PERUANA 400.012 – AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- INDECOPI (2002). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.184 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de hormigón (concreto).
- INDECOPI (2002). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.185 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- INDECOPI (2002). NORMA TÉCNICA PERUANA 400.021 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.
- INDECOPI (2002). NORMA TÉCNICA PERUANA 400.022 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- INDECOPI (2002). NORMA TÉCNICA PERUANA 400.037 – AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto).
- INDECOPI (2006). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.047 – HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados.
- INDECOPI (1999). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.034 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.
- INDECOPI (2008). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.046 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).
- INDECOPI (2008). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.219 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo estándar para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactado.
- INDECOPI (2008). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.220 – HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo estándar para determinar la habilidad de paso del concreto autocompactado por el anillo.
- INDECOPI (2009). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.033 – HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo.

- INDECOPI (2011). NORMA TÉCNICA PERUANA 400.017 – AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados.
- INDECOPI (2015). NORMA TÉCNICA PERUANA 339.035 – CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland.
- Lama Landázuri, R. (2017). Estabilización de terreno súper-mercado mayorista: pilotes excavados. (*Tesis de Pregrado*). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, Piura, Perú.
- López, I. (2013). Cimentaciones Profundas. Ejecución de Pilotes de Extracción. (*Trabajo de fin de grado*). Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.
- Mehta, N. K., & Monteiro, P. J. (2006). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Mindess, S., Young, F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Upper Saddle River NJ: Prentice Hall.
- NRMCA. (s/f). National Ready Mixed Concrete Association. Obtenido de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP37es.pdf>
- Oré Torre, J. (2014). *Manual de Preparación, Colocación y Cuidados del Concreto* (1era ed.). Lima, Perú: Cartolan Editores SRL.
- Pineda Vallejo, H. (2003). Diseño de mezcla de concreto autocompactante. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
- Rivera, G. (s.f.). Manejabilidad. 83-103. Colombia. Obtenido de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/harenas/docs/MATERIALES%20DE%20CONSTRUCCION/DOCUMENTOS%20DE%20CONSULTA/LIBROS/Cap.%2004%20-%20Manejabilidad.pdf>
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero* (5ta ed.). Santafé de Bogotá: Bhandar Editores.
- Sánchez, L. (2014). Efecto del Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete en la Resistencia Mecánica del Concreto Autocompactante. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ingeniería, Cajamarca, Perú.
- SENCICO (2009). Norma Técnica de Edificación E.060 – Concreto Armado. *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Zeña, M. A. (2015). Estudio Termodinámico Teórico - Práctico sobre el comportamiento de vaciados de concreto masivo a más de 4700 m.s.n.m en la Sierra del Perú. (*Tesis de Pregrado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.



Anexos



Anexo A.1 – Análisis granulométrico del agregado fino



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA Ubicación : Piura
Otra : Tesis: Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo
Procedencia : Agregado fino procedente de cantera Santa Cruz

Muestreo realizado por: El solicitante

Orden de servicio N° : 22078

Informe N° : 184111

Fecha de ensayo : 28/10/2018

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
62,7	2 1/2 "				
50,8	2 "				
38,1	1 1/2 "				
24,4	1 "				
19,1	3/4 "				
12,7	1/2 "				
9,5	3/8 "	0,00	0,00	0,00	100
4,75	4	36,60	6,58	6,58	93
2,38	8	60,30	10,84	17,42	83
1,19	16	55,80	10,03	27,46	73
0,59	30	92,90	16,71	44,16	56
0,297	50	193,00	34,71	78,87	21
0,149	100	101,30	18,22	97,09	3
0,074	200	9,50	1,71	98,80	1
	Fondo	6,50	1,17		
	Total	555,90			
	Peso inicial	556,10			
	Pérdida	0,20			

