



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**"Propuesta De Diseño De Concreto Autocompactante Para Uso En  
Construcción De Edificios Multifamiliares En La Ciudad De Piura, 2021"**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Torres Viera, Stewart Gerardo (ORCID: 0000-0001-6890-2199)

**ASESOR:**

Mg. Medina Carbajal, Lucio Sigirfredo (ORCID: 0000-0001-5207-4421)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico Y Estructural

**PIURA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

*A mis educadores, que me formaron y me enseñaron el amor por la ingeniería y la construcción.*

*A mi familia, que me educaron para la vida y me enseñaron la ingeniería y construcción del amor.*

*Para todos ellos con mucho cariño y admiración.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por consérvame con vida y permitirme seguir con el cumplimiento de mis metas personales y profesionales.*

*A mis padres, por todo el sumo apoyo de manera incondicional a lo largo de toda mi preparación académica.*

*A la Universidad César Vallejo de Piura, que me brindó la gran oportunidad de realizar convalidación de estudios y complementar mi formación profesional en la maravillosa carrera de Ingeniería Civil.*

*Mis más sinceros agradecimientos.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |      |
|---|------|
| Carátula  |      |
| Dedicatoria .....   | ii   |
| Agradecimiento .....                                      | iii  |
| Página del jurado .....                                   | iv   |
| Índice de contenidos .....                                | v    |
| Índice de tablas .....                                    | vi   |
| Índice de gráficos .....                                  | vii  |
| Resumen .....   | viii |
| Abstract .....  | ix   |
| I. INTRODUCCIÓN. ....                                     | 1    |
| II. MARCO TEÓRICO. ....                                   | 6    |
| III. METODOLOGÍA. ....                                    | 23   |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación. ....                 | 23   |
| 3.2. Variables y operacionalización.....                  | 23   |
| 3.3. Población, Muestra y Muestreo.....                   | 24   |
| 3.2.4 Unidad de Análisis: .....                           | 25   |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 25   |
| 3.5. Procedimientos. ....                                 | 26   |
| 3.6. Método de análisis de datos:.....                    | 28   |
| 3.7. Aspectos éticos: .....                               | 28   |
| IV. RESULTADOS.....                                       | 29   |
| V. DISCUSIÓN.....   | 56   |
| VI. CONCLUSIONES. ....                                    | 60   |
| VII. RECOMENDACIONES. ....                                | 61   |
| REFERENCIAS:.....   | 62   |
| ANEXOS .....  | 68   |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Criterios de diseño.....   | 30 |
| <b>Tabla 2.</b> Resumen de la caracterización de los materiales.....   | 30 |
| <b>Tabla 3.</b> Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra..... | 31 |
| <b>Tabla 4.</b> Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del concreto.....  | 32 |
| <b>Tabla 5.</b> Objetivos de asentamiento.....   | 34 |
| <b>Tabla 6.</b> Rangos de contenido de cemento sugeridos.....  | 35 |
| <b>Tabla 7.</b> Contenido de pasta en volumen.....   | 37 |
| <b>Tabla 8.</b> Proporciones globales de los agregados en la mezcla.....   | 38 |
| <b>Tabla 9.</b> Proporciones individuales de los agregados en la mezcla.....   | 38 |
| <b>Tabla 10.</b> Volumen global de los agregados en la mezcla de concreto.....   | 38 |
| <b>Tabla 11.</b> Volumen individual de los agregados en la mezcla de concreto.....   | 39 |
| <b>Tabla 12.</b> Resumen de proporciones de los materiales del diseño en estado seco.<br>.....   | 39 |
| <b>Tabla 13.</b> Dosificaciones en peso de los materiales de la mezcla.....  | 41 |
| <b>Tabla 14.</b> Resumen de las dosificaciones del diseño de mezcla.....   | 42 |
| <b>Tabla 15.</b> Resultado de la caracterización de la fluidez.....  | 44 |
| <b>Tabla 16.</b> Resumen de la caracterización de la pérdida de fluidez.....   | 45 |
| <b>Tabla 17.</b> Resumen de la caracterización de la capacidad de paso.....  | 47 |
| <b>Tabla 18.</b> Resumen de la caracterización de la capacidad de relleno.....   | 48 |
| <b>Tabla 19.</b> Resultados de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante.....  | 50 |
| <b>Tabla 20.</b> Presupuesto base del diseño de mezcla de concreto autocompactante.<br>.....   | 52 |
| <b>Tabla 21.</b> A.P.U del CAC para Muros de ductilidad limitada.....  | 53 |
| <b>Tabla 22.</b> A.P.U del CC para Muros de ductilidad limitada.....   | 54 |
| <b>Tabla 23.</b> Relación comparativa de costos del CC versus el CAC.....  | 55 |

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1.</b> Consumo histórico del concreto.....                          | 2  |
| <b>Gráfico 2.</b> Vaciado de hormigón autocompactante (HAC).....               | 2  |
| <b>Gráfico 3.</b> Curva de caída del asentamiento o fluidez de la mezcla. .... | 46 |
| <b>Gráfico 4.</b> Curva de incremento de la resistencia del concreto. ....     | 51 |

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación contempla la propuesta de diseño, elaboración y caracterización de un Concreto Autocompactante (CAC). El cual se busca su implementación en la construcción de edificios multifamiliares y se presenta como alternativa de solución a numerosos inconvenientes que presenta el concreto al momento de su colocación en obra. Asimismo, se establece la rentabilidad de la propuesta del diseño para evaluar su aplicación en edificaciones con muros de ductilidad limitada (EMDL).

Este trabajo ha sido realizado con el fin de lograr el objetivo general de Proponer el diseño de mezcla de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021. La investigación es de tipo estudio descriptivo, ya que se buscó indagar y describir el método de diseño y los ensayos de caracterización del CAC. Además, posee un enfoque cuantitativo y el diseño fue no experimental-transversal. La población seleccionada es diseño de mezclas de concreto, mientras que la muestra es diseño de concreto autocompactante. Las técnicas de recolección de datos fueron la observación, el análisis de documentos y la entrevista. Los instrumentos utilizados son la ficha de registros de datos, la guía de investigación y el cuestionario.

En el diseño se siguieron las sugerencias de la norma ACI 237R-07 y las especificaciones de la EFNARC. En la elaboración de la mezcla se utilizaron agregados de canteras locales y aditivos de última tecnología. Asimismo, se llevaron a cabo tandas de pruebas hechas en laboratorio hasta conseguirse los materiales adecuados. Además, se ejecutaron ensayos de propiedades físicas y mecánicas para medir las características del CAC. Y por último, se estableció el presupuesto base del diseño de mezcla trabajado. Entre las conclusiones, se determinó que el CAC logra resistencias a la compresión más altas a temprana edad que el concreto convencional, y que la rentabilidad del diseño de concreto autocompactante desarrollado de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  tuvo un costo mayor en porcentaje de 20 %, a comparación de un diseño de concreto convencional.

**Palabras claves:** diseño de mezcla, concreto autocompactante, propiedades físicas, propiedades mecánicas, rentabilidad.

## ABSTRACT

The present research work contemplates the design proposal, elaboration and characterization of a Self-Compacting Concrete (SCC). It is intended to be implemented in the construction of multifamily buildings and is presented as an alternative solution to numerous problems that concrete presents at the time of its placement on site. Likewise, the profitability of the design proposal is established to evaluate its application in buildings with limited ductility walls (EMDL).

This work has been carried out in order to achieve the general objective of proposing the design of a self-compacting concrete mix for use in the construction of multifamily buildings in the city of Piura, 2021. The research is a descriptive study, since it sought to investigate and describe the design method and the characterization tests of the SCC. In addition, it has a quantitative approach and the design was non-experimental-transversal. The selected population is concrete mix design, while the sample is self-compacting concrete design. The data collection techniques were observation, document analysis and interview. The instruments used are the data record card, the research guide and the questionnaire.

The design followed the suggestions of the ACI 237R-07 standard and the EFNARC specifications. Aggregates from local quarries and state-of-the-art admixtures were used in the preparation of the mix. In addition, batches of laboratory tests were carried out until the appropriate materials were obtained. In addition, physical and mechanical properties tests were carried out to measure the characteristics of the CAC. And finally, the base budget of the worked mix design was established. Among the conclusions, it was determined that the CAC achieves higher early compressive strengths than conventional concrete, and that the cost-effectiveness of the developed self-compacting concrete design of  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  was 20 % higher than that of a conventional concrete design.

**Key words:** mix design, self-compacting concrete, physical properties, mechanical properties, cost effectiveness.



## **I. INTRODUCCIÓN.**

El sector de la construcción es una industria de abundante productividad, siendo muy valiosa dentro del crecimiento económico de todo país y significando un veraz propulsor en el desarrollo de nuevas tecnologías para distintos tipos de materiales.

Se ha hecho frecuente el incremento de edificaciones cada vez más complejas como edificios multifamiliares de gran tamaño, estructuras con mucha demanda de acero, cimentaciones de grandes dimensiones o elementos estructurales más esbeltos; todo ello, han generado a que las exigencias en cuanto al proceso constructivo y calidad de los materiales se vuelvan mayores a las habituales.

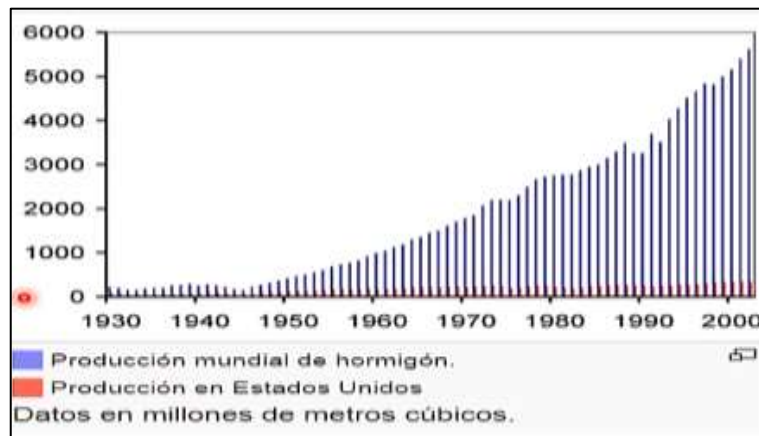
Hoy en día, la manufactura en diversas áreas del mundo de la ingeniería civil es compleja y crecida de avances tecnológicos que la hacen muy dinámica. El concreto, el material más empleado en la construcción, no es impropio a los inconvenientes durante su elaboración y/o producción, diversas causas tales como: materiales de insuficiente calidad, equipos deficientes, mano de obra no calificada, la complejidad de los elementos estructurales, la temperatura del ambiente y cambios de clima, pueden ocasionar consigo una cadena de fallas generando falencias de carácter estructural y estéticas, también.

Ningún otro material de construcción ha sido empleado en múltiples cantidades en el mundo, de tal manera que en el futuro no pareciera existir otro material que le haga competencia al concreto en magnitudes de volúmenes. Es el material más utilizado después del agua, se estima que en el mundo hay 1.5 m<sup>3</sup> aproximadamente de concreto por cada ser humano.

Las prestaciones de propiedades mecánicas, como la escasa necesidad de mantenimiento, han convertido al concreto en el material predilecto más competitivo por excelencia y durable a través de los tiempos. Cifras estadísticas han señalado que se producen más de 7 billones de metros cúbicos en el planeta.

Todas las grandes obras promueven a que los ingenieros, arquitectos, técnicos y todo aquel profesional ligado a la construcción profundicen sus conocimientos desarrollando investigaciones a cerca del campo llamado Tecnología del Concreto.

**Gráfico 1.** Consumo histórico del concreto.



Fuente: Aïtcin Pierre, profesor de la universidad de Sherbrooke, Canadá.

De igual importancia, apareció en el mundo un novedoso hormigón o concreto, capaz de correr y completar cualquier sitio del encofrado mediante el movimiento natural de su propio peso (de ahí el término “autocompactante”) sin la necesidad de una compactación por medios mecánicos. Según la opinión de Mutiu A. Akinpelu, et al (2017) en su artículo titulado “Evaluación de la relación de resistencia a la tracción y a la compresión por división del hormigón autocompactante”, Revista de la Universidad King Saud - Ciencias de la Ingeniería, manifestó que el hormigón autocompactante se desarrolló en Japón en 1983 para superar el problema de lograr la durabilidad de las estructuras de hormigón debido a la escasez de mano de obra calificada (p. 19).

**Gráfico 2.** Vaciado de hormigón autocompactante (HAC).



Fuente: J. Pérez, Universidad de Alcalá de Henares

Entre tanto, gran parte de las estructuras del norte del país se construyen con un Concreto Convencional (CC), dejando de lado a la necesidad que se tiene de ejecutar construcciones que requieran concretos con una mayor trabajabilidad, fluidez, consolidación y durabilidad, y a la vez de un aumento en la propiedad mecánica como lo es la resistencia a la compresión. De acuerdo a estos autores Michael W. Tait y Wai M. Cheung (2016) en su artículo “Una evaluación comparativa del ciclo de vida de principio a fin de tres diseños de mezcla de hormigón”, Revista Evaluación del ciclo de vida, hicieron mención que el hormigón es el material de construcción más utilizado en el planeta (p. 848).

Por estas razones, es que se creyó conveniente realizar una investigación para proponer el uso del concreto autocompactante (CAC) en la construcción de edificios multifamiliares de la ciudad de Piura. De tal modo, que se pretendió mejorar las propiedades físicas y mecánicas del concreto en el momento de su colocación; y asimismo, asegurar su durabilidad en los elementos estructurales. Además, se aportó la alternativa de solución para el ahorro de costos por mantenimiento y/o reparación en estructuras defectuosas.

Por otra parte, se promovió el estudio de un importante campo de la Ingeniería Civil conocido como “Tecnología del Concreto” a la par con el empleo de aditivos de última generación. Cabe señalar, que en nuestro medio local no existían muchas investigaciones que abarquen la exploración con este tipo de concreto especial.

Se planteó llevar a cabo esta investigación, la cual buscó implementar el uso del concreto autocompactante en la ciudad de Piura. Asimismo, se propuso un diseño de mezcla óptimo para mejorar la calidad de las estructuras en grandes proyectos de edificación y se brindó información relevante con respecto a la rentabilidad del diseño de mezcla del CAC.

Del contexto anteriormente descrito, se aceptó que el problema de estudio del presente trabajo de investigación se basó en las exigencias que se requerían para implementar un concreto de mejor calidad en la ciudad de Piura. De esa manera, el problema de investigación de esta tesis se formuló con la siguiente pregunta principal ¿Cuál es la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura? Tuvo como

interrogantes específicas ¿Cuáles son las dosificaciones óptimas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante? ¿Cuáles son los ensayos de propiedades físicas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante? ¿Cuáles son los ensayos de propiedades mecánicas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante? Y ¿Cuál es la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante?

La presente investigación se justificó principalmente en la implementación del concreto autocompactante como una alternativa viable para uso estructural en la construcción de edificios multifamiliares. En donde aportó a su vez procedimientos teóricos y métodos de ensayo de laboratorio para la correcta elaboración de este concreto especial.

A través de la aplicación de aditivos de última generación (superplastificante de alto rango) se elaboró un diseño de mezcla óptimo, obteniéndose de esa manera un concreto de alta trabajabilidad para evitar así futuros problemas de compactación en elementos estructurales altamente armados (supresión del trabajo de vibrado), pudiendo ahorrarse los costos en obra, reduciendo los tiempos de construcción y desarrollando un adecuado fin estético (mejor acabado). Asimismo, se analizaron sus características físicas, mecánicas, el presupuesto y análisis de costos de la propuesta de diseño para uso en las edificaciones urbanas de gran tamaño de la ciudad de Piura (edificios multifamiliares).

Posteriormente, se planteó como objetivo general Proponer el diseño de mezcla de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021. Así también, los objetivos específicos fueron Determinar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante, Analizar los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante, Evaluar los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante; y, Establecer la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.

Se planteó como hipótesis central que, La propuesta consistió en diseñar un concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares para la ciudad de Piura. Del mismo modo, las hipótesis secundarias son:

- Las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño fueron de, cantidad de cemento 400 Kg/m<sup>3</sup>, agregado grueso 875 Kg/m<sup>3</sup>, agregado fino 50 % del peso total de los agregados en cantidades equilibradas, y agua 180 Litros/m<sup>3</sup>, para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura.
- Los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño fue la de caracterización de fluidez/trabajabilidad, capacidad de paso y capacidad de relleno, para el cumplimiento de los requisitos de autocompactabilidad.
- Los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño fue la de evaluación de resistencia a la compresión del concreto autocompactante (CAC), consiguiéndose un concreto con igual y/o mayor resistencia que el concreto convencional (CC).
- La rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante fue de una inversión del 20 %, en comparación con el diseño de un concreto convencional; estableciendo al CAC como alternativa viable para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.

## II. MARCO TEÓRICO.

En el proceso de búsqueda de antecedentes, se encontraron los siguientes a nivel internacional:

FLORES CORNEJO, Bécquer Antonio (2015), en su trabajo de graduación *“Hormigón Autocompactante”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Central del Ecuador. Tuvo como objetivo central conseguir una dosificación con los agregados de la cantera de Guayllabamba que obedezca a los criterios de diseño de hormigón autocompactante. El tipo de diseño de investigación fue experimental. El investigador ejecutó tres diseños de mezclas con la finalidad de lograr una proporción que agrupe con todas las condiciones que posee el HAC. Finalmente, concluyó que es posible elaborar hormigón autocompactante con los materiales extraídos de la cantera de Guayllabamba siguiendo las sugerencias de la norma ACI 237R. Además, aconsejó que para lograr una idónea fluidez del hormigón, el uso del aditivo superplastificante debe ser en dosis adecuada.

SOBERÓN LÓPEZ, Iván Fernando (2015), en su tesis *“Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales y su influencia en las propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Técnica de Ambato. Tuvo como objetivo principal diseñar una mezcla de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales de la ciudad de Ambato. Utilizó el tipo de enfoque cuantitativo y cualitativo, el nivel de investigación fue tipo exploratorio y descriptivo. El autor recolectó los recursos imprescindibles para el desarrollo de su investigación, recogiendo los agregados de la mina A&P ubicada en Ambato, sector “Las Viñas”; asimismo, dispuso del uso de aditivo superplastificante y la adición de filler. El investigador llegó a la conclusión que, realizando una variedad de ensayos con distintos porcentajes de aditivos se puede determinar los diversos tipos de hormigón autocompactante. Así mismo, determinó mediante tabulación los resultados obtenidos respecto a las cantidades de superplastificante y su respectivo porcentaje de filler para que no presentara segregación, aportando de esa manera una referencia para futuros proyectos y posteriores investigaciones.

ABAD GONZÁLEZ, José Antonio y ROMERO LOYOLA, Jorge Miguel (2016), en su tesis *“Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas”*, para la obtención del título de ingeniero civil de la Universidad de Cuenca, Ecuador. Tuvo como objetivo esencial evaluar y comparar las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes con la adición de fibras plásticas, recicladas y normalizadas, orientadas en el logro de la dosificación óptima que se comporte adecuadamente en oficio de las propiedades mecánicamente propicias para el uso en la construcción. Usó el tipo de diseño experimental. Los autores utilizaron como herramienta un diseño de experimentos, en el cual intervino dos factores y tres niveles generando un diseño factorial  $3^k$ . Entre sus conclusiones recalcaron que la investigación sobre un tipo específico de concreto, siendo el caso del concreto autocompactante (CAC) con la inclusión de macrofibras recicladas y comerciales, extiende el conocimiento sobre el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de este concreto.