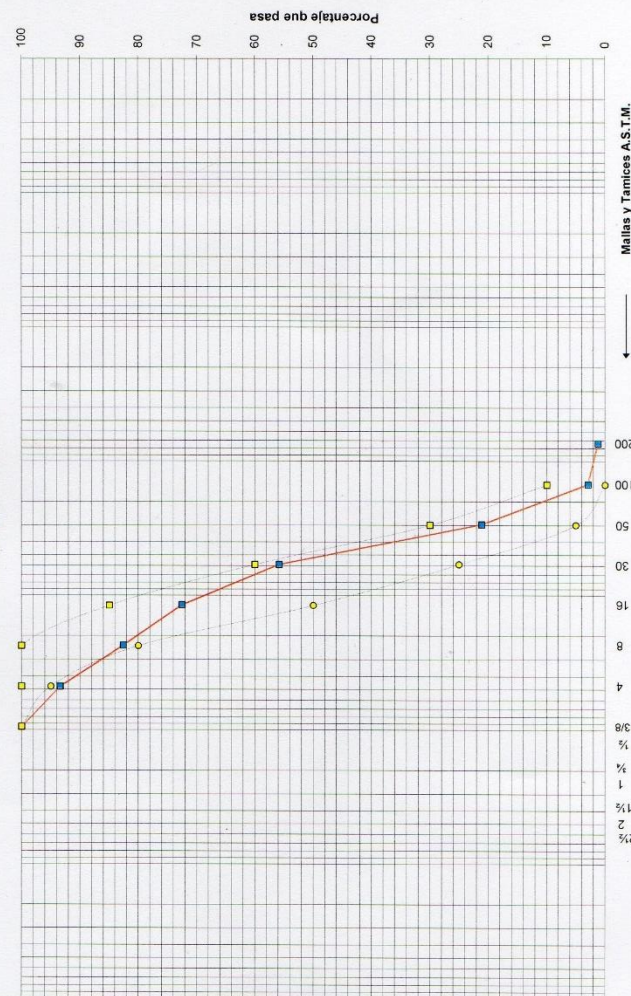
Superviso el ensayo: Shirley Carrillo S.
Ingeniero Civil
CIP 79168



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe 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.

Descripción de la muestra: Agregado fino, procedente de cantera Cerro Mocho. Módulo de finura 2,7.
Huso trazado: NTP 400,037-2002, tabla N°2

Curva granulométrica



Anexo A.2 – Análisis granulométrico del agregado grueso triturado



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO, GRUESO Y GLOBAL

Norma: NTP 400.012 2001

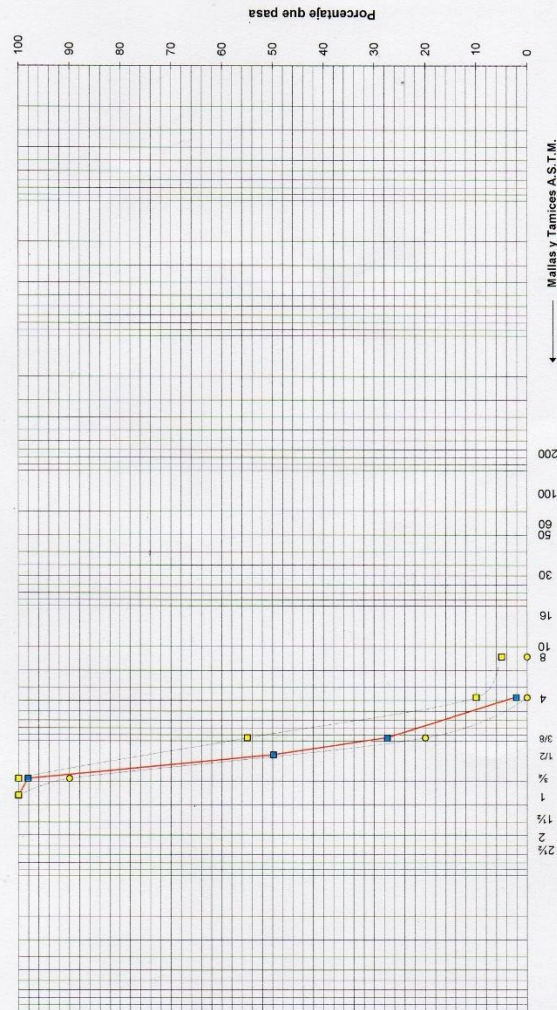
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA
Obra : Tesis: Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo
Procedencia : Agregado grueso triturado, procedente de cantera Solo
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante

Orden de servicio N° : 22078
Informe N° : 184112
Fecha de ensayo : 26/10/2018
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
63,50	2 1/2"				
50,8	2"				
38,1	1 1/2"				
25,4	1"	0,0	0,00	0,00	100
19,1	3/4"	146,0	1,86	1,86	98
12,7	1/2"	3782,0	48,31	50,17	50
9,53	3/8"	1751,0	22,37	72,54	27
4,76	4	1983,0	25,33	97,87	2
2,38	8	139,0	1,78	99,64	0
1,19	16				
0,59	30				
0,297	50				
0,149	100				
0,074	200				
	Fondo	26,0			
	Total	7827,0			
	Peso inicial	7829,0			
	Pérdida	2,0			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Agregado grueso de tamaño máximo nominal 3/4" (19.1 mm)
Huso granulométrico trazado: N°67 NTP 400.037 - 2002

Supervisó el ensayo: Shirley Carrillo S
Ingeniero Civil
CIP 79168

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este resultado de ensayo, basándose en 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 ensayo y a la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Anexo B.1 – Diseño y dosificación de la mezcla patrón



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DOSIFICACIÓN DE CONCRETO

Solicitante: Jorge Antonio Manrique Purizaca
Orden de servicio N°: 22078
Informe N°: 184113
Fecha de emisión: 26/11/2018

Tesis: Diseño y prueba de mezcla de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo

Ubicación: PIURA

PARÁMETROS FÍSICOS DE LOS AGREGADOS

	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Módulo de fineza	2.70	-
TMN (pulg.)	-	1/2"
Peso unitario suelto en stock(kg/m ³)	1655	1360
Peso unitario varillado en stock(kg/m ³)	1771	1534
Gravedad específica (SSS)	2.59	2.74
Capacidad de absorción (%)	1.64%	1.22%
Humedad total (%)	0.50%	0.49%

DOSIFICACIÓN

a/c: 0.51					
	Tipo	Procedencia	Cantidades en peso en stock para 1m ³ de concreto	Unidades	Proporción de mezcla en volumen (estado suelto)
Cemento	FORTIMAX 3	Pacasmayo	404	kg	1
Agregado fino	Arena	Cantera Santa Cruz	697	kg	1.56
Agregado grueso	Piedra	Cantera Sojo triturado	997	kg	2.72
Agua	Potable	--	221	kg	--
Aditivo 1	--	--	--	kg	--
Aditivo 2	--	--	--	kg	--
Relación agua cemento	--	--	0.51	--	--
Slump	--	--	200	mm	--
Factor cemento	--	--	9.51	bls/m ³	--

Observaciones:

Técnico encargado: Francisco Castro
Supervisor: Ing. Shirley Carrillo Siancas

Shirley Carrillo Siancas
Ingeniero Civil
CIP 79168
Responsable



Anexo C.1 – Especificaciones técnicas del cemento fortimax



Control de Calidad

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CEMENTO FORTIMAX

G-CC-EST-06
Versión 00 / 03 de setiembre de
2018
Página 1/1

Descripción: El Cemento FORTIMAX (MS(MH)) es un producto que se obtiene mediante la pulverización conjunta de clinker, yeso, filler calizo, puzolana y/o escoria. El clinker es un mineral artificial y está compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alumina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C.

Este tipo de cemento sigue los requisitos de la Norma Técnica Peruana 334.082 y de la ASTM C 1157. Es un cemento diseñado para estructuras que requieran moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