A nivel nacional, se recopilaron los siguientes trabajos de investigación:

HUAMANÍ HUARANCCA, Iván (2018), en su tesis *“Concreto autocompactante: diseño, beneficios y consideraciones básicas para su uso en la ciudad de Ayacucho”*, para la obtención del título profesional de ingeniero civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Tuvo como objetivo principal disminuir los espacios vacíos en el concreto fresco sin la necesidad de vibración al elaborar el diseño óptimo del CAC para su uso en la Ciudad de Ayacucho. El diseño de investigación fue de tipo experimental y correlacional. El autor analizó la variación del comportamiento del concreto autocompactante en función al porcentaje de aditivo superplastificante empleado, ya que este parámetro influye en su microestructura y por lo consecuente en su comportamiento resistente. El investigador llegó a la conclusión que, se pudo comprobar que el concreto autocompactante no necesita de vibrado, ya que se consolida por la acción de su propio peso, reduciendo gran cantidad de vacíos a paridad de un concreto convencional. Además, la resistencia mecánica a la compresión ( $f'c$ ) del concreto autocompactante fueron mayores a las del concreto convencional, verificando así que el uso del aditivo superplastificante mejora la calidad de un concreto.

PALOMINO ROMAN, Julian Herbert (2017), en su tesis *“Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay”*, para la obtención del título de ingeniero civil de la Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay. Tuvo como principal objetivo diseñar y producir un concreto autocompactante para mejorar sustancialmente la trabajabilidad en el vaciado del concreto realizados en la ciudad de Abancay. El tipo de investigación fue de enfoque cuantitativo, secuencial y probatorio; el nivel de investigación fue descriptiva. El autor elaboró tres diseños de mezclas de concreto autocompactante con distintas dosis de aditivo superplastificante, con la intención de lograr un diseño que conceda mejor trabajabilidad en el concreto de las construcciones informales, sin perder sus propiedades en estado fresco, así como no perjudicar su vida útil. El investigador tuvo como conclusiones que, la elaboración de concreto convencional en las autoconstrucciones es de manera desmesurada, puesto que la idiosincrasia se presenta, ya que el concreto en obra se prepara sin mantener una relación agua-cemento equilibrado, por razones de que el personal obrero cree darle mejor trabajabilidad al concreto añadiéndole más agua para terminar el vaciado lo más rápido. Asimismo, para fines de costos y beneficio en comparación entre el concreto convencional tipo B y el concreto autocompactante tipo 2 con 1.125% de aditivo, donde resultó que el concreto autocompactante presenta mayor costo.

RABANAL GONZALES, Diana Carolina y SU CHAQUÍ, Alexander Rafael (2017), en su tesis *“Diseño de un concreto autocompactable”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Señor de Sipán, Chiclayo. Tuvo como objetivo central diseñar un concreto autocompactable con la finalidad de aumentar la calidad de las estructuras de concreto en enormes obras de edificación, extendiendo de esa forma el aprendizaje sobre la utilización de nuevas tecnologías con el empleo de aditivos superplastificantes y emprender a desarrollar su aplicación en proyectos de edificación que impliquen altos volúmenes de vaciado de concreto y que contengan estructuras sumamente armadas. El tipo de investigación usado fue tecnológica aplicada y el diseño experimental. Los autores hicieron empleo de materiales convencionales para una mezcla aparte con un aditivo superplastificante, cuyo propósito era diseñar un concreto autocompactable, la



metodología desarrollada fueron los ensayos de laboratorio establecidos en concreto, haciendo uso de la observación como técnica de recolección de datos, análisis de documentos y entrevista. Los instrumentos fueron los cuestionarios, guía de documentos y de observación; finalmente, el procesamiento de datos se llevó a cabo por medio de un diagrama de flujos. Entre sus conclusiones, los autores demostraron que el concreto autocompactable diseñado fue excelente y de alta calidad, superando todas las pruebas planificadas y satisfaciendo con los requerimientos técnicos establecidos; también, cumpliendo con las características especiales de un CAC.

RODRÍGUEZ MÉNDEZ, Brando Jeffrey (2019) en su tesis *“Influencia de los superplastificante tipo F sobre sus propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad Privada del Norte, Trujillo. Tuvo como objetivo principal determinar de qué manera influye la adición del aditivo superplastificante de categoría F en función de la capacidad de llenado, capacidad de paso, viscosidad, resistencia a la segregación y resistencia a la compresión de un CAC. El tipo de investigación fue de diseño experimental. El autor desarrolló el diseño de mezcla siguiendo puntualmente las sugerencias establecidas por el comité del “Instituto Americano del Concreto” (ACI-211); luego, procedió a tener en cuenta las especificaciones de la “Federación Europea Dedicada a Sistemas Específicos de Hormigón y Productos Químicos Especializados para la Construcción” (EFNARC); del mismo modo, siguió las indicaciones mencionadas por el “Grupo del Proyecto Europeo” (GPE). Consecuentemente, realizó un análisis comparativo entre las marcas de aditivo “Sika” y “Euco”. El investigador llegó a las conclusiones que, el CAC con aditivo Euco Neoplast 8500HP (0.6 %) de dosis, es el porcentaje adecuado que cumple con las principales características de capacidad de llenado. A través del ensayo de asentamiento, se logró una extensión de flujo de 741 mm; por medio del ensayo embudo en “V”, en un lapso de 11.9 segundos se determinó la viscosidad; mediante el ensayo de la caja en “L”, se desarrolló la capacidad de paso, obteniéndose un promedio de altura de 81 cm. Además, en la medición de la resistencia a la segregación se ejecutó el ensayo de segregación por tamiz, teniéndose un valor de 5.4 %, la cual satisfizo con lo establecido por el “GPE”; con base a su resistencia a la compresión, fue de  $f_c = 584 \text{ kg/cm}^2$ , alcanzada a los 56 días.

A nivel local, se buscaron las siguientes investigaciones:

MENDOZA YARLEQUÉ, María Leonor (2019), en su tesis *“Diseño de concreto autocompactable con fibras de polipropileno para elementos estructurales en viviendas del A.H Nuevo Catacaos Sur - I Etapa - Catacaos - Piura, 2019”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad César Vallejo, Piura. Tuvo como objetivo general diseñar un concreto autocompactable con fibras de polipropileno para elementos estructurales en viviendas del A.H Nuevo Catacaos Sur - I Etapa - Catacaos - Piura, 2019. El tipo de diseño de investigación fue experimental. La autora realizó ensayos físicos y químicos a los agregados para conseguir un apropiado diseño de mezcla. Propuso cuatro diseños con la misma dosis de aditivo superplastificante; primero, sin fibras; y los otros tres, con fibras de porcentajes del 0.05%, 0.10% y 0.20%, en función al cemento Portland Tipo Ms antisalitre (Pacasmayo) con una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm<sup>2</sup> a las edades de 7, 14 y 28 días. La investigadora llegó a la conclusión que, la dosificación del concreto autocompactable tratándose con una pluralidad de ensayos a los agregados empleados en la mezcla para la correspondiente proporción de los componentes de cada diseño realizado sin y con fibras de polipropileno en porcentajes de 0.05 %, 0.10 % y 0.20 %, para 1 m<sup>3</sup>, de modo tal que la fluidez del concreto no presentó alteraciones.

MANRIQUE PURIZACA, Jorge Antonio (2019), en su tesis *“Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo”*, para optar el título de ingeniero civil de la Universidad de Piura. Tuvo como objetivo primordial fabricar una mezcla que se conservara maleable por un tiempo aproximado de cinco horas, sin que este presentara cambios elevados de temperatura; además, que debía extenderse al interior del encofrado por el movimiento de su propio peso y atravesar las barras de acero sin quedar bloqueado. El tipo de diseño de investigación fue experimental. El autor desarrolló cuatro diseños de mezcla para comparar el comportamiento mecánico, diseñando una de estas sin proporcionar alguna adición que le resulte más trabajable; mientras que, las otras tres presentaron alteraciones en sus propiedades a consecuencia de agregar dos clases diferentes de aditivo en cantidades superiores para cada una. Como conclusión general tuvo que, tras el análisis respectivo determinó que los

porcentajes de los aditivos provocó el aumento en las proporciones de los agregados usados, efecto que conllevó al incremento de la resistencia del concreto, pero que no favoreció el crecimiento de la trabajabilidad por un periodo considerable.

En lo relacionado a los conceptos y bases teóricas referentes a la variable de estudio, se consideraron las siguientes:

El hormigón autocompactante (HAC), por sus siglas en inglés Self-Compacting Concrete (SCC), ahora se utiliza comúnmente en la industria de la construcción y está desplazando al hormigón ordinario o convencional. Un hormigón autocompactante es aquel “que sin presentar segregación, separación o sangrado es capaz de fluir en el interior del encofrado relleno de forma natural el volumen del mismo, y pasar entre las barras de armadura sin otro medio de compactación durante su puesta en obra que la consolidación debida a su propio peso” (Okamura, 1997).

Por otra parte, el hormigón o concreto autocompactante es un tipo de material que se caracteriza por la capacidad de fluir y completar cualquier zona del encofrado, atravesando las armaduras de acero con total normalidad solo exclusivamente por la acción de propio peso, no generando problemas de segregación (separación de sus componentes una vez mezclado) y exudación (ascenso del agua de mezclado durante el tiempo que dura su fraguado).

Para Alireza Khaloo, et al (2014) en su artículo titulado “Comportamiento mecánico del hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero”, Revista Internacional de Materiales de Construcción y Construcción – ScienceDirect, nos define que el hormigón autocompactante (SCC) es un hormigón de alta trabajabilidad que sin vibraciones ni impactos y por su propio peso llena el encofrado, además de pasar con facilidad por pequeños espacios entre armaduras (p. 179).

El concreto u hormigón autocompactante es un tipo de material novedoso que permite escurrirse libremente por medio del movimiento de su peso específico a través de las armaduras de acero y llenando totalmente el interior del encofrado. Dentro de sus beneficios, incluyen: menos tiempo de construcción, reducción de la

mano de obra, mejores acabados superficiales, facilidad de colocación y mayor durabilidad.

Del mismo modo, los investigadores Eehab Khalil, Mostafa Abd-Elmohsen y Ahmed M. Anwar (2014) en su artículo “Resistencia al impacto del hormigón autocompactante engomado”, Revista Ciencia del Agua – ScienceDirect, comentaron que el hormigón autocompactante (HAC) se ha utilizado ampliamente en muchas estructuras de hormigón de geometría irregular o maciza. El HAC es conocido por su excelente deformabilidad, alta resistencia a la segregación y uso exitoso en estructuras de hormigón armado congestionadas caracterizadas por condiciones de fundición difíciles que no permiten vibraciones (p. 45).

Es sabido que el empleo del CAC o HAC se ha expandido enormemente por el mundo, haciéndose uso en diversas y complejas estructuras de formas variables; así mismo, su gran potencial de trabajabilidad y alta resistencia a la separación de los agregados lo han llevado a ser reconocido y admirado por aquellos que han asegurado el éxito de su aplicación en elementos de concreto armado.

El uso del concreto autocompactante trae una serie de ventajas las cuales fueron clasificadas en dos tipos por José Sainz-Aja, et al (2020) en su artículo titulado “Determinación de la cantidad óptima de aditivo superplastificante para Hormigón Autocompactante”, Revista Internacional de Ciencias Aplicadas – MDPI, establecieron de tipo logístico y de tipo técnico. Las ventajas logísticas son consecuencia de la eliminación de la vibración fase para el concreto; es decir, se reduce el número de operadores y el tiempo de ejecución. Además, la eliminación de la fase de vibración proporciona ahorros en los costos de electricidad y reduce el ruido la contaminación. Las ventajas técnicas se derivan de la mayor capacidad de flujo de este hormigón, que, independientemente de la densidad del refuerzo, facilita el vertido e incluso el bombeo (p. 01).

Al usarse CAC se consiguen beneficios para la optimización logística y técnica en la construcción, p. ej.: la limitación del personal obrero, rapidez en la ejecución de los trabajos; también, la facilidad del vaciado da como resultado el ahorro de costos al reducirse los requisitos de equipo, y el ruido a causa de la vibración se reduce durante el vaciado. Por la otra parte, el vertido en elementos con acceso limitado y

demasiada cantidad de acero se realiza fácilmente, dando como resultado final un concreto de alto desempeño.

Los investigadores Paweł Niewiadomski y Jerzy Hoa (2019) en su artículo titulado “Proceso de falla de hormigón autocompactado comprimido modificado con nanopartículas evaluado por método de emisión acústica”, Revista Automatización en la Construcción – ScienceDirect, comentaron que el hormigón autocompactante (HAC) ahora se utiliza comúnmente en la industria de la construcción y está desplazando al hormigón ordinario. La razón de esto se debe a la posibilidad de aplicarlo en estructuras de forma compleja, la posibilidad de utilizarlo en estructuras con alto grado de refuerzo, la reducción del nivel de ruido en plantas de prefabricación y en obras (p. 01).

La aplicación del concreto autocompactante es tan amplia que se pueda utilizar en todos los campos de la construcción con concreto, p. ej.: elementos prefabricados, elementos arquitectónicos de forma irregular, obras civiles, obras de arte, edificaciones y concreto premezclado. Por sus aplicaciones establecen que el concreto autocompactante es un material valioso con gran aporte en la actualidad, ya que abarca su uso en obras de mucha consideración urbanística ofreciendo opciones de solución a ciertas dificultades de construcción como una deficiente compactación o vibrado, transporte y vaciado.

Como es sabido, en la actualidad existen distintos tipos de concretos, tratándose de este trabajo investigativo se toma en cuenta la definición de hormigón u concreto convencional, que, según ÁLVAREZ GONZÁLES, José L (2014) en su trabajo fin de Master denominado “Hormigón autocompactante con nano adiciones y fibras”, el hormigón convencional se puede definir de forma simplificada como un material compuesto que es utilizado en la industria de la construcción de obra civil o de edificación, constituido por cuatro grupos principales: cemento, áridos gruesos, áridos finos y agua (p. 14).

Se conoce que el concreto convencional o tradicional es un material que se conforma al mezclar elementos como cemento, agua y agregados (grava y arena) y eventualmente aditivos, que al endurecerse se convierte en una piedra artificial capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, adquiriendo características

que lo hacen de uso común en la construcción y que cuando se encuentra en estado fresco posee suficiente tiempo de manejabilidad, y excelente cohesividad en estado endurecido.

Los autores Rose Mbugua, Ramadhan Salim y Julius Ndambuki (2016) en su artículo científico denominado “Efecto de la goma arábica como aditivo reductor de agua en hormigón”, Revista Internacional Materiales – MDPI, manifestaron que el hormigón es un material compuesto formado por cemento, agregados, agua, aditivos químicos y aditivos minerales. El uso de aditivos químicos ha crecido considerablemente en las últimas cuatro décadas (p. 01).

Existen productos químicos llamados aditivos que se utilizan en la mezcla del concreto con la función de modificar sus cualidades en situaciones especiales dependiendo del tipo de solicitaciones en obra. Todos los materiales son importantes para determinar la calidad del concreto producido, por ello se deben seleccionar y elegir correctamente antes del comienzo de la elaboración.

Otro elemento ya mencionado líneas arriba y que es añadido usualmente en el diseño de mezclas de concreto, son los aditivos.

Por lo tanto, un aditivo es definido por el Comité 116R del American Concrete Institute; así también, por la Norma ASTM C 125 como: “un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado”. Para complementar la definición anterior cabe señalar que los aditivos se utilizan con la finalidad principal de modificar idóneamente el comportamiento del concreto cuando está en estado fresco, al mismo modo inclinar a mejorar las determinadas propiedades requeridas en el concreto ya fraguado o endurecido.

De acuerdo a los autores Mazen J. Al-Kheetan, Mujib M. Rahman y Denis A. Chamberlain (2018) en su artículo denominado “Desarrollo de hormigón hidrófobo mediante la adición de un aditivo cristalino dual en la etapa de mezcla”. Revista Concreto Estructural - WILEY, explicaron acerca de los aditivos químicos que se utilizan principalmente en hormigón cuando está en estado fresco o cuando está

madurado, con la intención de mejorar la resistencia, durabilidad e impermeabilidad (p. 1505).

En la actualidad la aplicación de aditivos se viene usando mayoritariamente en toda clase de concreto, este brinda beneficios cuando es empleado en la dosis correcta, su propósito es ofrecerle a la mezcla de concreto mejores propiedades para la que fue diseñada. El avance en la tecnología de los aditivos junto a la par con la tecnología del concreto determinan que los aditivos sean hoy por hoy valiosos aportantes, o se vuelvan en un futuro de uso obligatorio para el concreto. Esto debido a las exigencias sismorresistentes, la durabilidad de las estructuras, la seguridad y protección de la vida de las personas.

Existe una tipología de los aditivos, la cual está establecido según la norma de la American Society of Testing Materials (ASTM) C 494 y la Norma Técnica Peruana (NTP) 334.088, conforme a la siguiente clasificación:

- Tipo A: Reductor de agua.
- Tipo B: Retardante de fraguado.
- Tipo C: Acelerante de fraguado.
- Tipo D: Reductor de agua retardante.
- Tipo E: Reductor de agua acelerante.
- Tipo F: Súper reductor de agua.
- Tipo G: Súper reductor de agua retardante.
- Tipo S: Aditivos de desempeño específico.

Dichos tipos de aditivos son empleados cuando es necesario cubrir las deficiencias de los materiales disponibles en la elaboración del concreto. Además, permiten satisfacer los requerimientos especificados a un menor costo posible de producción.

Mutiu A. Akinpelu, et al (2019) en el artículo original "Evaluación de la relación de resistencia a la tracción y a la compresión por división del hormigón autocompactante", Revista de la Universidad King Saud - Ciencias de la Ingeniería – ScieDirect, interpretaron que para lograr la trabajabilidad requerida necesaria para la autoconsolidación en estado fresco, el HAC requiere altos volúmenes de polvo con proporciones relativamente bajas de agua/polvo con cantidades

significativas de aditivos tales como superplastificantes reductores de agua de alto rango y algunas veces complementados con agentes modificadores de la viscosidad (p. 20).

La trabajabilidad es una propiedad importante dentro de las muchas aplicaciones del concreto recién mezclado. En especial, para el CAC que determina la facilidad de trabajarse en estado fresco para luego ser transportado, colocado y terminado sin problemas de segregación (separación de los agregados y el cemento) generando así su homogeneidad y propia consolidación. Para ello, es necesario el requerimiento de un aditivo reductor de agua de alta gama denominado superplastificante, que garantice dicha propiedad.

También, los investigadores antes citados manifestaron que la trabajabilidad de los especímenes de hormigón vibrado convencional (VC) se evalúa mediante la prueba de asentamiento, mientras que las propiedades reológicas que categorizan un concreto como hormigón autocompactante (SCC) son la fluidez, la capacidad de paso y la resistencia a la segregación, y se evalúan mediante aparatos de cono de asentamiento, caja en "L" y embudo en "V", respectivamente, de acuerdo con las normas EFNARC (EFNARC, 2002) (p. 21).

Según Musbah Guma, et al (2019) en el artículo denominado "Efectos de los aditivos superplastificantes sobre la resistencia a la compresión del hormigón", Revista Universal de Ciencias de la Ingeniería - HRPUB, indicaron que el superplastificante es un tipo de reductores de agua; sin embargo, la diferencia entre el superplastificante y el reductor de agua es que el superplastificante reducirá significativamente el agua necesaria para la mezcla del hormigón.

Los superplastificantes o aditivo reductor de agua de alta actividad, es un agente químico capaz de actuar adecuadamente sin modificar la consistencia y homogeneidad de la mezcla, concediendo reducir firmemente el contenido de agua de un determinado concreto.