Ensayos	Requisitos			Normas de Referencia	Normas de Ensayo
REQUERIMIENTOS FISICOS					
Contenido de Aire	Máximo	12	%	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 185 NTP 334.048
Finura					
a) Superficie Específica	-	-	-	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 204 / NTP 334.002 ASTM C 188 / NTP 334.005
b) Retenido M325	-	-	-	ASTM C1157 NTP 334.082	SGC-PRO-06-P4004
Expansión en autodave	Máximo	0.80	%	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 151 NTP 334.004
Resistencia a la Compresión					
a) Resistencia compresión a 1 día (*)	Mínimo	7.6 (1,100)	MPa (psi)	n / a	ASTM C 109 NTP 334.051
b) Resistencia compresión a 3 días	Mínimo	11 (1,600)	MPa (psi)	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 109 NTP 334.051
c) Resistencia compresión a 7 días	Mínimo	18 (2,610)	MPa (psi)	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 109 NTP 334.051
d) Resistencia compresión a 28 días	Mínimo	28 (4,060)	MPa (psi)	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 109 NTP 334.051
Tiempo de Fraguado Vicat					
a) Fraguado Inicial	Mínimo	45	minutos	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 191 NTP 334.006

b) Fraguado Final	Máximo	420	minutos	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 191 NTP 334.006
Expansión Barra de mortero a 14 días	Máximo	0.020	%	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 1038 NTP 334.093
Expansión por sulfatos a 6 meses	Máximo	0.10	%	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 1012 NTP 334.094
Calor de Hidratación a 7 días	Máximo	70	kcal/kg	ASTM C1157 NTP 334.082	ASTM C 186 NTP 334.064
REQUERIMIENTOS DE PESOS NETOS					
Peso unitario (Neto)	Mínimo	41.65	kg	ASTM C1157 NTP 334.082	n / a
Peso promedio por lotes ≥ 50 bolsas (Neto)	Mínimo	42.50	kg	ASTM C1157 NTP 334.082	n / a
Generado por:	Revisado por:		Aprobado por:		
Ing. Victor Milla Analista de Aseguramiento de la Calidad	Ing. Gabriel Mansilla Superintendente de Aseguramiento de la Calidad e Investigación y Desarrollo		Ing. Hugo Villanueva Castillo Gerente Central de Operaciones		

(*) Requisito interno impuesto por la compañía.

Anexo C.2 – Especificaciones técnicas del aditivo superplastificante



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

EUCON 1037

Aditivo superplastificante – reductor de agua de alto rango

TX40T202

DESCRIPCION

EUCON 1037 es un aditivo reductor de agua de alto rango. Este puede ser adicionado al concreto en el sitio de trabajo o en la planta de concreto.

EUCON 1037 no contiene cloruros y puede ser utilizado para concreto pretensado.

EUCON 1037 es compatible con agentes incorporadores de aire, agentes impermeabilizantes, cloruro de calcio y muchos otros aditivos, lo importante es adicionarlos al concreto separadamente.

EUCON 1037 fragua en un tiempo similar a un concreto sin aditivo, da un excelente aumento y retención de manejabilidad en concretos con baja relación agua / cemento.

INFORMACION TECNICA

EUCON 1037 cumple con los requerimientos de la norma ASTM C-494 tipo A y F y AASHTO M-194.

Densidad : 1.17 kg/l +/- 0.02 kg/l

Los siguientes resultados fueron desarrollados bajo condiciones de laboratorio según norma ASTM C-494 con un 19.1% de reducción de agua.

RESISTENCIA A COMPRESION - % DEL CONCRETO DE CONTROL

	ESPECIFICACION	CONTROL	EUCON 1037
1 día	Mínimo 140	100	171.3
3 días	Mínimo 125	100	155.0
7 días	Mínimo 115	100	148.3
28 días	Mínimo 110	100	152.6
6 meses	Mínimo 100	100	150.5

RESISTENCIA A FLEXION - % DEL CONCRETO DE CONTROL

	ESPECIFICACION	CONTROL	EUCON 1037
3 días	Mínimo 110	100	130.2
7 días	Mínimo 100	100	124.0
28 días	Mínimo 100	100	125.1

DURABILIDAD RELATIVA

Factor	ESPECIFICACION	CONTROL	EUCON 1037
	Mínimo 80%	97.93	102.3

RATA DE PERDIDA DE MANEJABILIDAD

El concreto tratado con **EUCON 1037** retiene su consistencia plástica de 30 a 90 minutos después de dosificado dependiendo del asentamiento inicial y de la dosis.

EUCON 1037 puede ser adicionado en la planta de concreto o en el sitio de trabajo.