La dosificación de las cantidades de materiales para preparar cualquier tipo de concreto generalmente es llamado como diseño de mezcla. De acuerdo a Behnam Vakhshouri y Shami Nejadi (2015) en su artículo titulado "Diseño de mezcla de hormigón ligero autocompactante", Revista Estudios de caso en materiales de



construcción – ScieceDirect, comentaron que el diseño de la mezcla y las propiedades frescas del hormigón son los puntos más críticos a controlar en relación con las características mecánicas del hormigón endurecido (p. 01).

El diseño de mezcla es un procedimiento teórico que radica en una serie de pasos que se relacionan entre sí para proporcionar las cantidades aproximadas de los insumos antes de la elaboración del concreto. Sirve para la determinación de sus cantidades relativas para producir un concreto con adecuadas propiedades de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad, y un tanto económico en la medida posible.

Deepankar Kumar Ashish y Surender Kumar Verma (2018) en su artículo “Una descripción general del diseño de mezclas de hormigón autocompactante”, Revista Concreto Estructural – WILEY, hicieron mención que en comparación con el diseño de concreto convencional, el diseño de CAC requiere la adición de materiales puzolánicos, superplastificantes y/o agentes modificadores de la viscosidad (p. 372).

El diseño de concreto autocompactante parte de la teoría y conocimientos previos de diseñar un concreto convencional, solo que con otras condiciones especiales, otros tipos de componentes y distintas cantidades que los convierte uno totalmente diferente del otro. Las propiedades del CAC, tal como la resistencia, durabilidad, contracción y reología (ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales) se pueden ver muy afectadas por los parámetros a causa de las características de los aditivos, la relación agua-cemento, el tipo y tamaño de los agregados, la composición del cemento y los métodos de diseño que existen.

Según los editores Kamal H. Khayat y Dimitri Feys (2010) en el libro “Diseño, Producción y Colocación de Hormigón Autoconsolidable” señalan que el diseño de la mezcla del SCC difiere del CVC para mejorar la fluidez, reducir el bloqueo debido a la acumulación de agregados y evitar la segregación. La cantidad de agregados gruesos en el SCC se reduce y se aumenta la viscosidad del hormigón mediante agentes modificadores de la viscosidad (VMA) o mediante el aumento de la cantidad de partículas finas en el concreto, o combinando ambos (p. 157).

El diseño de mezcla de un concreto autocompactante se distingue de uno de concreto con vibrado convencional en sus características físicas de fluidez y de la propiedad principal como la segregación. Al reducir una cierta cantidad de agregado grueso en el CAC, se logra que incremente su capacidad de viscosidad, esto se puede lograr mediante el uso de un agente químico denominado modificador de viscosidad, también a través del incremento de una cantidad considerable de agregados finos en la mezcla del concreto.

Como unidad de análisis de la investigación (edificios multifamiliares) se tuvo como redacción su correspondiente conceptualización

De acuerdo a Jeffrey Molavi y Drew Barral (2016) en su artículo titulado “Un método de adquisición de construcción para lograr la sostenibilidad en la construcción modular”, Revista Internacional Ingeniería de Procedimientos – ScienceDirect, manifestaron que muchas de las partes de un edificio son comunes entre muchos edificios, mientras que otras son exclusivas de un proyecto específico (p. 1362).

Para complementar esa idea, un edificio multifamiliar es aquel recinto estructural donde se encuentran varias unidades de vivienda una encima de otra y que albergan un determinado número de familias que conviven entre sí, pero de forma independiente en cada espacio.

Los investigadores Yimmy Silva-Urrego y Silvio Delvasto-Arjona (2020) en su artículo de investigación “Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocompactantes”, Revista Colombiana Informador Técnico – DOI, señalaron que actualmente en la construcción de edificios e infraestructura civil se ha vuelto muy común el uso de elementos prefabricados de concreto y uso del concreto autocompactante (CAC), debido a las diferentes ventajas que su uso promueve como lo son la reducción del tiempo en obra y un mayor control de calidad (p. 21).

Hoy por hoy, se construyen a nivel mundial edificios de gran altura en donde se encuentran presentes elementos de concreto prefabricado (aquellos que se producen en planta y fuera del lugar de la construcción) y también la utilización del CAC como material predominante en los elementos estructurales construidos in situ. Estos sistemas constructivos abarcan una serie de virtudes que hacen que su

uso sea oportuno y con mayor relevancia, asegurando la calidad y seguridad de la obra civil en general.

Moonsun Park, et al (2019) en su artículo titulado “Análisis probabilístico de costos de mantenimiento para viviendas multifamiliares envejecidas”, Revista internacional Sostenibilidad – MPDI, los autores explicaron que los edificios de apartamentos multifamiliares están sujetos a problemas, como la neutralización del hormigón, la corrosión del refuerzo de acero y la falla de varias instalaciones, generalmente a partir de 10 años después de la finalización (p. 01).

En el caso de los edificios multifamiliares pueden aparecer diversos daños estructurales, estéticos y funcionales después de los 10 años de su puesta en servicio. Debido a ello, se debe ejecutar el mantenimiento preventivo y correctivo de forma sistemática para hacer frente a esos posibles inconvenientes. Dichos problemas generan un costo que puede ser elevado, para evitar esto existe la solución de poder usar el concreto autocompactante como sistema constructivo idóneo para este tipo de edificaciones, ayudando a que no se presenten daños funcionales en las zonas principales del edificio, reparación de los elementos principales y reposición de las instalaciones de servicios, siempre y cuando el concreto y el proceso constructivo sean de excelente calidad.

El desarrollo de esta tesis tuvo como finalidad brindar un aporte técnico y un tanto económico por medio de una propuesta de diseño de concreto autocompactante, enfocado específicamente en la ejecución de obras de infraestructura urbana (edificios multifamiliares). Esto, con el propósito de proporcionar las consideraciones básicas y beneficios técnicos para la evaluación del uso de CAC como alternativa de solución a las necesidades de colocación y compactación del concreto en obra; además, de garantizar la durabilidad y calidad de las estructuras de concreto armado, cumpliendo con las propiedades físicas y mecánicas correspondientes en su estado fresco y endurecido, respectivamente.

Se tuvo en cuenta, que hoy en día las empresas constructoras e inmobiliarias buscan generar una reducción de costos en la realización de sus proyectos, lo que conllevó a pensar en hacer oportuno el uso de este tipo de concreto altamente fluido, ya que dentro de sus bondades está en disminuir el tiempo de vaciado

comparado con el concreto convencional compactado o vibrado tradicionalmente, permitiéndose la limitación de la mano de obra calificada, como también evitarse los gastos por temas de reparación y/o actividades de mantenimiento correctivo en elementos estructurales.

Además, el presente trabajo de investigación puso al alcance la información necesaria respecto a la elaboración de un concreto autocompactante (CAC), a través de un diseño de mezcla óptimo, de modo tal que su fluidez permita la facilidad de colocación, generando propiedades estructurales mayores y tiempo de vida útil superiores a las de un concreto convencional (CC), brindando de esa manera las condiciones de seguridad, comodidad y economía en la construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura.

Finalmente, el tema investigado en materia de diseño y propiedades del concreto autocompactante demostró un significativo aporte para el proceso de aprendizaje de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil y carreras afines.

En la presente investigación se tuvo en consideración algunos enfoques conceptuales, tales como:

ACI: Sigla del American Concrete Institute o Instituto Americano del Concreto. Es una organización sin ánimo de lucro de los EE. UU que desarrolla estándares, normas y recomendaciones técnicas con referencia al concreto reforzado.

Aditivo: Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a este antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades.

Aditivo superplastificante: Es un aditivo líquido, reductor de agua de alto rango, de última tecnología a base de polycarboxilatos. Desarrollado para concretos que requieran alta resistencia, durabilidad y diferentes niveles de trabajabilidad.

Agregado: Material granular, de origen natural o artificial, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico.

ASTM: Sigla del American Society for Testing and Materials o Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. Es la mayor organización científica y técnica para el

establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas y servicios.

**Autocompactabilidad:** Es la propiedad que presentan algunos hormigones de consistencia fluida y viscosa de compactarse sin necesidad de aportación de energía (vibración), rellenando los encofrados y discurriendo entre las armaduras.

**CAC:** Siglas denominadas para referirse al concreto autocompactante.

**CC:** Siglas denominadas para referirse al concreto convencional.

**Concreto:** Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos.

**Concreto Autocompactante:** También llamado autoconsolidante o autonivelante, que en estado fresco puede fluir al rededor del acero de refuerzo y consolidarse en el encofrado bajo su propio peso sin presentar segregación y exudación.

**Diseño de mezcla:** Es la selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, con la finalidad de obtener un producto de calidad que cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador.

**Durabilidad:** Es la habilidad del concreto para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

**EMDL:** Edificaciones de muros de ductilidad limitada. Sistema estructural empleado en edificios multifamiliares. Dicho sistema consiste en losas y muros portantes delgados de concreto armado de 10 y 12 cm de espesor.

**EFNARC:** Sigla del European Federation of National Associations Representing producers and applicators of specialist building products for Concrete. Es una asociación de expertos en construcción y sistemas de hormigón, fundada por cinco naciones de comercio de la industria en 1989.

**Fluidez:** Es una medida de la consistencia de la mezcla de concreto expresada por medio de un instrumento metálico conocido como Cono de Abrams que se realiza en su estado fresco.

Hormigón: También conocido como concreto, es aquel material de construcción formado por una mezcla de cemento, áridos (arena y grava), más agua y algunos aditivo en unas determinadas proporciones.

Propiedad física: Es aquella que se basa principalmente en la estructura del objeto, sustancia o materia, que es visible y medible.

Propiedad mecánica: Es aquella en que los sólidos se manifiestan cuando se les aplica una fuerza externa. Esta relacionado con la capacidad de los mismos para transmitir y resistir acciones de cargas.

Relación agua-cemento: Es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento existentes en el concreto fresco. Se calcula dividiendo la masa del agua por la del cemento contenidas en un volumen de metro cúbico de concreto.

Resistencia a la compresión: Es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ .

Segregación: Propiedad dañina del concreto. Es la separación de sus componentes una vez mezclado provocando que la masa en estado fresco presente una distribución no uniforme de sus partículas.

Tecnología del Concreto: Es el campo de la Ingeniería Civil que abarca el conjunto de conocimientos científicos orientados hacia la aplicación técnica, práctica y eficiente del concreto en la construcción.

Trabajabilidad: Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado; sin segregación ni exudación durante estas operaciones.

Viscosidad: Es definido por la fricción entre las capas de la pasta de cemento. Se observa visualmente por el rango en que se extiende el concreto.

### III. METODOLOGÍA.

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación.

El tipo de investigación que se utilizó es de tipo descriptiva. De acuerdo a Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio en su libro “Metodología de la investigación” 6.ª edición (2014) definieron que un estudio de tipo descriptivo busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis (p. 92).

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo es definido como aquella investigación que utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías, según los autores Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014, p. 04).

La presente tesis fue de diseño no experimental - transversal, ya que no existió manipulación expresa de las variables. Y transversal, ya que se realizó en un tiempo único y determinado.

#### 3.2. Variables y operacionalización.

##### 3.2.1 Variable Independiente:

- Diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares.

**Definición conceptual:** los concretos autocompactantes presentan diseños de mezcla especiales donde se manejan agregados específicamente gradados y aditivos como reductores de agua de alto rango para aumentar la fluidez y modificadores de viscosidad que controlan la segregación y la exudación de la mezcla. (Euclid Group Toxemen, 2017).

**Definición operacional:** se elaboró un diseño de mezcla siguiendo los criterios de las normas vigentes y se desarrollaron ensayos de laboratorio para verificar su cumplimiento.

**Dimensiones:**

- Dosificación óptima.
- Propiedades físicas.
- Propiedades mecánicas.
- Rentabilidad.

**Indicadores:**

- Diseño de mezcla.
- Autocompactabilidad.
- Resistencia.
- Presupuesto – Análisis de Precios Unitarios.

**Escala:**

- Continua.
- Intervalo.
- Intervalo.
- Proporcional.

**3.3. Población, Muestra y Muestreo.****3.3.1 Población:**

- Diseño de Mezclas de Concreto.

La población de estudio es un conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados, de acuerdo a los autores Jesús Arias, Miguel Villasis y María Miranda (2016, p. 201).

**3.2.2 Muestra:**

- Diseño de Concreto Autocompactante.

Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de



antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población, según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014, p.173).

### **3.2.3 Muestreo:**

- No probabilístico. De tipo intencional o de juicio.

Según Tamara Otzen y Carlos Manterola (2017) manifestaron que el muestreo tiene por objetivo estudiar las relaciones existentes entre la distribución de una variable en la población blanco y la distribución de esta variable en la muestra a estudio (p. 227).

De acuerdo a Samar Rah (2017) definieron que el muestreo de juicio es un proceso en el que el investigador utiliza su propio juicio para seleccionar un grupo de personas que conocen el problema (p. 03).

### **3.2.4 Unidad de Análisis:**

- Edificios multifamiliares de la ciudad de Piura.

De acuerdo a los investigadores Darío Picón y Yanina Melian (2014) en su artículo “La unidad de análisis en la problemática enseñanza-aprendizaje”, Informe Científico Técnico – UNPA, señalaron a la unidad de análisis como una estructura categórica a partir de la cual podemos responder a las preguntas formuladas a un problema práctico, así como a las preguntas de investigación (p. 103).

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

### **3.4.1 Observación:**

Se utilizó la técnica de observación de laboratorio con el fin de obtener los datos posibles al momento del desarrollo de los ensayos, donde se evaluó los comportamientos y las características que presentaron la materia de estudio (concreto autocompactante). Se tuvo como instrumento establecido la ficha de registro de datos.

A través de Albine Moser y Irene Korstjens (2018) en su artículo titulado “Serie: Orientación práctica a la investigación cualitativa. Parte 3: Muestreo, recopilación y análisis de datos”, Revista Europea de Práctica General, pusieron de conocimiento

que los métodos de recopilación de datos más utilizados son la observación participante, las entrevistas y las discusiones de grupos focales. La observación participante es un método de recopilación de datos mediante la participación y la observación de un grupo o individuos durante un período prolongado (p. 12).

#### **3.4.2 Análisis de Documentos:**

Se utilizó el análisis documental como técnica de recolección de datos, con el fin de conocer las normas establecidas respecto con los ensayos a desarrollarse. Además, se analizaron documentos relacionados con el tema de investigación para obtener los conocimientos básicos a los que se rigieron en laboratorio. Se hizo uso de guía documental.

Según Ann RJ Briggs, Marianne Coleman y Marlene Morrison en su libro “Métodos de investigación en liderazgo y gestión educativa” 3.<sup>a</sup> edición (2012) señalaron que el análisis de documentos implica la identificación sistemática de temas subyacentes en los materiales, analizar estos temas y proporcionar una interpretación que argumenta un argumento teórico (p. 302).

#### **3.4.3 Entrevista:**

Se hizo uso de una entrevista via correo, para conseguir información importante y conocimientos de ingenieros especialistas en la rama de la “Tecnología del Concreto”. Se valió del instrumento cuestionario que fue diseñado de forma sencilla, clara y directa con relación a los objetivos de la investigación; para ello, se elaboraron interrogantes angostamente ligadas al tema de estudio.

Según Carlos Sabino (2014) en el libro “El proceso de investigación”, comentó que la entrevista, que en esencia consiste en una interacción entre dos personas, una de las cuales; el investigador, formula determinadas preguntas relativas al tema en investigación, mientras la otra; el investigado, proporciona verbalmente o por escrito la información que le es solicitada (p. 111).

#### **3.5. Procedimientos.**

Primero, se realizó la elaboración del diseño de mezcla. Para eso, previamente se hizo una recopilación de información relevante que se encontró disponible en el medio, se seleccionó y fue tomada en cuenta para el desarrollo de la propuesta de

diseño de concreto autocompactante. Consistió en el agrupamiento de criterios, normas y secuencia de ensayos de laboratorio para poder lograrse una óptima dosificación de la mezcla, una adecuada distribución del cemento, de los agregados, el agua y los aditivos empleados en la mezcla del concreto autocompactante, que satisficieron el cumplimiento de los lineamientos técnicos estipulados según las normativas nacionales e internacionales vigentes.

Segundo, se tuvo la adquisición de los insumos. Que abarcó en el suministro de los materiales, equipos y herramientas necesarios que fueron utilizados en el desarrollo de la investigación. En lo relacionado al aditivo superplastificante usado, este reunió con las características debidas en el diseño del concreto autocompactante.

Luego, se procedió a la selección de los instrumentos utilizados. La selección de los instrumento dependió del tipo de ensayo realizado, se contó con equipos fabricados que cumplen con lo estandarizado, asegurando de ese modo la confiabilidad de los resultados.

Posteriormente a la elaboración del diseño de mezcla, se llevaron a cabo una serie de ensayos de pruebas en laboratorio con la finalidad de encontrar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño.

Después, se desarrollaron distintos ensayos de laboratorio que consitió en la caraterización de las propiedades de autocompactibilidad de la mezcla del concreto diseñado. Consecuentemente, los resultados obtenidos de los diferentes ensayos desarrollados fueron analizados y observados directamente, y fueron establecidos de manera acertada donde se consiguieron la determinación de los objetivos propuestos de la investigación.

Por último, se elaboró una evaluación económica en razón del diseño de mezcla y los análisis de costos unitarios de los recursos imprescindible en la construcción de una partida de edificios multifamiliares (muros de ductilidad limitada), de tal manera que se conoció la rentabilidad del uso del concreto autocompactante (CAC) en comparación con el uso del concreto convencional (CC).

Finalmente, se efectuó una entrevista enviada por correo electrónico, dirigida a tres ingenieros conocedores del concreto, esto fue posible por medio de un cuestionario.

### **3.6. Método de análisis de datos:**

Para el análisis de los datos se llevó a la práctica de laboratorio ensayos físicos y mecánicos a la mezcla de concreto autocompactante. También, en el presente trabajo de investigación se procedió de manera práctica y acertada al análisis de algunas de las propiedades y características del concreto autocompactante evaluados en la propuesta de diseño. Por lo consiguiente, se partió de la idea de una mezcla de concreto convencional para llegar a elaborar un diseño de mezcla de concreto autocompactante.

### **3.7. Aspectos éticos:**

El presente trabajo investigativo se sostuvo en obedecer el principio de ética, demostrando la veracidad de los datos, así como respetabilidad de la propiedad científica por medio del uso de la norma internacional para citar y referenciar las informaciones adquiridas

Durante el proceso de investigación, el autor asumió la responsabilidad de demostrar los aspectos éticos siguientes:

- Honestidad, razón a la fidelidad de las afirmaciones captadas y a la información citada en el trabajo.
- Discreción, en referencia a no descubrir la identidad de las personas que ofrecieron material informativo.
- Decoro a la autoría, se garantizó con citar y consignar a los autores consultados de donde sus juicios textuales fueron citados debidamente, trabajo que trago consigo el respeto a las reglas internacionales (ISO) para la redacción de

#### **IV. RESULTADOS.**

En la búsqueda del objetivo general de la investigación “Proponer el diseño de mezcla de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021” se desarrollaron una secuencia de procedimientos por cada objetivo especificado planteado, de tal manera que se consiguieron los resultados correspondientes para cada uno.

Se examinó el primer objetivo específico, el cual fue “Determinar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”. En donde se llevó a cabo el diseño y elaboración de la mezcla de concreto, la cual trajo consigo el previo análisis para diseñar el CAC; asimismo, se ejecutaron una serie de pruebas de laboratorio encontrándose de esa manera la dosificación idónea para la propuesta de la investigación y según el tipo de construcción enmarcada.

##### **- DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.**

En el proceso del diseño se tomaron en cuenta las recomendaciones del Comité ACI 237R-07, así como también las directrices y especificaciones de la EFNARC.

Para la elaboración de la mezcla, se emplearon agregados provenientes de canteras de la región Piura, los cuales fueron sometidos a ensayos de control de calidad. Además; se utilizaron aditivos de última tecnología de una marca reconocida.

Del mismo modo, se realizaron distintas tandas de pruebas hechas en laboratorio con la finalidad de conseguirse los componentes adecuados del diseño de mezcla, y dar cumplimiento con el primer objetivo específico de la investigación.

Una vez que se encontró la adecuada dosificación para la elaboración del CAC, se procedió a la descripción del procedimiento del diseño de mezcla.

Se tuvo como primer parámetro de diseño, la relación agua-cemento de 0.45, para un concreto con una resistencia a la compresión ( $f'c$ ) de 210 Kg/cm<sup>2</sup>, con la intención de obtenerse una dosificación conveniente para muros de ductilidad limitada de edificios multifamiliares de la ciudad de Piura.

**Tabla 1. Criterios de diseño.**

| PARÁMETROS                         | ACI 237-R   | EFNARC      |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Relación w/finos (en volumen)      | -           | 0.80 - 1.10 |
| Relación a/mc (en peso)            | 0.32 - 0.45 | 0.33 - 0.45 |
| Contenido total de finos (Kg/m3)   | 386 - 485   | 400 - 600   |
| Agregado grueso (% en volumen)     | 28 - 32     | 28 - 35     |
| Agua (L/m3)                        | -           | < 200       |
| Fracción en pasta (% en volumen)   | 34 - 40     | -           |
| Fracción en mortero (% en volumen) | 68 - 72     | -           |
| Cantidad de cemento (Kg/m3)        | 386 - 475   | 350-450     |

Fuente: Elaboración propia.

Se hizo una recopilación de información importante mostrada en la tabla anterior, sobre los parámetros básicos para diseñar una mezcla de concreto autocompactante. Dichos criterios están regidos en la norma del American Concrete Institute - ACI, informado por el Comité 237, y por las directrices europeas brindadas por la Asociación de expertos en construcción y sistemas de hormigón - EFNARC. De igual importancia, de modo previo se determinaron las propiedades de cada uno de los recursos utilizados en el diseño de mezcla, resumidos en la tabla siguiente.

**Tabla 2. Resumen de la caracterización de los materiales.**

| PROPIEDADES DE LOS MATERIALES    |                 |                 |                 |                |              |           |           |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|-----------|-----------|
| Descripción                      | Agregado fino 1 | Agregado fino 2 | Agregado grueso | Cemento tipo I | Agua potable | Aditivo 1 | Aditivo 2 |
| Peso específico de masa (Kg/m3)  | 2,680.00        | 2,610.00        | 2,750.00        | 3,080.00       | 1,000.00     | 1,100.00  | 1,100.00  |
| Peso unitario suelto (Kg/m3)     | 1,583.00        | 1,475.00        | 1,576.00        | ---            | ---          | ---       | ---       |
| Peso unitario compactado (Kg/m3) | 1,716.00        | 1,542.00        | 1,635.00        | ---            | ---          | ---       | ---       |
| Contenido de humedad (%)         | 0.90            | 2.00            | 0.50            | ---            | ---          | ---       | ---       |
| Porcentaje de absorción (%)      | 0.90            | 1.40            | 1.50            | ---            | ---          | ---       | ---       |
| Tamaño máximo nominal (")        | ---             | ---             | 3/4             | ---            | ---          | ---       | ---       |
| Módulo de finura                 | 1.40            | 3.22            | 6.79            | ---            | ---          | ---       | ---       |

Fuente: Laboratorio DINO-Pacasmayo, Planta Piura.

## PASOS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.

### PASO N.º 1: Cálculo de la resistencia promedio de diseño requerida ( $f'_{cr}$ ):

**Tabla 3.** Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.

| Resistencia especificada a la compresión ( $f'c$ ), Kg/cm <sup>2</sup> | Resistencia promedio requerida a la compresión ( $f'_{cr}$ ), Kg/cm <sup>2</sup> |
|--|--|
| $f'c \leq 350$ Kg/cm <sup>2</sup>                                      | Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2)                     |
|  | $f'_{cr} = f'c + 1.34S_s$ (5-1)  |
|  | $f'_{cr} = f'c + 2.33S_s - 35$ (5-2)   |
| $f'c > 350$ Kg/cm <sup>2</sup>   | Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-3)                     |
|  | $f'_{cr} = f'c + 1.34S_s$ (5-1)  |
|  | $f'_{cr} = 0.90f'c + 2.33S_s$ (5-3)  |

Fuente: ACI 318 / NTP. E-060.

A través de la tabla se determinó la resistencia promedio a la compresión requerida " $f'_{cr}$ ", utilizada como base para la dosificación de la mezcla del concreto, empleando una desviación estándar " $S_s$ ". Cabe recalcar, que debido a la compañía productora de concreto, en donde se llevó a cabo el desarrollo de la investigación, dispone de registros de ensayos de resistencia en obra para el cómputo de " $S_s$ "; por ello, se trabajó con una desviación estándar del valor 20.

Por otra parte, la resistencia especificada a la compresión " $f'c$ " escogida para la propuesta de diseño fue de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

Después de esto, los datos de ambas resistencias fueron reemplazadas en las ecuaciones de la primera condición, cuyos resultados se muestran a continuación:

$$f'_{cr} = 210 + 1.34(20) = 236.8 \equiv 237 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f'_{cr} = 210 + 2.33(20) - 35 = 221.6 \equiv 222 \text{ Kg/cm}^2$$

En conclusión, se procedió a la selección del mayor valor obtenido, tal cual al criterio manifestado por la tabla 3, en donde la resistencia de diseño requerida fue de:

$$f'_{cr} = 237 \text{ Kg/cm}^2.$$

## PASO N.º 2: Cálculo de la relación agua-cemento (a/c):

Después del cálculo de la resistencia promedio requerida a la compresión del concreto, se determinó a hallar la relación “a/c”. Del mismo modo, se valió de la tabla proporcionada por la norma americana ACI 211. El cual se muestra a continuación:

**Tabla 4.** Relación agua/cemento y Resistencia a la compresión del concreto.

| Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días | Relación Agua-Cemento (a/c) por peso |                            |
|---|--------------------------------------|----------------------------|
|   | Concreto Sin Aire incluido           | Concreto Con Aire incluido |
| 420   | 0.41                                 | ...                        |
| 350   | 0.48                                 | 0.40                       |
| 280   | 0.57                                 | 0.48                       |
| 210   | 0.68                                 | 0.59                       |
| 140   | 0.82                                 | 0.74                       |

Fuente: ACI 211.

Haciendo referencia al dato del Paso N.º 1, cuyo valor del  $f'_{cr}$  requerido fue de 237 Kg/cm<sup>2</sup>; sin embargo, dicha resistencia no aparece dentro de los datos de la Tabla mostrada.

Por lo tanto, para el cálculo real de la relación agua-cemento, se debió efectuar una interpolación, cuya operación fue la siguiente:

$$\left[ \begin{array}{l} 280 - 0.57 \\ 237 - x \text{ (a/c)} \\ 210 - 0.68 \end{array} \right]$$

$$\frac{x - 0.57}{237 - 280} = \frac{0.68 - 0.57}{210 - 280}$$

$$x = \frac{(237 - 280)(0.68 - 0.57)}{(210 - 280)} + 0.57$$

$$x = 0.068 + 0.57$$

$$a/c = 0.638 \equiv 0.64$$



El valor resultante de la interpolación fue de 0.64. No obstante, para la elaboración de la mezcla de CAC se debió trabajar con una mayor fluidez y por ende utilizar bajas relaciones agua-cemento. Los parámetros para relaciones a/mc (en peso) son facilitados por el ACI 237R-07 y la EFNARC, mostrados en la Tabla 1 (Criterios de diseño).

Entonces, se seleccionó el valor más conveniente, cuya relación agua-cemento que se trabajó fue:

$$a/c = 0.45$$

En resumen, para la presente investigación se optó por trabajar con los siguientes parámetros básicos de diseño:

- Relación  $a/c = 0.45$
- Resistencia de diseño requerido  $f'_{cr} = 237 \text{ Kg/cm}^2$ .

### **PASO N.º 3: Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso:**

Se escogió entre los diferentes husos granulométricos, al tamaño adecuado del agregado grueso para la elaboración de la mezcla de CAC. Según recomendaciones en la ejecución de diseños de mezclas y pruebas hechas en laboratorio, se determinó, por criterio, utilizar el tamaño máximo nominal de 3/4". Teniendo el agregado las siguientes características:

- Tipo: Piedra chancada.
- TMN: 3/4" (19 mm)
- Huso: 67
- Procedencia: Cantera de Sojo.

### **PASO N.º 4: Selección del escurrimiento (slump flow):**

Los objetivos del flujo o asentamiento fueron establecidos con base a las características de los elementos estructurales de los edificios multifamiliares de la ciudad de Piura.

La selección se hizo de acuerdo a la investigación de *Daczko y Constantiner*, que se encuentra estipulado en la norma ACI 237R y mostrado a continuación:

**Tabla 5. Objetivos de asentamiento.**

| CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS     |       | FLUJO DE ASENTAMIENTO (MM) |           |       |
|--------------------------------------|-------|----------------------------|-----------|-------|
|                                      |       | < 550                      | 550 - 650 | > 650 |
| Nivel del refuerzo                   | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Complejidad de la forma del elemento | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Elementos profundos                  | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Importancia del acabado superficial  | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Longitud del elemento                | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Espesor de pared                     | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Contenido de agregado grueso         | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |
| Energía de colocación                | Bajo  |                            |           |       |
|                                      | Medio |                            |           |       |
|                                      | Alto  |                            |           |       |

Fuente: ACI 237R-07.

Las áreas sombreadas representan un potencial problema y por lo tanto deben de evitarse, dichos objetivos fueron escogidos sobre las áreas mostradas en blanco.

Según la unidad de análisis de la investigación, que fueron los edificios multifamiliares de la ciudad de Piura, cuyas estructuras son altamente armadas, se consideró un nivel medio de importancia del acabado superficial, una mediana longitud de los elementos estructurales (placas, losas) y un espesor reducido de los muros (Sistema de Muros de Ductilidad Limitada). Por consiguiente, se consideró un flujo de asentamiento o “slump flow” comprendido entre 550 a 650 mm.

Sin embargo, para fines convenientes del diseño de mezcla, se estableció una fluidez de 600 mm.

*Flujo de asentamiento determinado = 600 mm.*

**PASO N.º 5: Selección del contenido de material cementicio:**

**Tabla 6.** Rangos de contenido de cemento sugeridos.

| DESCRIPCIÓN                               | FLUJO DE ASENTAMIENTO (MM) |           |       |
|---|----------------------------|-----------|-------|
|   | < 550                      | 550 - 650 | > 650 |
| Contenido de cemento (Kg/m <sup>3</sup> ) | 355 - 385                  | 385 - 445 | > 458 |

Fuente: ACI 237R-07.

Con respecto al Paso n.º 4, que se determinó un Flujo de asentamiento o Slump flow entre 550 mm a 650 mm; y, dados los rangos mostrados en la tabla anterior, cuyas cantidades de material cementicio se encuentran en una relación desde 385 hasta 445 Kg/m<sup>3</sup>.

Para los fines de la investigación se optó por conveniente trabajar con un contenido de cemento de 400 Kg/m<sup>3</sup>, cantidad que se encuentra dentro del rango sugerido.

Por consiguiente, se calculó la cantidad de bolsas de cemento por 1 metro cúbico:

$$\text{Cantidad de cemento} = 400 \text{ Kg/m}^3.$$

$$\text{Por bolsas} = \frac{400 \text{ Kg/m}^3}{42.5 \text{ Kg/m}^3} = 9.41$$

$$\text{Cantidad} = 9.5 \text{ bolsas/m}^3.$$

**PASO N.º 6: Selección del contenido de agua:**

Se asumió una cantidad adecuada de agua que nos facilite una relación “a/c” efectiva de 0.45; y en defecto, para una cantidad de cemento de 400 Kg/m<sup>3</sup>. Por lo que, se optó por trabajar con el siguiente contenido de agua:

$$\text{Relación a/c} = 0.45$$

$$\text{Cant. Cemento} = 400 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cant. agua} = \text{cant. cemento} \times \text{relación a/c}$$

$$\text{Cantidad de agua} = 180 \text{ L/m}^3.$$

### **PASO N.º 7: Selección del contenido de aditivos.**

Se efectuó la cantidad apropiada de los dos aditivos que se emplearon en la elaboración de la mezcla del CAC. Se tuvo en consideración la ficha técnica y las propiedades de los dos productos químicos utilizados, los cuales se describen a continuación:

- Aditivo Superplastificante (1): NEOPLAST 47 PC.

Es un aditivo reductor de agua de alto rango, diseñado con policarboxilatos de alta tecnología, específicamente para dar mantención controlada, alta fluidez y reducción de agua con el empleo de una menor dosis.

Fuente: QSI-Perú.

- Porcentaje utilizado de diseño = 1.10 %

$$\text{Aditivo por el peso del cemento} = \frac{1.10 \% \times 400 \text{ Kg/m}^3}{100 \%} = 4.4 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de aditivo efectivo} = 4.4 \text{ Kg/m}^3.$$

- Aditivo Reductor de Agua y Superplastificante de Alto Desempeño con trabajabilidad extendida (2): NEOPLAST 50 EXT.

Es un aditivo reductor de agua de alto rango, diseñado con policarboxilatos de última generación que permiten incrementar la plasticidad y mantención de mezclas de concreto de baja relación agua/cemento. Su alto poder dispersante permite mejorar la mantención de la mezcla e incrementar las resistencias a compresión a edades tempranas.

Fuente: QSI-Perú.

- Porcentaje utilizado de diseño: 0.40 %

$$\text{Aditivo por el peso del cemento} = \frac{0.40 \% \times 400 \text{ Kg/m}^3}{100 \%} = 1.6 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Contenido de aditivo efectivo} = 1.60 \text{ Kg/m}^3.$$

### **PASO N.º 8: Cálculo del volumen de la pasta:**

Se determinó el valor del volumen de la pasta en el concreto con base a las cantidades de los distintos materiales que componen la mezcla de concreto autocompactante. En el siguiente cuadro se resumió el contenido de material por un metro cúbico (1 m<sup>3</sup>).

**Tabla 7.** *Contenido de pasta en volumen.*

| <b>DESCRIPCIÓN</b>      | <b>CANTIDAD</b> | <b>UNIDAD</b>        |
|-------------------------|-----------------|----------------------|
| Cemento Portland tipo I | 0.130           | m <sup>3</sup>       |
| Agua potable            | 0.180           | m <sup>3</sup>       |
| Aditivo 1               | 0.004           | m <sup>3</sup>       |
| Aditivo 2               | 0.001           | m <sup>3</sup>       |
| <b>VOLUMEN DE PASTA</b> | <b>0.315</b>    | <b>M<sup>3</sup></b> |

Fuente: Elaboración propia.

*Cantidad de volumen de la pasta en la mezcla = 0.315 m<sup>3</sup>.*

### **PASO N.º 9: Cálculo del volumen de agregados en la mezcla:**

Cabe señalar que se trabajó con la combinación de agregados finos (arena gruesa más arena fina). Debido que, las mezclas de concreto autocompactante se caracterizan por la condición de contener una cierta cantidad de finos, para así lograr la particularidad de ser fluidas, cohesivas y evitar la segregación.

Luego de que se halló el volumen de la pasta, se efectuó el cálculo correspondiente total del agregado presente en la mezcla del concreto autocompactante.

$$Vol. = 1 m^3 - 0.315 m^3 = 0.685 m^3$$

*Volumen de agregados en la mezcla = 0.685 m<sup>3</sup>.*

### **PASO N.º 10: Contenido del volumen absoluto de agregado fino y agregado grueso:**

Se estableció la proporción de los agregados que fueron utilizados en la elaboración del diseño de mezcla. En donde, las incidencias globales e individuales de cada uno de ellos se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 8.** *Proporciones globales de los agregados en la mezcla.*

| AGREGADOS       | PROPORCIÓN |
|-----------------|------------|
| Agregado fino   | 60 %       |
| Agregado grueso | 40 %       |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** *Proporciones individuales de los agregados en la mezcla.*

| ÁGREGADOS                           | PROPORCIÓN |
|-------------------------------------|------------|
| Agregado fino 1 –<br>Arena Congora  | 37 %       |
| Agregado fino 2 –<br>Arena Solumbre | 63%        |
| Agregado grueso –<br>Piedra H67     | 100 %      |

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, se procedió a efectuar los volúmenes de los agregados con base al dato obtenido del volumen de agregados presentes en la mezcla del concreto autocompactante, descrito en el Paso n.º 9.

Primero, se determinaron los volúmenes en forma global de acuerdo a la proporción de ambos agregados.

**Tabla 10.** *Volumen global de los agregados en la mezcla de concreto.*

| ÁRIDOS          | PROPORCIÓN | VOL. TOTAL<br>(1M3) | VOLÚMENES<br>ABSOLUTOS<br>(M3) |
|-----------------|------------|---------------------|--------------------------------|
| Agregado fino   | 60%        | 0.685               | 0.411                          |
| Agregado grueso | 40%        | 0.685               | 0.274                          |

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, se establecieron los volúmenes absolutos de cada uno de los agregados intervinientes en la elaboración del diseño de mezcla del concreto autocompactante.

**Tabla 11.** Volumen individual de los agregados en la mezcla de concreto.

| ÁRIDOS                           | PROPORCIÓN | VOL. TOTAL (1M3) | VOLÚMENES ABSOLUTOS (M3) |
|----------------------------------|------------|------------------|--------------------------|
| Agregado fino 1 - Arena Congora  | 37%        | 0.411            | 0.152                    |
| Agregado fino 2 - Arena Solumbre | 63%        | 0.411            | 0.260                    |
| Agregado grueso - Piedra Huso 67 | 40%        | 0.685            | 0.274                    |

Fuente: Elaboración propia.

### **PASO N.º 11: Proporción de materiales en la mezcla:**

Se determinó el volumen por unidad (1 m<sup>3</sup>) de los distintos materiales que se emplearon en el diseño de mezcla. Cada material en condición seca fue fraccionado por su peso específico correspondiente. Y de esa manera se consiguió el valor de su volumen unitario.

**Tabla 12.** Resumen de proporciones de los materiales del diseño en estado seco.

| MATERIAL                         | PESO SECO (KG) | PESO ESPECÍFICO (KG/M3) | VOLUMEN UNITARIO (M3) |
|----------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------|
| Cemento - Tipo I                 | 400.00         | 3080.00                 | 0.130                 |
| Agregado fino 1 - Arena Congora  | 407.36         | 2680.00                 | 0.152                 |
| Agregado fino 2 - Arena Solumbre | 678.60         | 2610.00                 | 0.260                 |
| Agregado grueso - Piedra Huso 67 | 753.50         | 2750.00                 | 0.274                 |
| Agua - Potable                   | 180.00         | 1000.00                 | 0.180                 |
| Aditivo 1 - Neoplast 47 PC       | 4.40           | 1100.00                 | 0.004                 |
| Aditivo 2 - Neoplast 50 EXT      | 1.60           | 1100.00                 | 0.001                 |

Fuente: Elaboración propia.