Use **EUCON 537** de **EUCLID - TOXEMENT** como reemplazo del **EUCON 1037** cuando se coloca concreto a temperatura alta (mayor a 30°C).

PERDIDA DE MANEJABILIDAD A 21°C

ASENTAMIENTO INICIAL	ASENTAMIENTO DESPUES DE 30 MINUTOS
216 mm	178 mm
241 mm	203 mm

Apariencia

EUCON 1037 es un líquido café oscuro, el cual cuando se aplica al concreto no cambia la apariencia natural ni el color al concreto.

Densidad : 1.17 kg/l +/- 0.02 kg/l

USOS

EUCON 1037 es recomendado en:

- Concreto de alto desempeño
- Concreto premezclado en general
- Concreto altamente reforzado
- Concreto masivo
- Concreto con mínimo contenido de agua
- Concreto de baja relación agua / cemento
- Concreto fluido de alto slump



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

VENTAJAS

- Permite obtener concretos de alta resistencia por trabajar a baja relación agua / cemento.
- Sirve para producir concreto fluido con resistencias superiores a lo normal.
- Facilita la colocación del concreto y reduce mano de obra.
- Cuando se trabaja con concreto tipo I en concreto prefabricado puede obtener altas resistencias iniciales dependiendo del diseño del concreto.

APLICACION

Adicione **EUCON 1037** a la arena y el agua. Este no se debe agregar al cemento seco.

Concreto de alta resistencia

Cargue todos los ingredientes en el orden indicado en el mezclador de concreto con el 70% del agua de amasado y mezcle durante 5 minutos o 70 rpm. Adicione agua lentamente hasta obtener el asentamiento deseado y mezcle durante 3 minutos más.

Use **EUCON 1037** a una dosis de 625 ml - 1600 ml por 100 kg de cemento (0.7% - 1.9% / kg de cemento).

Las siguientes mezclas con relaciones agua / cemento bajas pueden ser colocadas a asentamiento de 152 mm - 229 mm.

Concreto de asentamiento cero o bajo

Cargue todos los materiales en el orden correcto en el mezclador de concreto y mezcle durante 5 minutos o 70 rpm para un asentamiento típico de 76 mm (3"). Adicione **EUCON 1037** y mezcle por un minuto adicional.

Use una dosis de 1000 - 1125 ml/100 kg de cemento (1.1% - 1.3% / kg de cemento) para relaciones agua / cemento menores a 0.35. Este incrementará el asentamiento de 0 mm - 25 mm hasta 175 mm - 200 mm.

Concreto colocable

Cargue todos los materiales en el orden correcto en el mezclador de concreto y mezcle durante 5 minutos o 70 rpm para un asentamiento típico de 76 mm (3"). Adicione **EUCON 1037** y mezcle durante un minuto más.

Use una dosis de 375 ml - 500 ml/100 kg de cemento (0.4% - 0.6% / kg de cemento).

El asentamiento inicial es generalmente de 51 mm - 76 mm. Estas mezclas con relación agua / cemento de 0.45 a 0.5 son a menudo usadas en pisos, placas para minimizar el contenido de agua, la contracción y el agrietamiento.

Concreto semifluido

Cargue todos los materiales en el orden correcto en el mezclador de concreto y mezcle durante 5 minutos o 70 rpm para un asentamiento típico de 76 mm (3"). Adicione **EUCON 1037** a una dosis de 625 ml - 750 ml/100 kg de cemento (0.7% - 0.9% / kg de cemento) en un concreto de asentamiento convencional (76 mm) para dar una mezcla semifluida.

El diseño de la mezcla debe ser proporcionado con base en la temperatura, el tipo de cemento y la pérdida de asentamiento requerida.

La siguiente tabla muestra las cantidades a ser adicionadas para un concreto semifluido.

ASENTAMIENTO INICIAL	DOSIS PARA CADA 100 KG DE CEMENTO
102 mm (4")	500 ml - 625 ml/100 kg de cemento
76 mm (3")	625 ml - 750 ml/100 kg de cemento
64 mm (2 1/2")	750 ml - 875 ml/100 kg de cemento
51 mm (2")	875 ml - 1000 ml/100 kg de cemento
38 mm (1 1/2")	1000 ml - 1125 ml/100 kg de cemento

Cuando se diseñan mezclas con **EUCON 1037** se deben seguir las recomendaciones de ACI 211.1 y 211.2 Ajuste arena / agregado para mantener homogeneidad.