### **PASO N.º 12: Corrección por humedad.**

Las cantidades de los agregados en estado seco del metro cúbico de concreto fueron corregidas sujeto a sus condiciones de humedades del agregado fino y del agregado grueso.

Asimismo, el agua se corrigió conforme al aporte de este en la mezcla del concreto. Los valores de los componentes se detallan a continuación:

- Agregado fino 1 (seco) = 407.36 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado fino 2 (seco) = 678.60 Kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso (seco) = 753.50 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua = 180.00 Kg/m<sup>3</sup>

❖ Pesos Saturados Superficialmente Secos (SSS):

- $A. Fino 1 = 407.36 \left(1 + \frac{0.90}{100}\right) = 411.03 Kg$
- $A. Fino 2 = 678.60 \left(1 + \frac{1.40}{100}\right) = 688.10 Kg$
- $A. Grueso = 753.50 \left(1 + \frac{1.50}{100}\right) = 764.80 Kg$

❖ Pesos Húmedos:

- $A. Fino 1 = 407.36 \left(1 + \frac{0.90}{100}\right) = 411.03 Kg$
- $A. Fino 2 = 678.60 \left(1 + \frac{2.00}{100}\right) = 692.17 Kg$
- $A. Grueso = 753.50 \left(1 + \frac{0.50}{100}\right) = 757.27 Kg$

❖ Agua corregida:

- H<sub>2</sub>O = agua (reducida por aditivos) – aporte
- $H_2O = 177 - \left[407.36 \left(\frac{0.90-0.90}{100}\right) + 678.60 \left(\frac{2.00-1.40}{100}\right) + 753.50 \left(\frac{0.50-1.50}{100}\right)\right]$
- $H_2O = 177 - [-3.463]$
- $H_2O = 180.463 L$

❖ Valores corregidos:

- Cemento = 400.00 kg/m<sup>3</sup>
- Agua = 180.46 L/m<sup>3</sup>
- Agregado fino 1 = 411.03 kg/m<sup>3</sup>
- Agregado fino 2 = 692.17 Kg/m<sup>3</sup>



- Agregado grueso = 757.27 kg/m<sup>3</sup>

**PASO N.º 13: Proporción en peso de los materiales de la mezcla:**

Posteriormente, se llegó a la determinación de la dosificación en peso de los distintos materiales del diseño de mezcla elaborado del concreto autocompactante.

**Tabla 13.** *Dosificaciones en peso de los materiales de la mezcla.*

| DESCRIPCIÓN     | PESO DE DISEÑO (KG) | DOSIFICACIÓN EN PESO (KG) |
|-----------------|---------------------|---------------------------|
| Cemento tipo I  | 400.00              | 1.000                     |
| Agregado fino 1 | 411.03              | 1.028                     |
| Agregado fino 2 | 692.17              | 1.730                     |
| Agregado grueso | 757.27              | 1.893                     |
| Agua potable    | 180.46              | 0.451                     |
| Aditivo 1       | 4.40                | 0.011                     |
| Aditivo 2       | 1.60                | 0.004                     |

Fuente: Elaboración propia.

**PASO N.º 14: Dosificación en volumen de los materiales de la mezcla.**

Las cantidades en peso calculadas fueron multiplicadas por una bolsa de cemento, cuyo contenido neto es de 42.5 Kg.

- Cemento =  $1.000 \times 42.5 = 42.5$  Kg
- Agregado fino 1 =  $1.028 \times 42.5 = 43.69$  Kg
- Agregado fino 2 =  $1.730 \times 42.5 = 73.53$  Kg
- Agregado grueso =  $1.893 \times 42.5 = 80.45$  Kg
- Agua =  $0.451 \times 42.5 = 19.17$  Kg
- Aditivo 1 =  $0.011 \times 42.5 = 0.47$  Kg
- Aditivo 2 =  $0.004 \times 42.5 = 0.17$  Kg

❖ **Peso Unitario Seco Húmedo (PUSH).**

- Agregado fino 1 =  $1,583 \left(1 + \frac{0.90}{100}\right) = 1,597.25$  Kg/m<sup>3</sup>

- Agregado fino 2 =  $1,475 \left(1 + \frac{2.00}{100}\right) = 1,504.50 \text{ Kg/m}^3$
- Agregado grueso =  $1,576 \left(1 + \frac{0.50}{100}\right) = 1,583.88 \text{ Kg/m}^3$

❖ Peso Unitario Seco Húmedo (PUSH) por 1 pie<sup>3</sup>.

- Agregado fino 1 =  $1,597.25 \div 35.31 = 45.23 \text{ pie}^3$
- Agregado fino 2 =  $1,504.50 \div 35.31 = 42.61 \text{ pie}^3$
- Agregado grueso =  $1,583.88 \div 35.31 = 44.86 \text{ pie}^3$

❖ Volúmenes (m<sup>3</sup>) por bolsa de cemento.

Cemento : Arena Fina : Arena Gruesa : Piedra : Agua : Aditivo 1 : Aditivo 2

$$1 : \frac{43.69}{45.23} : \frac{73.53}{42.61} : \frac{80.45}{44.86} : 19.17 : 0.47 : 0.17$$

$$1.00 : 0.97 : 1.73 : 1.79 : 19.17 : 0.43 : 0.17$$

#### PASO N.º 15: Final resumen de la cantidad de los materiales en el concreto:

Por último, se llegó a la determinación final de la proporción de cada material que fue empleado en el diseño de la mezcla de concreto autocompactante.

**Tabla 14.** Resumen de las dosificaciones del diseño de mezcla.

| MATERIALES                  | PESO SECO (KG/M3) | VOL. ABSOLUTO (M3) | PESO SSS (KG/M3) | PESO HÚMEDO (KG/M3) | TANDA PRUEBA |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------------------|--------------|
|                             |                   |                    |                  |                     | 25 L         |
| Cemento tipo I              | 400.00            | 0.130              | 400.00           | 400.00              | 10.00        |
| Agua potable                | 180.00            | 0.180              | 177.00           | 180.46              | 4.51         |
| Arena Fina - Congora        | 407.36            | 0.152              | 411.03           | 411.03              | 10.28        |
| Arena Gruesa - Solumbre     | 678.60            | 0.260              | 688.10           | 692.17              | 17.30        |
| Piedra - Huso 67            | 753.50            | 0.274              | 764.80           | 757.27              | 18.93        |
| Aditivo 1 - Neoplast 47 PC  | 4.40              | 0.004              | 4.40             | 4.40                | 0.11         |
| Aditivo 2 - Neoplast 50 EXT | 1.60              | 0.001              | 1.60             | 1.60                | 0.04         |
| <b>TOTAL</b>                | <b>2425.46</b>    | <b>1.00</b>        | <b>2446.93</b>   | <b>2446.93</b>      | <b>61.17</b> |

Fuente: Elaboración propia.

Se desarrolló el segundo objetivo específico, el cual consistió en “Analizar los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

Se llevó a cabo el ensayo de fluidez o escurrimiento, cuya finalidad fue evaluar la capacidad de llenado de la mezcla. Dicho ensayo se realizó de modo similar a la prueba de slump o asentamiento del concreto convencional, utilizándose el Cono de Abrams, pero de forma invertida. La particularidad de este ensayo es que no se mide la distancia de caída verticalmente, sino que la extensión de la masa de concreto vertida se mide de manera horizontal.

#### ▪ **ENSAYO DE EXTENSIÓN DE FLUJO – ASENTAMIENTO.**

Este ensayo de extensión de flujo, o también conocido como *slump flow* (en inglés), es la técnica más tradicional y simple de evaluar la fluidez de las mezclas de CAC. Su ejecución se basó en el instrumento y procedimiento del ensayo estándar de asentamiento con el cono de Abrams. Se diferenció de la práctica del concreto convencional en que la muestra vertida dentro, no se le realizó el típico varillado o la compactación usual; y, que la medida de la distancia se tomó horizontalmente, ya que se formó una especie de torta cuando se procedió al levantamiento del cono de Abrams.

Cabe señalar, que la distancia del asentamiento después de retirado el cono no estableció la medida representativa, habiéndose esperado hasta el momento en que la mezcla dejó de escurrir. Después, se midió el diámetro final extendido que se obtuvo como resultado de la propiedad de fluidez analizada de la mezcla.

#### **Equipos utilizados:**

- Trompo mezclador de 125 litros de capacidad.
- Baldes de 20 litros.
- Cono de Abrams.
- Plancha metálica de 75 x 75 cm.
- Cucharón.
- Termómetro.
- Wincha.

### **Procedimiento:**

- Las dosificaciones obtenidas de los materiales fueron ajustados a una tanda de prueba de 25 litros para ser mezclados en un trompo de 4 pie<sup>3</sup> de capacidad.
- Los materiales fueron vaciados en el trompo en el orden siguiente: Piedra - Agua (pequeña cantidad) - Arena gruesa - Arena fina - Aditivo superplastificante - Aditivo mantensor - Agua (la parte faltante).
- En una superficie horizontal, plana y limpia se instaló la plancha metálica, colocándose en el eje central el cono de Abrams de forma invertida.
- Se procedió a extraer la mezcla del trompo y fue vertido dentro del cono hasta su llenado en totalidad.
- Posteriormente, se levantó de manera vertical con mucho cuidado el cono y se retiró; adicionalmente, se controló el tiempo (denominado T<sub>50</sub>) en segundos en que llegó el concreto a una circunferencia de 500 mm.
- Finalmente, se tomó la medida del diámetro final donde se determinó la extensión de la fluidez del concreto autocompactante.

### **Capacidad de Flujo de la mezcla de concreto autocompactante.**

A continuación, en la tabla se detalla el resumen de los resultados que fueron obtenidos al haberse realizado el ensayo de extensión de flujo (slump flow), de acuerdo a las dosificaciones de los materiales del diseño de mezcla propuesto.

**Tabla 15.** *Resultado de la caracterización de la fluidez.*

| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</b> | <b>LUGAR DEL ENSAYO</b>         | <b>FECHA</b> | <b>FLUIDEZ ALCANZADA</b> | <b>TIEMPO: FINALIZACIÓN DEL MEZCLADO Y REALIZACIÓN DEL ENSAYO</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------|---|
| CAC210-I-H67-F600                   | Laboratorio DINO - Planta Piura | 02/06/2021   | 700 mm                   | 90 segundos   |

Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación:

En la tabla anterior se mostró el resultado del dato logrado de la propiedad física analizada (fluidez), donde la extensión de flujo se encontró dentro del tercer rango de los Objetivos de asentamiento del ACI 237R-07 ( $> 650$ ). Sin embargo, en los fines de la investigación se consideró un flujo de asentamiento entre 550 a 650 mm. No obstante, se determinó trabajarse el diseño para una fluidez de 600 mm. En conclusión, existió una ligera diferencia de 100 mm entre la fluidez de diseño y la fluidez real.

#### ▪ ENSAYO DE PÉRDIDA DE ASENTAMIENTO O FLUIDEZ.

En esta práctica se llevó a cabo una serie de ensayos de extensión de flujo para determinar, cada cierto tiempo, la baja o disminución de la fluidez del concreto autocompactante a través del cono de Abrams de forma invertida. Se realizó la pérdida a los 30, 60 y 90 minutos; en donde, el concreto reflejó su propiedad de trabajabilidad gracias al aditivo mantensor, que mantuvo la mezcla homogénea y fluida por un lapso de casi dos horas aproximadamente. Además, se tomó de cada prueba, la temperatura; asimismo, se registró la temperatura del ambiente.

#### Equipos utilizados:

- Trompo mezclador de 125 litros de capacidad.
- Cono de Abrams.
- Plancha metálica de 75 x 75 cm.
- Cucharón.
- Wincha.
- Termómetro.

**Tabla 16.** Resumen de la caracterización de la pérdida de fluidez.

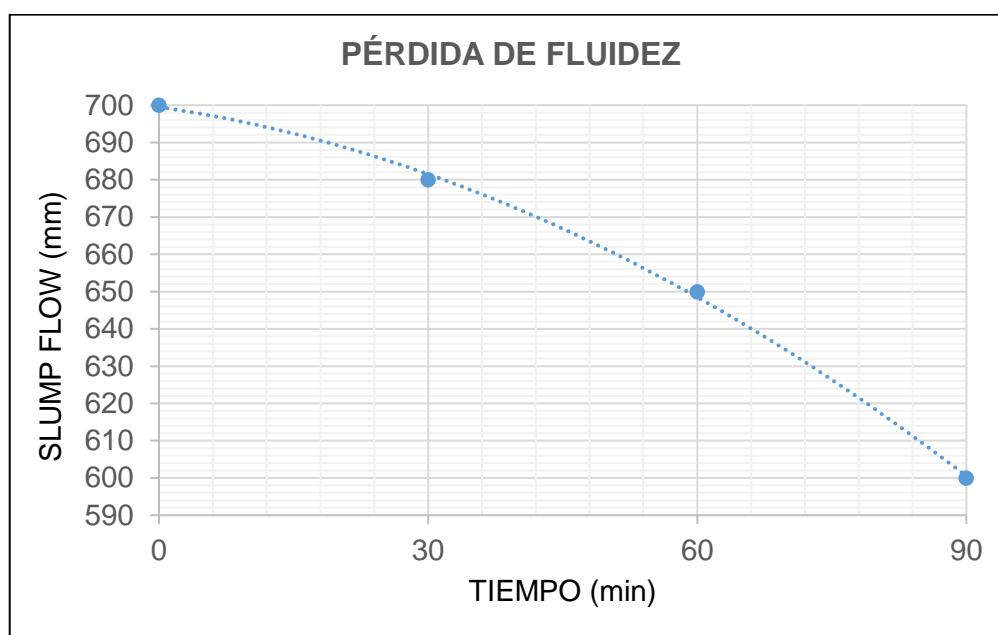
| PÉRDIDA DE ASENTAMIENTO O FLUIDEZ | PERÍODO | HORA  | SLUMP FLOW ALCANZADO | TEMPERATURA CONCRETO | TEMPERATURA AMBIENTE |
|-----------------------------------|---------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                   | 0 min.  | 15:20 | 700 mm               | 24.0 °C              | 26.0 °C              |
|                                   | 30 min. | 15:50 | 680 mm               | 25.6 °C              | 26.5 °C              |
|                                   | 60 min. | 16:20 | 650 mm               | 26.0 °C              | 27.0 °C              |
|                                   | 90 min. | 16:50 | 600 mm               | 26.5 °C              | 26.0 °C              |

Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación:

En la tabla 16 se indicó el registro de los datos alcanzados de la propiedad física analizada (trabajabilidad) a través de la pérdida de asentamiento o fluidez hecha a la mezcla de concreto autocompactante. Conforme transcurría el tiempo el concreto en estrado fresco sufrió una reducida disminución de su extensión de flujo, logrando así, que sea trabajable por un tiempo determinado de 90 minutos.

**Gráfico 3.** Curva de caída del asentamiento o fluidez de la mezcla.



Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación:

En la gráfica se demostró la curva de caída de la extensión de flujo del concreto autocompactante por medio del ensayo de la pérdida de asentamiento.

En ella se demostró que la medida del slump flow inicial fue de 700 mm, mientras que en la última prueba resultó un asentamiento de 600 mm, cuyo valor fue el aproximado al del flujo de asentamiento asignado previamente en la elaboración del diseño de mezcla.

#### ▪ ENSAYO DEL ANILLO JAPONÉS.

Este ensayo sirvió para determinar la habilidad de paso del concreto autocompactante a través de un anillo de barras de refuerzo o también llamado

anillo en “J”. El ensayo consistió en colocar el anillo alrededor del cono de asentamiento estándar. Posterior a ello, se llenó de mezcla todo el Cono de Abrams y luego se levantó cuidadosamente, así como el ensayo de la extensión de flujo. Por último, se midió el diámetro de la extensión final y se calculó la diferencia entre el valor del asentamiento de escurrimiento con el valor de asentamiento del anillo japonés.

Para la evaluación de aquel ensayo se tomó como referencia la Tabla 3 de los Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable de las Especificaciones y Directrices para el hormigón autocompactable – HAC, de la EFNARC (2002).

**Equipos utilizados:**

- Trompo mezclador de 125 litros de capacidad.
- Anillo japonés.
- Cono de Abrams.
- Plancha metálica de 75 x 75 cm.
- Cucharón.
- Wincha.

**Tabla 17.** *Resumen de la caracterización de la capacidad de paso.*

| IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA      | FLUIDEZ EXTENSIÓN | FLUIDEZ ANILLO EN "J" | DIFERENCIA DE FLUIDEZ | CONDICIÓN NORMATIVA EFNARC |
|------------------------------|------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| CAC210-I-H67-F600            | 26/06/2021 | 720 mm            | 710 mm                | 10 mm                 | SÍ CUMPLE                  |

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

En la tabla se detallaron los resultados del ensayo realizado de caracterización de la propiedad física analizada de habilidad de paso. Para poder realizar este ensayo, se procedió a desarrollar otra tanda más de prueba del diseño de mezcla del concreto autocompactante. El valor obtenido fue comparado con el valor alcanzado de la fluidez o asentamiento (ensayo de extensión de flujo). En resumen, existió una ligera diferencia de 10 mm entre ambos ensayos.

▪ **ENSAYO DEL EMBUDO EN “V”.**

Este ensayo permitió determinar la capacidad de relleno del concreto autocompactante a través de un aparato denominado Embudo-V, de acero inoxidable, teniendo forma de “V” con una salida en el parte inferior donde se encuentra una pequeña compuerta de rápida apertura.

El ensayo consistió en llenar el embudo en su totalidad con la muestra representativa del concreto autocompactante, se hizo de forma continua, sin alguna compactación y con enrasado final. Posteriormente, se abrió la compuerta ubicada en la parte inferior y desde ese momento se comenzó a tomar el tiempo que demoró el volumen total del concreto vertido en fluir por medio de la apertura del embudo.

De la misma forma, para la evaluación del ensayo se tomó en consideración los Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable de las Especificaciones y Directrices para el hormigón autocompactable – HAC, de la EFNARC (2002).

**Tabla 18.** *Resumen de la caracterización de la capacidad de relleno.*

| <b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</b> | <b>LUGAR DEL ENSAYO</b>                       | <b>FECHA</b> | <b>TIEMPO DE FLUJO (tv)</b> | <b>CONDICIÓN NORMATIVA EFNARC</b> |
|-------------------------------------|---|--------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| CAC210-I-H67-F600                   | Laboratorio DINO - Planta Premezclados, Piura | 26/06/2021   | 10 segundos                 | SÍ CUMPLE                         |

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

La tabla contiene el resultado del ensayo que fue realizado para caracterización de la propiedad física analizada de habilidad de relleno, que tuvo el concreto autocompactante en fluir a través de la zona restringida del embudo en “V”. En donde el valor logrado fue de 10 segundos, dicho tiempo se encontró dentro del margen habitual de la Tabla 3 de los criterios de aceptación de la norma europea EFNARC.



Se analizó el tercer objetivo, cuyo punto tratado fue “Evaluar los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

Para ello, de la mezcla de la tanda de prueba hecha en laboratorio se elaboraron 12 probetas en moldes de PVC de dimensiones 4” x 8”. Posteriormente, las probetas se desmoldaron 20 horas después de haberse elaborado. Luego, se procedió al curado por inmersión en agua saturada con cal, las probetas fueron curadas en pozas de 1, 3, 7 y 28 días. Se confeccionaron las probetas para concluirse con el Ensayo de resistencia a la compresión del concreto autocompactante en edades correspondientes de 1, 3, 7 y 28 días (3 probetas respectivas por cada edad). Dicho ensayo se llevó a cabo en una prensa de compresión hidráulica del laboratorio de control de calidad de una planta concretera.