Colocación

Concreto dosificado con **EUCON 1037** debe ser colocado de la misma manera que un concreto convencional.

Formaletas

Formas para paredes o secciones estrechas deben ser ligeras de agua, fuertes y tener buena fuerza.

Durante el "periodo de fluidez" cuando el concreto está a un asentamiento de 178 mm - 229 mm, el concreto tendrá más alta presión en la base de la formaleta que un concreto convencional. Para placas y formaleta sucede lo mismo que para un concreto convencional.

Curado y sellado

Procedimientos adecuados de curado son importantes para asegurar la durabilidad y calidad del concreto.

Para prevenir el agrietamiento se debe curar con compuestos curadores como CURASEAL o CURASEAL PF de EUCLID - TOXEMENT.

Limpeza

Limpe los equipos y herramientas con agua antes de que el material endurezca.



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
www.toxement.com.co

PRECAUCIONES

- Nunca agite el aditivo con aire.
- Se deben hacer ensayos en obra ya que los cementos y agregados varían en cada obra.
- Adicione a la mezcla independiente de otros aditivos.

ALMACENAMIENTO

EUCON 1037 debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado y en lugares secos.

Vida útil de almacenamiento: 6 meses a granel y 1 año en su envase original.

PRESENTACION

Tambor: 230 kg
Granel

Las Hojas Técnicas de los productos EUCLID - TOXEMENT pueden ser modificadas sin previo aviso. Visite nuestra página Web www.toxement.com.co para consultar la última versión.

Los resultados que se obtengan con nuestros productos pueden variar a causa de las diferencias en la composición de los sustratos sobre los que se aplica o por efectos de la variación de la temperatura y otros factores. Por ello recomendamos hacer pruebas representativas previo a su empleo en gran escala.

EUCLID - TOXEMENT se esfuerza por mantener la alta calidad de sus productos, pero no asume responsabilidad alguna por los resultados que se obtengan como consecuencia de su empleo incorrecto o en condiciones que no estén bajo su control directo.

Agosto 21 de 2009

Anexo C.3 – Especificaciones técnicas del aditivo mantensor de plasticidad



Química Suiza Industrial
del Perú SA
Av. República de Panamá 2577
Lima 13 - Perú
www.qsindustrial.biz

T (+51-1) 710 4000
F (+51-1) 710 4050



EUCO WR-75

ADITIVO MANTENSOR DE PLASTICIDAD, REDUCTOR DE AGUA CON RETARDO CONTROLADO

DESCRIPCIÓN

EUCO WR-75 es un aditivo líquido a base de polímeros orgánicos, formulado específicamente para obtener una reducción de agua y un excelente desempeño manteniendo el asentamiento por un largo periodo.

APLICACIONES PRINCIPALES

EUCO WR-75 está especialmente recomendado cuando se requiere:

- Elaborar cualquier tipo de concreto en general
- Concreto premezclado
- Concreto colocados en climas cálidos y templados
- Cuando se requiera transporta el concreto a largas distancias.
- Concretos especiales

BENEFICIOS

- Permite transportar la mezcla a larga distancia.
- Mejora la cohesión y reduce la segregación
- Facilita el bombeo y colocación del concreto a distancias largas.
- Proporciona un retardo controlado, dependiendo la dosis empleada.
- Reduce la exudación y contracción del concreto.
- No contiene cloruros ni agentes corrosivos.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Densidad: 1.156 +/- 0.01 g/mL

pH: 7.5 +/- 0.5

Líquido, color incoloro

ESPECIFICACIONES/NORMAS

Este producto cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 494 Tipo B.



Química Suiza Industrial
del Perú SA
Av. República de Panamá 2577
Lima 13 - Perú
www.qsindustrial.biz

T (+51-1) 710 4000
F (+51-1) 710 4050



EUCO WR-75

ADITIVO MANTENSOR DE PLASTICIDAD, REDUCTOR DE AGUA CON RETARDO CONTROLADO

INSTRUCCIONES DE USO

Agregue **EUCO WR- 75** al agua restante del amasado de la mezcla o directamente, no debe entrar en contacto directo con el cemento seco, no debe mezclarse con otros aditivo.