- **ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.**

Las 12 probetas fueron moldeadas luego de haberse realizado la ejecución de la dosificación del diseño de mezcla en una tanda de prueba de 25 litros a través de un minitrompo mezclador de 4 pie<sup>3</sup>. La elaboración y curado de las muestras cilíndricas se hizo bajo los criterios de la norma ASTM C 31 / NTP 339.033.

De igual importancia, el concreto autocompactante fue diseñado para una resistencia especificada a la compresión  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y con una resistencia promedio requerida a la compresión  $f'cr = 237 \text{ Kg/cm}^2$ . El método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante se desarrolló de acuerdo a las exigencias estipuladas en la ASTM C 39 / NTP 339.034. Los resultados de este método de ensayo fueron utilizados como base para el control de calidad de las prácticas de dosificación y mezclado del concreto; asimismo, abarcó la determinación del buen cumplimiento de las especificaciones del diseño de mezcla; además, permitió conocer el control para la evaluación de la efectividad de los aditivos empleados en la elaboración del concreto autocompactante.

**Tabla 19. Resultados de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante.**

| ÍTEM | IDENTIFICACIÓN   | EDAD (DÍAS) | DIAMETRO (CM) | ÁREA (CM <sup>2</sup> ) | ALTURA (CM) | CARGA (KG) | RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> ) | RESISTENCIA PROMEDIO |
|------|--|-------------|---------------|-------------------------|-------------|------------|-----------------------------------|----------------------|
| 01   | CAC210-I-H67-F600<br><br>Concreto Autocompactante<br>f'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup> ,<br>Cemento Tipo I,<br>Piedra Huso 67, y<br>Fluidez 600 mm. | 1           | 10.3          | 83.28                   | 20.6        | 17,579.63  | 211.09                            | 229                  |
| 02   |  |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 18,303.62  | 228.57                            |                      |
| 03   |  |             | 10.0          | 78.50                   | 20.5        | 19,486.47  | 248.24                            |                      |
| 04   |  | 3           | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 29,948.59  | 366.70                            | 383                  |
| 05   |  |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 39,550.00  | 493.88                            |                      |
| 06   |  |             | 10.3          | 83.28                   | 20.5        | 23,911.97  | 287.13                            |                      |
| 07   |  | 7           | 10.1          | 80.08                   | 20.3        | 39,550.00  | 493.88                            | 453                  |
| 08   |  |             | 10.0          | 78.50                   | 20.6        | 34,420.00  | 438.47                            |                      |
| 09   |  |             | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 34,840.00  | 426.59                            |                      |
| 10   |  | 28          | 10.3          | 83.28                   | 20.5        | 42,623.46  | 511.81                            | 512                  |
| 11   |  |             | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 40,991.94  | 501.92                            |                      |
| 12   |  |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 41,807.70  | 522.07                            |                      |

Fuente: Elaboración propia.

### Interpretación:

En la tabla se muestran los valores que fueron alcanzados por medio de las respectivas roturas a compresión de las muestras cilíndricas del concreto autocompactante a 1, 3, 7 y 28 días, respectivamente. Además, se estableció un promedio de resistencia por cada edad correspondiente.

En conclusión, se demostró que solo a 1 día la resistencia especificada (f'c) fue ligeramente superada, de 210 a 229 Kg/cm<sup>2</sup> (resistencia promedio). Mientras que, a los 7 días resultó una mayor resistencia. Consecuentemente la resistencia fue aumentando conforme avanzaban los días de curado. Por último, se tuvo que la resistencia promedio a los 28 días fue muy superior que el f'c = 210 Kg/cm<sup>2</sup> y de la propia resistencia requerida a la compresión (f'cr = 237 Kg/cm<sup>2</sup>), del diseño del concreto autocompactante.

**Gráfico 4.** Curva de incremento de la resistencia del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

#### **Interpretación:**

En la gráfica se vio reflejado la curva del desarrollo de la resistencia a la compresión simple versus el tiempo de curado a diferentes edades del concreto autocompactante, con porcentajes promedios a 1, 3, 7 y 28 días. Se conoció que las ganancias de endurecimiento se dieron principalmente en los días iniciales posterior a su moldeado en probetas. La evaluación se hizo hasta los 28 días. Cabe señalar, que se establece que todo concreto a la edad de 28 días alcanza el 99 % de su resistencia máxima; sin embargo, después de esos días el concreto sigue adquiriendo una mayor solidez, pero esta ya es mínima en comparativa con los tiempos de curado estandarizados.

Para el cuarto y último objetivo, cual desarrollo fue “Establecer la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

Por lo que, se elaboró el presupuesto del diseño de mezcla de CAC para 1 m<sup>3</sup>, en el que se estableció el costo directo de los materiales del diseño desarrollado. A su vez, se determinó el Análisis de Precios Unitarios (A.P.U) del concreto autocompactante (CAC) y se hizo el comparativo con el A.P.U. del concreto convencional (CC), para uso destinado en Edificaciones de Muros de Ductilidad Limitada (EMDL). Por último, se desarrolló la comparación de costos entre ambos concretos.

- **COSTO DIRECTO DEL DISEÑO DE MEZCLA:**

**Tabla 20.** *Presupuesto base del diseño de mezcla de concreto autocompactante.*

| ITEM         | MATERIALES                | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (S/.) | COSTO PARCIAL (S/.) |
|--------------|---------------------------|--------|----------|----------------------|---------------------|
| 1.00         | Cemento - tipo I          | Kg     | 400.00   | 0.410                | 164.12              |
| 2.00         | Agua - potable            | L      | 177.00   | 0.007                | 1.24                |
| 3.00         | Arena Fina - Congora      | Kg     | 411.03   | 0.013                | 5.34                |
| 4.00         | Arena Gruesa - Solumbre   | Kg     | 688.10   | 0.022                | 15.14               |
| 5.00         | Piedra - Huso 67          | Kg     | 764.80   | 0.040                | 30.59               |
| 6.00         | Aditivo - Neoplast 47 PC  | L      | 4.40     | 7.850                | 34.54               |
| 7.00         | Aditivo - Neoplast 50 EXT | L      | 1.60     | 8.850                | 14.16               |
| <b>TOTAL</b> |                           |        |          |                      | <b>265.13</b>       |

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

Se detalló el correspondiente presupuesto del diseño de mezcla de concreto autocompactante por 1 m<sup>3</sup>. Sobre el cual, se estableció el respectivo costo directo de cada uno de los materiales sujeto a sus cantidades que se trabajó en el diseño. Así como también, el costo total a nivel de diseño del concreto autocompactante que se desarrolló en laboratorio.

▪ **ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE:**

**Tabla 21. A.P.U del CAC para Muros de ductilidad limitada.**

| <b>Partida: Concreto Autocompactante f'c = 210 Kg/cm2 - Muros de Ductilidad Limitada</b> |               |                |               |                  |                                      |                               |
|--|---------------|----------------|---------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Rendimiento</b>   | <b>m3/día</b> | <b>40.0000</b> | <b>Equipo</b> | <b>40.0000</b>   | <b>Costo unitario directo por m3</b> | <b>319.90</b>                 |
| <b>Descripción Recurso</b>   |               |                | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                      | <b>Precio S/. Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de obra</b>  |               |                |               |                  |                                      |                               |
| Capataz  |               |                | hh            | 0.1000           | 0.0220                               | 27.97 0.62                    |
| Operario   |               |                | hh            | 1.0000           | 0.2000                               | 23.46 4.69                    |
| Oficial  |               |                | hh            | 1.0000           | 0.2000                               | 18.56 3.71                    |
| Peón   |               |                | hh            | 3.0000           | 0.6000                               | 16.78 10.07                   |
|  |               |                |               |                  |                                      | <b>19.09</b>                  |
| <b>Materiales</b>  |               |                |               |                  |                                      |                               |
| *Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2   |               |                | m3            |                  | 1.000                                | 265.13 265.13                 |
|  |               |                |               |                  |                                      | <b>265.13</b>                 |
| <b>Equipos</b>   |               |                |               |                  |                                      |                               |
| Herramientas manuales  |               |                | % m.o         |                  | 3.000                                | 19.09 0.57                    |
| Bomba estacionaria   |               |                | hm            | 4.3750           | 1.000                                | 34.90 34.90                   |
| Andamio metálico   |               |                | hm            | 2.000            | 0.457                                | 0.45 0.21                     |
|  |               |                |               |                  |                                      | <b>35.68</b>                  |

\* A nivel Diseño

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

Se determinó el costo unitario directo por m3 de la partida Concreto Autocompactante de f'c = 210 Kg/cm2 para construcción de muros de ductilidad limitada, sobre el cual se precisó la respectiva cuadrilla de la mano de obra, la cantidad fijada del material predilecto (a nivel del diseño de mezcla) y los equipos que se podrían utilizar para la ejecución de dicha partida.

Cabe señalar, que en la descripción recurso de los materiales, se consideró el precio con base al diseño del concreto, mas no al precio estimado por pagar de la producción en planta del concreto autocompactante, para ser comercializado y luego distribuido a obra.

▪ **ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE CONCRETO CONVENCIONAL:**

**Tabla 22. A.P.U del CC para Muros de ductilidad limitada.**

| <b>Partida: Concreto Convencional f'c = 210 Kg/cm2 - Muros de Ductilidad Limitada</b> |        |         |               |                  |                                       |                   |                    |
|---|--------|---------|---------------|------------------|---------------------------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Rendimiento</b>  | m3/día | 35.0000 | <b>Equipo</b> | 35.0000          | <b>Costo unitario directo por m3:</b> |                   | <b>266.75</b>      |
| <b>Descripción Recurso</b>  |        |         | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>                       | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de obra</b>   |        |         |               |                  |                                       |                   |                    |
| Capataz   |        |         | hh            | 0.1000           | 0.0229                                | 27.97             | 0.64               |
| Operario  |        |         | hh            | 1.0000           | 0.2286                                | 23.46             | 5.36               |
| Oficial   |        |         | hh            | 3.0000           | 0.6857                                | 18.56             | 12.73              |
| Peón  |        |         | hh            | 6.0000           | 1.3714                                | 16.78             | 23.01              |
|   |        |         |               |                  |                                       |                   | <b>41.74</b>       |
| <b>Materiales</b>   |        |         |               |                  |                                       |                   |                    |
| *Concreto premezclado f'c = 210 Kg/cm2  |        |         | m3            |                  | 1.000                                 | 184.13            | 184.13             |
|   |        |         |               |                  |                                       |                   | <b>184.13</b>      |
| <b>Equipos</b>  |        |         |               |                  |                                       |                   |                    |
| Herramientas manuales   |        |         | % m.o         |                  | 3.0000                                | 41.74             | 1.25               |
| Bomba estacionaria  |        |         | hm            | 4.3750           | 1.0000                                | 34.90             | 34.90              |
| Vibrador de concreto 4 HP 2.40"   |        |         | hm            | 2.0000           | 0.4571                                | 9.89              | 4.52               |
| Andamio metálico  |        |         | hm            | 2.0000           | 0.4571                                | 0.45              | 0.21               |
|   |        |         |               |                  |                                       |                   | <b>40.88</b>       |

\* A nivel Diseño

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

Se desarrolló el costo directo por m3 de la partida Concreto Convencional de f'c = 210 Kg/cm2 para Muros de ductilidad limitada, donde se indicó la cuadrilla de la mano de obra, las cantidades de los materiales y los equipos necesarios para una posible ejecución de dicha partida.

Cabe precisar, que en la descripción de los materiales solo se tomó en cuenta el precio del diseño del concreto y no el precio real de la producción del mismo en planta, para luego ser comercializado.

- **COMPARACIÓN DE COSTOS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE CON EL CONCRETO CONVENCIONAL.**

**Tabla 23.** *Relación comparativa de costos del CC versus el CAC.*

| DESCRIPCIÓN              | PRECIO S/. POR M3 | DIFERENCIA DE PRECIOS | PORCENTAJE DE PRECIOS |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Concreto Autocompactante | S/319.90          | S/53.15               | 20 %                  |
| Concreto Convencional    | S/266.75          |                       |                       |

Fuente: Elaboración propia.

**Interpretación:**

Por medio de una relación comparativa de costos se determinó la diferencia de precios del Concreto Autocompactante (CAC) entre el Concreto Convencional (CC), con base a los A.P.U de cada uno de ellos. Por lo que, quedó demostrado una diferencia de S/. 53.15, y se efectuó un correspondiente porcentaje de variación. En resumen, se estableció que el CAC resulta 20 % más costoso que el CC.

## V. DISCUSIÓN.

De otra manera, luego del desarrollo de los resultados alcanzados de cada uno de los objetivos específicos, se procedió a desenvolver las discusiones basándose en la sintetización de los principales hallazgos de la investigación y la comparación de los resultados con las teorías relacionadas, trabajos previos y normativas vigentes.

Por ende, la investigación se conllevó a una discusión por cada objetivo específico planteado, donde se tuvo como objetivo general “Proponer el diseño de mezcla de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

La investigación tuvo como finalidad proponer un diseño de mezcla de concreto autocompactante para ser usado en la construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, pretendiendo así mejorar las propiedades físico-mecánicas del concreto al momento de su colocación y aumentar su durabilidad en los distintos elementos estructurales. Asimismo, a la motivación por el estudio de la Tecnología del Concreto, a la par con el empleo de aditivos de última generación.

Con respecto al primer objetivo específico “Determinar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

En resumen, para llegar a la determinación de las cantidades adecuadas, se elaboró el diseño de mezcla basado en los criterios de la norma del American Institute Concrete – ACI, del Comité 237R-07, donde abarca los parámetros básicos para poder diseñar y caracterizar mezclas de concreto autocompactante. En el diseño se utilizó agregados de canteras locales de peso normal para la ejecución de un concreto de resistencia  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ ; por lo que, se coincidió con el trabajo de investigación de Flores, Bécquer (2015), quien diseñó una mezcla de hormigón autocompactante de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  siguiendo las sugerencias de la norma ACI 237R-07 con agregados extraídos de una cantera local y de pesos normales. En su tesis, empleó una cantidad de cemento de  $355 \text{ Kg/m}^3$  y una relación  $a/c = 0.37$ ; mientras que, en mi investigación se trabajó con  $400 \text{ Kg/m}^3$  y relación  $a/c$  de 0.45. En conclusión, dichos valores no reflejaron una diferencia



desmedida y por lo tanto se encontraron dentro de los parámetros de la norma mencionada. En cuanto a la dosis de aditivos superplastificantes, el autor empleó 1.5 % como máximo, y en mi investigación 1.10 %, lo cual se comprobó que una cantidad adecuada de superplastificante logra una óptima fluidez del concreto y/o hormigón.

En relación al segundo objetivo específico “Analizar los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”. Por lo que, para la determinación de las propiedades físicas se desarrollaron ensayos hechos en laboratorio para analizar la fluidez, trabajabilidad, capacidad de paso y capacidad de relleno del concreto autocompactante.

Enlazando dicho objetivo con la norma europea EFNARC, la cual fue citada y tomada como referencia normativa para la realización de los ensayos. Por consiguiente, el ensayo de extensión de flujo con el Cono de Abrams de esta investigación resultó de 700 mm de diámetro, lo que significó que dicho valor se encontró dentro de la segunda clase denominada SF2 (de 660 a 750 mm), adecuado para muchas aplicaciones normales (p.ej. muros, pilares). Por ende, dicho valor cumplió con los Criterios de trabajabilidad para el HAC en estado fresco; además, la fluidez alcanzada se halló en el Margen habitual de valores de la Tabla 3 de los Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable (mínimo = 650 mm y máximo = 800 mm). Asimismo, se comparó con la tesis de Huamaní, Iván (2018); en lo cual, su ensayo de escurrimiento de un diseño con dosis de aditivo superplastificante de 1.00 % obtuvo un diámetro final de 680 mm; entonces, en mi diseño con una dosis de 1.10 % de aditivo superplastificante se logró una extensión de flujo de 700 mm, lo que demostró que, a más cantidad de aditivo, mayor será la fluidez del concreto.

Por otra parte, sintetizando el ensayo de la determinación de la capacidad de paso con el Anillo en “J” de mi investigación, en donde el valor logrado fue de 710 mm de diámetro final, contra los 720 mm de extensión de flujo con el cono invertido, cuya diferencia resultó de 10 mm. Relacionando dicho valor con los parámetros de la norma EFNARC, este se localizó en el margen habitual máximo de la Tabla 3 de Criterios de aceptación para el hormigón autocompactable.

De otra manera, en el ensayo para la determinación de la capacidad de relleno con el Embudo en “V”, cuyo tiempo de flujo ( $t_v$ ) alcanzado de la presente investigación fue de 10 segundos. Comparando el tiempo de acuerdo a la EFNARC este se halló dentro del rango permisible, siendo la relación (mínimo = 6 s. y máximo = 12 s.), de los Criterios de aceptación para el HAC. También, se coincidió con la tesis de Rabanal, Diana y Su, Alexander (2017), cuyo resultado de su ensayo realizado del Embudo en “V” fue de 10 segundos, tal cual sucedió en mi investigación.

De acuerdo al tercer objetivo específico “Evaluar los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

Por tanto, para la precisión de la propiedad mecánica se llevó a cabo el ensayo normalizado de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en muestras cilíndricas.

Sintetizando dicho objetivo con la tesis de Mendoza, María (2019), en donde los resultados de su primer diseño de concreto autocompactable sin fibras de  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>, de la rotura a los 28 días, la resistencia promedio (de dos probetas) le dio como resultado 229 Kg/cm<sup>2</sup>; caso similar sucedió con mi investigación, pero con otras circunstancias; dado que, a tan solo 1 día la resistencia promedio (de tres probetas) fue justamente de 229 Kg/cm<sup>2</sup>.

De igual importancia, citando la tesis de Rodríguez, Brando (2019), cuyo resultado de la resistencia promedio a la compresión axial a los 28 días de su diseño  $f'c = 280$  Kg/cm<sup>2</sup> con base a dosis de 0.90 % del aditivo Euco Neoplast 8500 HP (QSI), fue de 453 Kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que, en mi investigación la resistencia promedio a la compresión a los 28 días de mi diseño  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup> con una dosis de 1.10 % de un aditivo similar (Aditivo Neoplast 47 PC - QSI), resultó 512 Kg/cm<sup>2</sup>. En conclusión, la influencia de los aditivos superplastificantes, indistintamente del  $f'c$  de diseño del concreto, actúan de manera eficiente en la resistencia del concreto autocompactante.

Finalmente, el cuarto objetivo específico “Establecer la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021”.

De este modo, para la fijación de la rentabilidad se desarrolló el Presupuesto base del diseño y dos Análisis de Precios Unitarios (A.P.U), uno del concreto convencional  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y otro del concreto autocompactante  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ , para después haberse efectuado una comparativa de precios entre ambos.

Relacionando el último objetivo con la investigación de la autora citada anteriormente Mendoza, María (2019), en su presupuesto que elaboró para 1 m<sup>3</sup> de Concreto Autocompactable sin fibra, obtuvo un valor total de S/. 368.56, donde utilizó un único agregado fino (arena gruesa) más piedra chancada de 1/2” y un solo aditivo (superplastificante) para su respectivo diseño de mezcla. Caso contrario sucedió en mi tesis, ya que el presupuesto del diseño para 1 m<sup>3</sup> del concreto autocompactante resultó de S/. 265.15, donde se empleó dos agregados finos (arena gruesa y fina), piedra chancada de 3/4” y dos aditivos (superplastificante y retardante de fraguado). En conclusión, mi propuesta de diseño de CAC resultó más económico a diferencia del diseño de la mencionada autora, a pesar de que se trabajó con más insumos en la elaboración de la mezcla.