Se puede agregar **EUCO WR- 75** manualmente o con dosificadores, es un producto listo para usarse y no requiere agitación o mezclado adicional.

DOSIFICACIÓN

El **EUCO WR-75** es usado a una dosificación 0.1– 0.3% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos.

PRESENTACIÓN

- Cilindro 230 kg
- Baldes 20 kg.

PRECAUCIONES/ RESTRICCIONES

- Se debe proteger el **EUCO WR- 75** contra el congelamiento.
- Se deberá de tener cuidado cuando se aplique en temperaturas de ambiente menores a 15°C ya que puede presentar tiempos de fraguados iniciales y finales prolongados.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
- Se debe consultar con nuestros Asesores Técnicos cada vez que se tenga dudas respecto al uso del producto. De esta manera, podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestro cliente.
- EL producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.
- No utilice aire para su agitación.

Vida útil: 12 meses

Anexo D.1 – Granulometría del agregado fino (NTP 400.037)

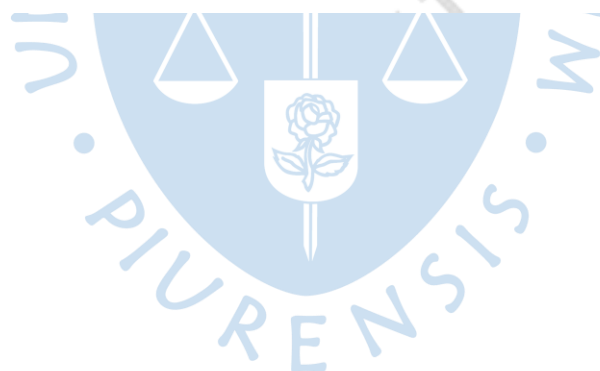
NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 400.037
8 de 20

TABLA 1 - Granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	05 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

NOTA 2: Concretos elaborados con agregado fino con deficiencias en los tamices 300 μm (N° 50) y 150 μm (N°100) algunas veces presentan dificultades en la trabajabilidad, bombeo o excesiva exudación. La deficiencia de finos puede ser subsanada con cemento adicional. Las adiciones minerales o aditivos.



Anexo D.2 – Requisitos granulométricos del agregado grueso (NTP 400.037)

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 400.037
13 de 20

TABLA 4 - Requisitos granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 ½ pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 ½ pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37,5 mm (1 ½ pulg.)	25,0 mm (1 pulg.)	19,0 mm (¾ pulg.)	12,5 mm (½ pulg.)	9,5 mm (⅜ pulg.)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg.)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
2	63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg.)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
3	50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg.)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg.)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	...
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 pulg a ½ pulg.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
6	19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
67	19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	...
8	9,5 mm a 2,36 mm (⅜ pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
89	12,5 mm a 9,5 mm (1/2 pulg a ⅜ pulg.)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 ^A	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

NOTA: Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concreto de la calidad requerida.

Anexo D.3 – Capacidad de los recipientes para realizar el ensayo de Peso Unitario (NTP 400.017)

TABLA 1 - Capacidad de los recipientes

T nominal máx. del agregado		Capacidad del recipiente^A	
mm	pulg	m ³	p ³
12,5	1/2	0,0028 (2,8)	1/10
25,0	1	0,0093 (9,3)	1/3
37,5	1 ½	0,0140 (14)	½
75	3	0,0280 (28)	1
100	4	0,0700 (70)	2 ½
125	5	0,1000 (100)	3 ½

^ALos tamaños indicados de los recipientes serán usados para ensayar agregados de un tamaño nominal máximo igual o menor de los listados. El volumen actual del recipiente será al menos 95 % del volumen nominal listado.