Por otra parte, en la temática de los Análisis de Precios Unitarios, estos fueron comparados con los A.P.U desarrollados tanto al Concreto Convencional como al Concreto Autocompactante de la tesis de los autores Rabanal, Diana y Su, Alexander (2017) de su evaluación económica a través de una relación de costos, sobre el cual establecieron un porcentaje de variación de precios entre ambos materiales de un 19 %. De modo idéntico ocurrió en mi investigación, cuya base se dio por medio también de una relación de costos entre ambos concretos, pero con distintos valores de costos unitarios directos, cuyo porcentaje resultó 20 %.

De igual importancia, de acuerdo a los A.P.U, el beneficio económico del uso del CAC es que este alcanza mayor rendimiento en obra, reduciendo la cuadrilla obrera y eliminando los equipos de vibrado a diferencia del uso del concreto CC. Asimismo, el beneficio constructivo es que se reducen los tiempos de ejecución de las partidas, se aumenta la durabilidad y calidad del concreto en los elementos estructurales.

## VI. CONCLUSIONES.

1. Se determinaron las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de CAC con base a los criterios estipulados por la norma ACI 237R-07; de igual forma, la elaboración de la mezcla se dio por medio de una serie de pruebas hechas en laboratorio donde fueron encontradas las cantidades adecuadas de los materiales, de tal modo que se logró la fluidez seleccionada. Por consiguiente, se rechazó la hipótesis con respecto a las cantidades supuestas del agregado fino y agregado grueso.
2. Se analizaron las propiedades físicas del CAC a través de ensayos de laboratorio, los cuales fueron Extensión de flujo (para medición de la fluidez), Pérdida de asentamiento (para evaluación de la trabajabilidad), Anillo en "J" (para caracterización de la habilidad de paso) y Embudo en "V" (para caracterización de la habilidad de relleno), donde se logró el cumplimiento de las condiciones generales de autocompactabilidad. Asimismo, se aceptó la hipótesis con relación a los ensayos planteados y a la vez desarrollados.
3. Se evaluó la propiedad mecánica del CAC por medio del ensayo de resistencia a la compresión en muestras cilíndricas a 1, 3, 7 y 28 días, donde se alcanzaron resistencias superiores al  $f'_c$  y  $f'_{cr}$  estimados del diseño de mezcla, y quedando demostrado que el concreto autocompactante logra resistencias iniciales más altas a temprana edad que el concreto convencional. En consecuencia, se aceptó la hipótesis planteada con base a la evaluación del ensayo realizado.
4. Se estableció la rentabilidad de la propuesta del concreto autocompactante  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  en función del diseño de mezcla mediante la elaboración de un presupuesto base; en el cual, quedó demostrado que el CAC tuvo un costo mayor en porcentaje del 20 %, a comparación de un diseño de concreto convencional. Asimismo, se aceptó la hipótesis pactada con respecto al porcentaje de inversión de la propuesta de diseño.

## **VII. RECOMENDACIONES.**

1. Desarrollar todos los ensayos básicos de caracterización de los agregados para evaluar sus condiciones y poder determinar previamente las dosificaciones óptimas del diseño de mezcla, permitiendo elaborar de esa manera un concreto con características de autocompactabilidad.
2. Utilizar en la elaboración del diseño dos clases de aditivos de características similares, un aditivo reductor de agua de alto rango a base de polycarboxilatos de alta tecnología y otro aditivo reductor de agua de alto desempeño fabricado con polycarboxilatos de última generación; que permitan alcanzar una buena fluidez, trabajabilidad y mantención a las mezclas de concreto autocompactante o mezclas de concreto de baja relación agua-cemento.
3. Elaborar tres probetas por cada edad (1, 3, 7 y 28) para la respectiva rotura a la compresión y poder obtener un promedio de la resistencia del concreto. Cuando se empleen agregados mayores a 1/2", se sugiere realizar ligeros golpes con martillo de goma en el molde cilíndrico. No es recomendable usar agregados superiores al tamaño máximo nominal de 3/4". Si se desea aumentar las resistencias a la compresión a edades tempranas, se recomienda usar un aditivo superplastificante a base de polycarboxilatos.
4. Examinar la aplicación del CAC en la construcción de edificios multifamiliares para la ciudad de Piura, especialmente en EMDL, garantizando así una mayor productividad y ahorro en costos, celeridad de los trabajos de vaciados y menores tiempos de desencofrados de las estructuras, evitándose problemas de reparaciones futuras, velando por la certeza de un concreto con mejor calidad y más durable en el tiempo que el CC. Se deja abierta la probabilidad de poder realizar una futura investigación con enfoque evaluativo del uso del CAC que continúe la presente propuesta de diseño.

## REFERENCIAS:

1. ABAD, José y ROMERO, Jorge. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas en el trabajo de titulación. Tesis (Ingeniero Civil).  
Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.  
Disponible en:  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/browse?type=author&value=Romero+Loyola%2C+Jorge+Miguel>
2. AL-KHEETAN, Mazen, RAHMAN, Mujib y CHAMBERLAIN, Denis. Development of hydrophobic concrete by adding dual-crystalline admixture at mixing stage. *Journal of the fib - Structural Concrete*, vol. 19: 1504-1511, enero 2018.  
ISSN: 1751-7648.
3. ÁLVAREZ Gonzáles, José. Hormigón autocompactante con nano adiciones y fibras. Tesis (Master en Ingeniería de las Estructuras, Cimentaciones y Materiales). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2014. 117 pp.  
Disponible en:  
[http://oa.upm.es/35549/1/Tesis\\_master\\_Jose%20Luis\\_Alvarez\\_Gonzalez.pdf](http://oa.upm.es/35549/1/Tesis_master_Jose%20Luis_Alvarez_Gonzalez.pdf)
4. AMERICAN Society of Testing Materials (Estados Unidos). ASTM C 494, Historical Standard - Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.  
Pensilvania: ASTM, 2020. 15 pp.
5. ARIAS-GÓMEZ, Jesús, VILLASÍS KEEVER, Miguel Ángel y MIRANDA NOVALES, María. El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia Mexico*, vol. 63 (2): pp. 201-206, abril-junio 2016.

ISSN: 2448-9190

6. BRIGGS, Ann, COLEMAN, Marianne y MORRISON, Marlene. Métodos de investigación en liderazgo y gestión educativa. 3.<sup>a</sup> ed.  
Londres: SAGE Publishing, 2012. 448 pp.  
ISBN: 9781446260470
  
7. DETERMINATION of the Optimum Amount of Superplasticizer Additive for Self-Compacting Concrete por Jose A. Sainz-Aja [et al]. *Journal Applied Sciences*. Cantabria: University of Cantabria, vol. 10 (9):1-14, abril 2020.  
ISSN: 2076-3417
  
8. EFFECTS of Superplasticizing Admixtures on the Compressive Strength of Concrete por Musbah Guma Musbah [et al]. *Universal Journal of Engineering Science*. Libia: College of Technical Sciences, vol. 7 (2): 39-45, 2019.  
ISSN: 2331-6632
  
9. EL PROCESO de investigación por Carlos Sabino. Cuenca: Editorial EPISTEME, 2014. 240 pp.  
ISBN: 978-9929677074
  
10. EVALUATION of splitting tensile and compressive strength relationship of self-compacting concrete por Mutiu A. Akinpelu [et al]. *Journal of King Saud University*. Riad: King Saud University, vol. 31 (1): pp. 19-25, enero 2019.  
ISSN: 1018-3639.
  
11. FLORES, Bécquer. Hormigón autocompactante en el trabajo de graduación previo la obtención del título profesional. Tesis (Ingeniero Civil).  
Quito: Universidad Central del Ecuador, 2015.  
Disponible en:  
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4482>

12. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6.<sup>a</sup> ed. México D.F.: McGraw Hill, 2014. 600 pp.  
ISBN: 978-1-4562-2396-0
13. HUAMANÍ, Iván. Concreto autocompactante: diseño, beneficios y consideraciones básicas para su uso en la ciudad de Ayacucho. Tesis (Ingeniero Civil).  
Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2018.  
Disponible en:  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3259>
14. INSTITUTO Nacional de la Calidad (Perú). NTP 334.088, CEMENTOS. Aditivos químicos en pastas, morteros y concreto. Especificaciones. 3<sup>a</sup> Edición.  
Lima: INACAL, 2015. 32 pp.
15. KHALIL, Eehab, ABD-ELMOHSEN, Mostafa y ANWAR, Ahmed. Impact Resistance of Rubberized Self-Compacting Concrete. *International Journal of Water Sciences*, vol. 29 (1): pp. 45-53, abril 2015.  
ISSN: 1110-4929
16. KUMAR, Deepankar y KUMAR, Surender. An overview on mixture design of self-compacting concrete. *Journal of the fib - Structural Concrete*, vol. 20: pp. 371-395, setiembre 2018.  
ISSN: 1751-7648.
17. MANRIQUE, Jorge. Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo. Tesis (Ingeniero Civil).  
Piura: Universidad de Piura, 2019.  
Disponible en:  
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4336>



18. MENDOZA, María. Diseño de concreto autocompactable con fibras de polipropileno para elementos estructurales en viviendas del A.H Nuevo Catacaos Sur - I Etapa – Catacaos - Piura, 2019. Tesis (Ingeniero Civil). Piura: Universidad César Vallejo, 2019.  
Disponible en:  
<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40907>
19. MECHANICAL performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers por Alireza Khaloo [et al]. *International Journal Construction and Building Materials*. Teherán: Sharif University of Technology, vol. 51 (31): pp. 179-186, enero 2014.  
ISSN: 0950-0618
20. MBUGUA, Rose, SALIM, Ramadhan y NDAMBUKI, Julius. Effect of Gum Arabic karroo as a Water-Reducing Admixture in Concrete. *International Journal of Materials*, vol 9 (2): pp. 1-16, enero 2016.  
ISSN: 1996-1944
21. MOLAVI, Jeffrey y BARRAL, Drew. A Construction Procurement Method to Achieve Sustainability in Modular Construction. *Journal Procedia Engineering*, vol. 145: pp. 1362-1369, 2016.  
ISSN: 1877-7058
22. MOSER, Albine y KORSTJENS, Irene. Series: Practical guidance to qualitative research. Part 3: Sampling, data collection and analysis. *European journal of general practice*, vol. 24 (1): pp. 1-10, diciembre 2017.  
ISSN: 1381-4788
23. NIEWIADOMSKI, Paweł y HOA, Jerzy. Failure process of compressed self-compacting concrete modified with nanoparticles assessed by acoustic emission method. *Journal Automation in Construction*, vol. 112:1-8, abril 2020.  
ISSN: 0926-5805.

24. OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Revista Internacional de Morfología*, vol. 35 (1): pp. 227-232, marzo 2017.  
ISSN: 0717-9502
25. PALOMINO, Julian. Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay. Tesis (Ingeniero Civil).  
Apurímac: Universidad Tecnológica De Los Andes, 2017.  
Disponible en:  
<http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/101>
26. PICÓN, Darío y MELIAN Yanina. La unidad de análisis en la problemática enseñanza-aprendizaje. *Informe Científico Técnico – UNPA*, vol. 03: pp. 101-117, mayo 2014.  
ISSN: 1852-4516
27. RABANAL, Diana y SU, Alexander. Diseño de un concreto autocompactable. Tesis (Ingeniero Civil). Pimentel: Universidad Señor de Sipán, 2017.  
Disponible en:  
<http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/2713>
28. RODRÍGUEZ, Brando. Influencia de los superplastificante tipo F sobre sus propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, 2019.  
Disponible en:  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23402>
29. SILVA-URREGO, Yimmy y DELVASTO-ARJONA, Silvio. Uso de residuos de construcción y demolición como material cementicio suplementario y agregado grueso reciclado en concretos autocompactantes. *Revista Colombiana Informador Técnico*, vol. 85 (1): pp. 20-33, enero-junio 2021.

ISSN: 2256-5035

30. SOBERÓN, Iván. Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales y su influencia en las propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua en el proyecto de investigación previo a la obtención del título. Tesis (Ingeniero Civil). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.

Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15910/1/Tesis%20938%20-%20Sober%C3%B3n%20L%C3%B3pez%20Iv%C3%A1n%20Fernando.pdf>

31. TAIT, Michael y CHEUNG, Wai. A comparative cradle-to-gate life cycle assessment of three concrete mix designs. *International Journal Life Cycle Assess*, (21): 847–860, 2016.

ISSN: 0948-3349.

32. VAKHSHOURI, Behnam y NEJADI, Shami. Mix design of light-weight self-compacting concrete. *Journal of Case Studies in Construction Materials*, vol. 4: pp. 1-14, junio 2016.

ISSN: 2214-5095

# **ANEXOS**

**Anexo 3. Matriz de operacionalización de variables.**

| VARIABLE  | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFINICIÓN OPERACIONAL  | DIMENSIONES           | INDICADORES                                 | ESCALA       |
|---|--|---|-----------------------|---|--------------|
| <p align="center"><b><u>V.</u></b><br/><b><u>INDEPENDIENTE</u></b></p> <p>Diseño de Concreto Autocompactante Para Uso En Construcción De Edificios Multifamiliares.</p> | <p>Los concretos autocompactantes presentan diseños de mezcla especiales donde se manejan agregados específicamente gradados y aditivos como reductores de agua de alto rango para aumentar la fluidez y modificadores de viscosidad que controlan la segregación y la exudación de la mezcla. (Euclid Group Toxemen, 2017).</p> | <p>Realizar un diseño de mezcla de acuerdo a las normativas vigentes y desarrollar ensayos de laboratorio para verificar su cumplimiento.</p> | Dosificación óptima   | Diseño de Mezcla.                           | Continua     |
|   |  |   | Propiedades físicas   | Autocompactabilidad                         | Intervalo    |
|   |  |   | Propiedades mecánicas | Resistencia                                 | Intervalo    |
|   |  |   | Rentabilidad          | Presupuesto - Análisis de Precios Unitarios | Proporcional |

#### Anexo 4. Instrumentos de recolección de datos.

| OBJETIVOS ESPECIFICOS   | POBLACIÓN                      | MUESTRA                            | TÉCNICA                | INSTRUMENTOS                  |
|---|--------------------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| Determinar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.        | Diseño de Mezclas de Concreto. | Diseño de Concreto Autocompactante | Análisis de Documentos | Guía de investigación         |
|   |                                |                                    | Entrevista             | Cuestionario                  |
| Analizar los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.  |                                |                                    | Observación Directa    | Ficha de Registro de datos    |
| Evaluar los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante. |                                |                                    | Observación Directa    | Ficha de Registro de datos    |
| Establecer la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.                   |                                |                                    | Observación Directa    | Presupuesto                   |
|   |                                |                                    | Análisis de Documentos | Análisis de Precios Unitarios |

## **Anexo 5. Cuestionario.**

1. ¿Tenía conocimiento de que existe en el mundo un concreto capaz de delizarse fácilmente como si fuera agua?
2. ¿Cómo definiría un concreto con características de autocompactabilidad?
3. ¿Qué propiedades físicas y mecánicas conoce sobre la mezcla de concreto autocompactante?
4. ¿Considera que puede elaborarse concreto autocompactante con agregados de canteras locales y ser usado en la construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura?
5. Si tuviera que elaborar una mezcla de concreto autocompactante, ¿qué tipos de aditivos utilizaría?
6. ¿Qué tan útil sería el uso del concreto autocompactante en la construcción de edificios multifamiliares?
7. ¿Cree que la innovación de este tipo de concreto sea rentable para la construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura?
8. Según su criterio, ¿cuáles serían las diferencias principales entre el concreto autocompactante con el concreto convencional?

Fuente: Elaboración propia.

## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN.

Yo, LUCIO SIGIFREDO MEDINA CARBAJAL, con DNI N.º 40534510, Magister en GESTIÓN PÚBLICA, de profesión INGENIERO CIVIL, desempeñándome actualmente como DOCENTE UNIVERSITARIO en UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO – PIURA.

Por medio de la presente, hago constar que he revisado con fines de Validación del instrumento:

### Questionario.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

| FICHA DE REGISTRO DE DATOS (Questionario) | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | MUY BUENO | EXCELENTE |
|---|------------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1. Claridad                               |            |           |       | X         |           |
| 2. Objetividad                            |            |           |       | X         |           |
| 3. Actualidad                             |            |           |       | X         |           |
| 4. Organización                           |            |           |       | X         |           |
| 5. Suficiencia                            |            |           |       | X         |           |
| 6. Intencionalidad                        |            |           |       | X         |           |
| 7. Consistencia                           |            |           |       | X         |           |
| 8. Coherencia                             |            |           |       | X         |           |
| 9. Metodología                            |            |           |       | X         |           |

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 10 días del mes de julio del dos mil veintiuno.



Mgtr. : LUCIO SIGIFREDO MEDINA CARBAJAL

DNI : 40534510

Especialidad : Ingeniería Civil - Gestión Pública

E-mail : [lmedinac@ucvvirtual.edu.pe](mailto:lmedinac@ucvvirtual.edu.pe)



### Anexo 6. Ficha - Registro de datos.

| <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD, PLANTA DE CONCRETO PREMEZCLADO</b>  |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            |   |                                   |                      |                          |                           |
|---|-------------------|--|------------|------------|-------------|---------------|-------------------------|-------------|------------|---|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| <b>Planta :</b> Piura   |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            | <b>Fecha :</b> Julio 2021                       |                                   |                      |                          |                           |
| <b>Ubicación:</b> Ctra. Piura Paita Km 3  |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            | <b>Hecho por :</b> Stewart Gerardo Torres Viera |                                   |                      |                          |                           |
| <b>Proyecto :</b> "Propuesta De Diseño De Concreto Autocompactante Para Uso En Construcción De Edificios Multifamiliares En La Ciudad De Piura, 2021" |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            | <b>Responsable:</b> Christian Espinoza Herreros |                                   |                      |                          |                           |
| <b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO</b>  |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            |   |                                   |                      |                          |                           |
| <b>NTP 339.034 / ASTM C 39</b>  |                   |  |            |            |             |               |                         |             |            |   |                                   |                      |                          |                           |
| ÍTEM  | IDENTIFICACIÓN    | UBICACIÓN                                      | FECHA      |            | EDAD (DÍAS) | DIAMETRO (CM) | ÁREA (CM <sup>2</sup> ) | ALTURA (CM) | CARGA (KN) | CARGA (KG)                                      | RESISTENCIA (KG/CM <sup>2</sup> ) | RESISTENCIA PROMEDIO | RESISTENCIA OBTENIDA (%) | RESISTENCIA REQUERIDA (%) |
|   |                   |  | MOLDEO     | ROTURA     |             |               |                         |             |            |   |                                   |                      |                          |                           |
| 01  | CAC210-I-H67-F600 | Laboratorio DINO<br>PACASMAYO, Planta<br>Piura | 02/06/2021 | 03/06/2021 | 1           | 10.3          | 83.28                   | 20.6        | 172.4      | 17,579.63                                       | 211.09                            | 229                  | 101                      | 65                        |
| 02  |                   |  |            |            |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 179.5      | 18,303.62                                       | 228.57                            |                      | 109                      |                           |
| 03  |                   |  |            |            |             | 10.0          | 78.50                   | 20.5        | 191.1      | 19,486.47                                       | 248.24                            |                      | 118                      |                           |
| 04  |                   |  | 02/06/2021 | 05/06/2021 | 3           | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 293.7      | 29,948.59                                       | 366.70                            | 383                  | 175                      | 90                        |
| 05  |                   |  |            |            |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 234.5      | 39,550.00                                       | 493.88                            |                      | 235                      |                           |
| 06  |                   |  |            |            |             | 10.3          | 83.28                   | 20.5        | 286.8      | 23,911.97                                       | 287.13                            |                      | 137                      |                           |
| 07  |                   |  | 02/06/2021 | 09/06/2021 | 7           | 10.1          | 80.08                   | 20.3        | 387.9      | 39,550.00                                       | 493.88                            | 453                  | 235                      | 100                       |
| 08  |                   |  |            |            |             | 10.0          | 78.50                   | 20.6        | 337.6      | 34,420.00                                       | 438.47                            |                      | 209                      |                           |
| 09  |                   |  |            |            |             | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 341.7      | 34,840.00                                       | 426.59                            |                      | 203                      |                           |
| 10  |                   |  | 02/06/2021 | 30/06/2021 | 28          | 10.3          | 83.28                   | 20.5        | 418.0      | 42,623.46                                       | 511.81                            | 512                  | 244                      | 125                       |
| 11  |                   |  |            |            |             | 10.2          | 81.67                   | 20.4        | 402.0      | 40,991.94                                       | 501.92                            |                      | 239                      |                           |
| 12  |                   |  |            |            |             | 10.1          | 80.08                   | 20.5        | 410.0      | 41,807.70                                       | 522.07                            |                      | 249                      |                           |



Christian Espinoza  
Supervisor de Control de Calidad



**MIGUEL CHANG HEREDIA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 88837

## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN.