Anexo E.1 – Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla patrón



UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 22078

Informe N° : 184186

Fecha de recepción : 26/11/2018

Fecha de ensayo : 26/11/2018

Fecha de emisión : 04/12/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA
Obra	: Diseño de concreto patrón con una relación a/c = 0.51
Ubicación	: Laboratorio udep - Lemc
Muestreo realizado por	: El Solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 29/10/2018

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)
MP - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	66668	367	-
MP - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	70033	386	-
MP - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	60631	334	-
MP - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	61989	342	-
MP - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	61631	340	-
MP - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	62936	347	-
MP - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	22992	293	-
MP - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	27186	346	-
MP - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	25709	327	-

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 : 36 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° 184186, 184187, 187188 y 184189.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.

Presenció el ensayo

Christian Varón García

Ingeniero Civil

CIP 106426

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.

Anexo E.2 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(0.85)**UNIVERSIDAD DE PIURA**

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 22078

Informe N° : 184187

Fecha de recepción : 26/11/2018

Fecha de ensayo : 26/11/2018

Fecha de emisión : 04/12/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA
Obra	: M- 1 = Mezcla de concreto fluido con 0.85 % de aditivo superplastificante EUCON 1037 respecto a la cantidad de agua
Ubicación	: Laboratorio udep - Lemc
Muestreo realizado por	: El Solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 29/10/2018

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)
M 1 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	64305	354	-
M 1 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	65746	362	-
M 1 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	61691	340	-
M 1 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	62719	346	-
M 1 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	60616	334	-
M 1 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	57537	317	-
M 1 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	11647	148	-
M 1 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	10545	134	-
M 1 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	10250	131	-

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 : 36 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° 184186, 184187, 187188 y 184189.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.

Presenció el ensayo

Christian Varón García
 Ingeniero Civil
 CIP 106420
 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.

Anexo E.3 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(0.85) y WR-75(0.25)



UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 22078

Informe N° : 184188

Fecha de recepción : 26/11/2018

Fecha de ensayo : 26/11/2018

Fecha de emisión : 04/12/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA
Obra	: M- 2 = Mezcla de concreto fluido con 0.85 % de aditivo superplastificante EUCON 1037 más 0.25 % de aditivo EUCON WR75
Ubicación	: Laboratorio udep - Lemc
Muestreo realizado por	: El Solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 29/10/2018

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)
M 2 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	74796	412	-
M 2 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	74139	409	-
M 2 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	75922	418	-
M 2 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	75656	417	-
M 2 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	72205	398	-
M 2 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	71765	395	-
M 2 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	30623	390	-
M 2 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	27358	348	-
M 2 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	28134	358	-

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 : 36 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° 184186, 184187, 187188 y 184189.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.

Presenció el ensayo

Christian Varhes García
 Ingeniero Civil
 CIP 106420
 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.

Anexo E.4 - Resistencia de rotura de los especímenes fabricados con la mezcla D1037(1) y WR-75(0.3)



UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

Norma: NTP 339.034 1999

Orden de servicio N° : 22078

Informe N° : 184189

Fecha de recepción : 26/11/2018

Fecha de ensayo : 26/11/2018

Fecha de emisión : 04/12/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: JORGE ANTONIO MANRIQUE PURIZACA
Obra	: M- 3 = Mezcla de concreto fluido con 1 % de aditivo superplastificante EUCON 1037 más 0.3 % de aditivo EUCON WR75
Ubicación	: Laboratorio udep - Lemc
Muestreo realizado por	: El Solicitante
Resistencia especificada	: -
Fecha de moldeo	: 29/10/2018

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)
M 3 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	57233	315	-
M 3 - 0	29/10/18	26/11/18	28	15.2	60358	333	-
M 3 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	72561	400	-
M 3 - 1	29/10/18	26/11/18	28	15.2	75620	417	-
M 3 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	74405	410	-
M 3 - 2	29/10/18	26/11/18	28	15.2	74046	408	-
M 3 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	29557	376	-
M 3 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	27102	345	-
M 3 - 3	29/10/18	26/11/18	28	10.0	28328	361	-

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 : 36 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° 184186, 184187, 187188 y 184189.

Realizó el ensayo : Téc. Estiwar Campos E.

Presenció el ensayo

Christian Varhen García
Ingeniero Civil
CIP 106420
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.