Yo, MIGUEL ÁNGEL CHAN HEREDIA., con DNI N.º 18166174, Magister en INGENIERIA CIVIL, de profesión INGENIERO CIVIL, desempeñándome actualmente como DOCENTE UNIVERSITARIO en UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO – PIURA.

Por medio de la presente, hago constar que he revisado con fines de Validación del instrumento:

### Ficha - Registro de datos.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

| FICHA DE REGISTRO DE ANÁLISIS MECÁNICO (Ensayo-Resistencia a la Compresión) | DEFICIENTE | ACEPTABLE | BUENO | MUY BUENO | EXCELENTE |
|---|------------|-----------|-------|-----------|-----------|
| 1. Claridad   |            |           |       | X         |           |
| 2. Objetividad  |            |           |       | X         |           |
| 3. Actualidad   |            |           |       | X         |           |
| 4. Organización   |            |           |       | X         |           |
| 5. Suficiencia  |            |           |       | X         |           |
| 6. Intencionalidad  |            |           |       | X         |           |
| 7. Consistencia   |            |           |       | X         |           |
| 8. Coherencia   |            |           |       | X         |           |
| 9. Metodología  |            |           |       | X         |           |

En señal de conformidad firmo la presente en la ciudad de Piura a los 12 días del mes de julio del dos mil veintiuno.

  
**MIGUEL CHANG HEREDIA**  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. N° 88637

Mgtr. : MIGUEL ÁNGEL CHAN HEREDIA

DNI : 18166174

Especialidad : Ingeniería Civil - Estructuras

E-mail : mchangheredia@hotmail.com

## Anexo 7. Matriz de consistencia

**Título:** “Propuesta De Diseño De Concreto Autocompactante Para Uso En Construcción De Edificios Multifamiliares En La Ciudad De Piura, 2021”.

| PROBLEMA CENTRAL Y ESPECÍFICOS  | OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS   | HIPÓTESIS GENERAL Y ESPECÍFICAS  | VARIABLES E INDICADORES   | METODOLOGÍA   | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS   |
|---|--|--|---|---|---|
| <p>¿Cuál es la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021?</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Cuáles son las dosificaciones óptimas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante?</li> <li>- ¿Cuáles son los ensayos de propiedades físicas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante?</li> <li>- ¿Cuáles son los ensayos de propiedades mecánicas para la propuesta de diseño de concreto autocompactante?</li> <li>- ¿Cuál es la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021?</li> </ul> | <p>Proponer el diseño de mezcla de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Determinar las dosificaciones óptimas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.</li> <li>- Analizar los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.</li> <li>- Evaluar los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño de concreto autocompactante.</li> <li>- Establecer la rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.</li> </ul> | <p>La propuesta consiste en diseñar un concreto autocompactante para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.</p> <p><b>Específicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las dosificaciones óptimas para la propuesta de diseño son: cantidad de cemento 400 Kg/m<sup>3</sup>, agregado grueso 875 Kg/m<sup>3</sup>, agregado fino 50 % del peso total de los agregados en cantidades equilibradas, y agua 180 Litros/m<sup>3</sup>.</li> <li>- Los ensayos de propiedades físicas de la propuesta de diseño son la de caracterización de fluidez/trabajabilidad, capacidad de paso y capacidad de relleno, para cumplimiento de los requisitos de autocompactabilidad.</li> <li>- Los ensayos de propiedades mecánicas de la propuesta de diseño son la de evaluar la resistencia a la compresión del concreto autocompactante, consiguiendo un concreto con igual y/o mayor resistencia que el concreto convencional.</li> <li>- La rentabilidad de la propuesta de diseño de concreto autocompactante es de una inversión del 20 % en comparación con el diseño de un concreto convencional, estableciendo al CAC como alternativa viable para uso en construcción de edificios multifamiliares en la ciudad de Piura, 2021.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>V.I:</b> Diseño de Concreto Autocompactante Para Uso En Construcción De Edificios Multifamiliares.</li> <li>- <b>Indicadores:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Diseño de mezcla.</li> <li>➤ Autocompactabilidad</li> <li>➤ Resistencia.</li> <li>➤ Rentabilidad.</li> </ul> </li> </ul> | <p><b>Tipo de investigación:</b> Descriptiva.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> No Experimental - Transversal. Nivel Descriptivo.</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo.</p> <p><input type="checkbox"/> <b>Población:</b> Diseño de Mezclas de Concreto.</p> <p><input type="checkbox"/> <b>Muestra:</b> Diseño de Concreto Autocompactante.</p> <p><input type="checkbox"/> <b>Muestreo:</b> Tipo No Probabilístico por conveniencia (juicio o intencional).</p> | <p><b>Técnica de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Observación de laboratorio.</li> <li>➤ Análisis de documentos.</li> <li>➤ Entrevista.</li> </ul> <p><b>Instrumentos de recolección de datos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ficha de registro de datos.</li> <li>➤ Guía documental.</li> <li>➤ Cuestionario.</li> </ul> |

## Anexo 8. Galería fotográfica.

### Anexo 8.1. Materiales empleados.



Fotografía n.º 01. Material proveniente de Cantera Congora -  
Arena fina.



Fotografía n.º 02. Material proveniente de Cantera Solumbre  
- Arena gruesa.



Fotografía n.º 03. Material proveniente de Cantera Sojo -  
Piedra huso 67.



Fotografía n.º 04. Aditivos Química Suiza Industrial del Perú  
S.A. – QSI.

## Anexo 8.2. Ensayos realizados.



Fotografía n.º 01. Análisis granulométrico del agregado fino  
– Arena Solumbre.



Fotografía n.º 02. Análisis granulométrico del agregado fino  
– Arena Congora.



Fotografía n.º 03. Análisis granulométrico del agregado grueso – Piedra Huso 67.



Fotografía n.º 04. Pesaje del material cemento para elaboración de la mezcla (tanda de prueba 30 litros).



Fotografía n.º 05. Pesaje de la arena fina para elaboración de la mezcla (tanda de prueba 30 litros).



Fotografía n.º 06. Pesaje de la arena gruesa para elaboración de la mezcla (tanda de prueba 30 litros).





Fotografía n.º 07. Preparación de la mezcla de concreto autocompactante – Tanda de prueba.



Fotografía n.º 08. Mezclado del concreto autocompactante.



Fotografía n.º 09. Ensayo de asentamiento o fluidez con el cono invertido.



Fotografía n.º 10. Medición de la fluidez de la mezcla.



Fotografía n.º 11. Pérdida de fluidez de la mezcla.



Fotografía n.º 12. Ensayo del embudo en "V".



Fotografía n.º 13. Elaboración de muestras cilíndricas -  
probetas.



Fotografía n.º 14. Probetas terminadas.



Fotografía n.º 15. Proceso de curado de las muestras cilíndricas.



Fotografía n.º 16. Ensayo de resistencia a la compresión.

## Anexo 9. Otros.

### Anexo 9.1. Ubicación del sector de la unidad de análisis de estudio.



Imagen 01: Proyecto Garden 360. Av. Prolongación Los Tallanes, Piura, Piura.

### Anexo 9.2. Edificios multifamiliares, Proyecto Garden 360 - Inmobiliaria Edifica.



Imagen 02: Conjunto residencial - I y II Etapa.

**Anexo 9.3. Sistema estructural con muros de ductilidad limitada (SMDL).**



*Torre 3 y 4 - II Etapa, en proceso de acabados.*

**Anexo 9.4. Condominio residencial Garden 360.**



*Imagen 04. Edificios multifamiliares terminados.*

## Anexo 9.5. Ficha técnica de Cemento Tipo I.



### DESCRIPCIÓN

**Cemento Portland Tipo I.** Gracias a su nuevo diseño de Clinker, se logra un concreto más durable brindando alta resistencia a todas las edades.



### USOS

- Cemento de uso general.

### ATRIBUTOS

**Diseño que supera los requisitos de la normas nacionales**

**Altas resistencias a todas las edades**

- Desarrolla altas resistencias iniciales que garantiza un adecuado avance de obra.
- El diseño correcto en concreto garantiza un menor tiempo de desencofrado.

### RECOMENDACIONES



Mantener el cemento en un lugar seco bajo techo, protegido de la humedad.



Almacenar en pilas de menos de 10 sacos.



Utilizar agregados y materiales de buena calidad.



A mayor sea la humedad de los agregados, se debe dosificar menor cantidad de agua.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



Resistencia a la compresión (psi)

■ Resultado Promedio ■ Requisito mínimo NTP 334.009 / ASTM C150





# Cemento Portland tipo I

## Requisitos Normalizados

NTP 334.009 / ASTM C150

### REQUERIMIENTOS QUÍMICOS

| ENSAYOS              | TIPO   | VALOR | UNIDAD | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADO |
|----------------------|--------|-------|--------|------------------|-----------|
| MgO                  | Máximo | 6.0   | %      | NTP 334.086      | 2.1       |
| SO <sub>3</sub>      | Máximo | 3.0   | %      | NTP 334.086      | 2.8       |
| Pérdida por ignición | Máximo | 3.5   | %      | NTP 334.086      | 3.1       |
| Residuo insoluble    | Máximo | 1.5   | %      | NTP 334.086      | 0.6       |

### REQUERIMIENTOS FÍSICOS

| ENSAYOS                            | TIPO   | VALOR          | UNIDAD             | NORMAS DE ENSAYO | RESULTADO      |
|------------------------------------|--------|----------------|--------------------|------------------|----------------|
| Contenido de aire                  | Máximo | 12             | %                  | NTP 334.048      | 8              |
| Finura, Superficie específica      | Mínimo | 2,600          | cm <sup>2</sup> /g | NTP 334.002      | 4000           |
| Expansión en autoclave             | Máximo | 0.80           | %                  | NTP 334.004      | 0.07           |
| <b>Resistencia a la compresión</b> |        |                |                    |                  |                |
| 3 días                             | Mínimo | 12.0<br>(1740) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 29.4<br>(4260) |
| 7 días                             | Mínimo | 19.0<br>(2760) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 36.6<br>(5310) |
| 28 días <sup>(1)</sup>             | Mínimo | 28.0<br>(4060) | MPa<br>(psi)       | NTP 334.051      | 45.3<br>(6570) |
| <b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>    |        |                |                    |                  |                |
| Fraguado inicial                   | Mínimo | 45             | Minutos            | NTP 334.006      | 139            |
| Fraguado final                     | Máximo | 375            | Minutos            | NTP 334.006      | 250            |

(1) Requisito opcional.

### VENTAJAS



Presentaciones: Bolsas de 42.5 kg, granel y big bag de 1TM.



Fecha y hora de envasado: para que utilices el cemento más fresco



Fecha de vencimiento: para aprovechar de mejor manera sus propiedades

El cemento descrito arriba, al tiempo del envío, cumple con los requisitos químicos y físicos de la NTP 334.009.

**Pacasmayo**

Fuente: Cementos Pacasmayo S. A.

## Anexo 9.6. Ficha técnica de Aditivo 1.



### NEOPLAST 47 PC® ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE

#### DESCRIPCIÓN

NEOPLAST 47 PC es aditivo reductor de agua de alto rango, diseñado con policarboxilatos de alta tecnología, específicamente para dar mantención controlada, alta fluidez y reducción de agua con el empleo de una menor dosis.

#### APLICACIONES PRINCIPALES

- Concretos de resistencias rápidas.
- Concreto para la elaboración de elementos prefabricados.
- Concreto de alto desempeño.
- Concreto autoconsolidables.
- Concreto fluidos.
- Concreto bombeables.

#### BENEFICIOS

- Rápido desarrollo de resistencias tempranas, reduciendo el uso de curadores.
- Proporciona alta fluidez en mezclas secas.
- Facilita la colocación en sitio.
- Mejora la durabilidad en el concreto debido a que reduce la permeabilidad.
- Incrementa la cohesividad del concreto fluido así como también disminuye la segregación.

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

|            |              |
|------------|--------------|
| Apariencia | : Líquido    |
| Color      | : Ámbar.     |
| Densidad   | : 1.11 kg/L. |

#### ESPECIFICACIONES /NORMA

NEOPLAST 47 PC cumple con la clasificación de la norma ASTM C-494, Tipo A y F. (\*).



## NEOPLAST 47 PC®

### ADITIVO HIPERPLASTIFICANTE

#### INSTRUCCIONES DE USO

- NEOPLAST 47 PC se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en planta o en la obra.
- Agregue NEOPLAST 47 PC al agua restante del amasado de la mezcla o directamente. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco.
- NEOPLAST 47 PC se recomienda hacer pruebas previas para determinar el comportamiento del aditivo cuando se usan junto a otros aditivos. Sin embargo, cada material debe ser agregado al concreto por separado.

#### DOSIFICACIÓN

NEOPLAST 47 PC se dosifica de 0.1 – 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos.

#### PRESENTACIÓN

- Tanques 1100 kg
- Cilindro 210 kg
- Balde 20 kg

#### PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el NEOPLAST 47 PC contra el congelamiento. Nunca agite con aire.
- 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.
- No es compatible con los aditivos base naftalenos.
- 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.

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

NEOPLAST 47 PC debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 12 meses.

## Anexo 9.7. Ficha técnica de Aditivo 2.



### NEOPLAST 50 EXT

#### ADITIVO REDUCTOR DE AGUA Y SUPER PLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO CON TRABAJABILIDAD EXTENDIDA

##### DESCRIPCIÓN

NEOPLAST 50 EXT es aditivo reductor de agua de alto rango, diseñado con policarboxilatos de última generación que permiten incrementar la plasticidad y mantención de mezclas de concreto de baja relación agua/cemento. Su alto poder dispersante permite mejorar la mantención de la mezcla e incrementar las resistencias a compresión a edades tempranas.

##### APLICACIONES PRINCIPALES

NEOPLAST 50 EXT está especialmente recomendado cuando se requiere:

- Mantención de asentamientos inicial mayor a una hora ( slump inicial mínimo 8" )
- Concretos para la elaboración de elementos prefabricados.
- Concreto de baja relación agua/ cemento.
- Concreto autocompactados.
- Concreto de alta fluidez.
- Concreto bombeables.
- Concreto de resistencia a edades tempranas.
- Concreto de alto desempeño.
- Concreto masivos.

##### BENEFICIOS

- Rápido desarrollo de resistencia temprana.
- Incrementa la cohesividad del concreto fluido así como también disminuye la segregación.
- Mejora la durabilidad en el concreto debido a que reduce la permeabilidad.
- Proporciona alta fluidez en mezclas secas.
- Facilita la colocación del concreto.
- Reduce riesgos de adición de agua por pérdida de asentamiento.
- No contiene cloruros ni agentes corrosivos.
- Mejora la mantención de las mezclas debido a su alta fuerza dispersante.

##### ESPECIFICACIONES Y NORMAS

Este producto cumple con las especificaciones de la norma ASTM C 494 Tipo A y F.

ESPECIALIDADES



## NEOPLAST 50 EXT

### ADITIVO REDUCTOR DE AGUA Y SUPER PLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO CON TRABAJABILIDAD EXTENDIDA

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

Apariencia : Líquido  
 Color : Ámbar  
 Densidad : 1.10 kg/l

#### INSTRUCCIONES DE USO

NEOPLAST 50 EXT se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en planta o en la obra.

- NEOPLAST 50 EXT se puede dosificar en obra o en planta dependiendo de las necesidades y condiciones particulares de cada vaciado.
- Se recomienda verificar la hermeticidad de los encofrados cuando se utilicen concretos de alta fluidez (>8 pulgadas) debido al incremento de presión en el encofrado por el comportamiento fluido del concreto.
- Los resultados a obtener varían con los diversos tipos de cemento, la calidad de agregados y las características de diseño de mezcla. Se recomienda realizar ensayos previos en la obra para determinar la dosificación adecuada de acuerdo al tipo de obra o proyecto a realizar.
- NEOPLAST 50 EXT se puede dosificar en obra o en planta dependiendo de las necesidades y comportamiento del diseño
- La máxima cantidad de agua a reducir se logra cuando se llegue al mínimo asentamiento permitido.
- NEOPLAST 50 EXT es compatible con otros aditivos, sin embargo, cada aditivo debe ser agregado por separado.
- NEOPLAST 50 EXT no contiene cloruro de calcio u otros ingredientes potenciales de corrosión.

#### DOSIFICACIÓN

NEOPLAST 50 EXT es usado a una dosificación de 0.1 – 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos en la obra para precisar la dosis requerida las cuales podrían variar de las dosificaciones recomendadas debido a las diversas condiciones de cada obra y tipo de materiales empleados.



## NEOPLAST 50 EXT

### ADITIVO REDUCTOR DE AGUA Y SUPER PLASTIFICANTE DE ALTO DESEMPEÑO CON TRABAJABILIDAD EXTENDIDA

#### PRESENTACIÓN

- Tachos 1100 kg
- Cilindro 210 kg
- Baldes 20 kg.

#### PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el NEOPLAST 50 EXT contra el congelamiento.
- La dosificación de NEOPLAST 50 EXT puede variar de acuerdo a la temperatura ambiente y las condiciones propias de cada obra. La dosificación de aditivo puede variar en función al tipo de cemento, condiciones ambientales, agregados y proporciones de los diseños de mezcla.
- No permita que el concreto se congele hasta que haya alcanzado una resistencia mínima de 72kg/cm<sup>2</sup>.
- No vierta el aditivo directamente sobre el cemento o agregados secos.
- No utilice aire para su agitación
- Limpie con agua las herramientas y el equipo antes que se endurezca el mortero y/o concreto
- Evitar el contacto con la piel, ojos y vías respiratorias. En caso de contacto con la piel, lavar con abundante agua.
- Para mayor información consultar la hoja de seguridad del producto.
- Cualquier consulta contacte al Departamento de Ingeniería de QSI PERÚ S.A.

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

NEOPLAST 50 EXT debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 1 año

Las directivas que contiene este documento son el resultado de los ensayos y de la experiencia en buenas prácticas industriales. Debido a la diversidad de materiales y sustratos así como el gran número de posibles aplicaciones que escapan de nuestro control, nosotros no aceptamos responsabilidad por los resultados que el cliente, contratista, aplicador pudiera obtener. Recomendamos realizar los ensayos preliminares o contactarse con el departamento técnico de QSI PERÚ S.A. – (511) 710 4066 / 710 4000.