



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

"CORRELACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO PARA PAVIMENTO RÍGIDO USANDO DIFERENTES TIPOS DE AGREGADO GRUESO Y RELACIONES AGUA/CEMENTO, TRUJILLO, 2021"

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autoras:

Anggie Tahys Aguirre Aguilar

Rosalin Jessie Vargas Acuña

Asesor:

Ing. Sagastegui Vásquez German

Trujillo – Perú

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza necesaria para obtener una de mis metas más anheladas.

A la memoria de mi padre Samuel por todo el amor que me brindo durante todos sus años de vida, gracias a ti he logrado culminar mi carrera universitaria y llegar hasta aquí y convertirme en lo que ahora soy. Ha sido un orgullo y privilegio ser tu hija.

A mi esposo Dann Jamer, por ser mi apoyo incondicional por acompañarme durante todo este proceso y por nunca dudar que lo lograría.

A mi hija Danna, por ser el motor que me impulsa a ser mejor cada día.

A mi madre Rosa y a mi hermano Luis por creer en mí y en mis expectativas y desear siempre lo mejor para mi vida.

DEDICATORIA

Esta investigación se la dedico primeramente a Dios, por guiarme para
realizar y llevar a cabo una de mis metas.

A mis padres y hermanas por todo el amor, paciencia y la dedicación que tuvieron,
brindándome su apoyo en todos estos años, gracias a ustedes hoy estoy cumpliendo una
de mis metas.

A mis tías Doris y Edith por estar siempre presentes en cada momento bueno o malo,
dándonos apoyo moral y creyendo siempre que si se podría cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser la luz incondicional que ha guiado mi camino.

A mis padres, hermanos, esposo y mi hija, por su dedicación, su amor, porque
estuvieron siempre a mi lado e hicieron posible este sueño, por creer en mí y anhelar
siempre lo mejor para mi vida, les agradezco por ser parte de esta tan anhelada meta que
hoy es una realidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud, por guiarme a lo largo de mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Ana y Enrique, a mis hermanas: Anabel y Astrid por ser los principales inspiradores de mis sueños y metas, por confiar y creer en mí, por los consejos, principios y valores que me han inculcado.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad Problemática.....	11
1.2. Antecedentes de la investigación	16
1.3. Bases teóricas	20
<i>1.3.1. Concreto</i>	<i>20</i>
<i>1.3.2. Diseño de mezcla</i>	<i>22</i>
<i>1.3.3. Relación agua/cemento</i>	<i>22</i>
<i>1.3.4. Resistencia a la compresión</i>	<i>23</i>
<i>1.3.5. Resistencia a la flexión</i>	<i>23</i>
<i>1.3.6. Módulo de rotura</i>	<i>23</i>
<i>1.3.7. Correlación</i>	<i>24</i>
<i>1.3.8. Pavimento rígido.....</i>	<i>24</i>
1.4. Formulación del problema	24
1.5. Objetivos	24
<i>1.5.1. Objetivo general.....</i>	<i>24</i>
<i>1.5.2. Objetivos específicos</i>	<i>24</i>
1.6. Hipótesis	25
<i>1.6.1. Hipótesis general</i>	<i>25</i>
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
<i>2.1.1. Según el propósito</i>	<i>25</i>
<i>2.1.2. Según el diseño</i>	<i>26</i>
2.2. Diseño de investigación	26
2.3. Variables	27
<i>2.3.1. Clasificación de variables</i>	<i>27</i>
<i>2.3.2. Operacionalización de variables</i>	<i>28</i>
2.4. Población y muestra	31
<i>2.4.1. Población</i>	<i>31</i>
<i>2.4.2. Muestra</i>	<i>31</i>
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	33
<i>2.5.1. Técnica de recolección de datos</i>	<i>33</i>
<i>2.5.2. Instrumentos de recolección de datos</i>	<i>33</i>

2.5.3.	<i>Validación del instrumento de recolección de datos</i>	33
2.5.4.	<i>Análisis de datos</i>	34
2.5.5.	<i>Instrumento de análisis de datos</i>	35
2.6.	Aspectos éticos	35
2.7.	Procedimiento	36
2.7.1.	<i>Análisis granulométrico del agregado fino y grueso</i>	37
2.7.2.	<i>Humedad de agregado grueso y fino</i>	37
2.7.3.	<i>Peso unitario del agregado grueso y fino</i>	38
2.7.5.	<i>Diseño de mezcla</i>	41
2.7.6.	<i>Ensayos del concreto</i>	41
2.7.7.	<i>Resistencia a la compresión del concreto</i>	47
2.7.8.	<i>Resistencia a la flexión del concreto</i>	47
CAPÍTULO III. RESULTADOS		49
3.1.	Caracterización de agregados	49
3.2.	Diseño de mezcla para cada tipo de cemento con $f'c=210$ kg/cm² y 3''-4'' de Asentamiento teórico	50
	Tabla 15.....	50
3.3.	Resistencia a la compresión del concreto	53
3.4.	Módulo de rotura del concreto	54
3.5.	Correlación	55
3.6.	Prueba de hipótesis	63
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		66
4.1.	Discusión	66
4.2.	Conclusiones	70
4.3.	Recomendaciones	71
REFERENCIAS		73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del agregado grueso según su forma.	22
Tabla 2. Diseño de investigación.....	26
Tabla 3. Matriz de clasificación de variables	27
Tabla 4. Matriz de operacionalización de la variable tipo de agregado grueso.....	28
Tabla 5. Matriz de operacionalización de la variable relación agua/cemento.....	29
Tabla 6. Operacionalización de la variable correlación	30
Tabla 7. Variables y niveles de estudio	31
Tabla 8. Intersección de factores	32
Tabla 9. Tamaño de muestra para resistencia a la compresión.	32
Tabla 10. Tamaño de muestra para resistencia a la flexión.....	33
Tabla 11. Pruebas para el análisis de datos	35
Tabla 12. Caracterización del agregado fino	49
Tabla 13. Caracterización del agregado grueso 1	49
Tabla 14. Caracterización del agregado grueso 2.....	50
Tabla 15. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.50... 50	50
Tabla 16. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.55... 51	51
Tabla 17. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.60... 51	51
Tabla 18. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.50... 51	51
Tabla 19. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.55... 52	52
Tabla 20. Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.60... 52	52
Tabla 21. Correlaciones entre resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto	55
Tabla 22. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.50 y agregado grueso zarandeado.....	63
Tabla 23. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.55 y agregado grueso zarandeado.....	63
Tabla 24. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.60 y agregado grueso zarandeado.....	64
Tabla 25. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.50 y agregado grueso chancado.	64
Tabla 26. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.55 y agregado grueso chancado.	65
Tabla 27. Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.60 y agregado grueso chancado.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento de la investigación	36
Figura 2. Resultados de resistencia a la compresión a 3 días	53
Figura 3. Resultados de resistencia a la compresión a 7 días	53
Figura 4. Resultados de resistencia a la compresión a 28 días	54
Figura 5. Resultados de resistencia a la compresión a 28 días	54
Figura 6. Correlación lineal $RAC=0.50$ (ZR).....	57
Figura 7. Correlación potencial $RAC=0.50$ (ZR).....	57
Figura 8. Correlación lineal $RAC=0.55$ (ZR).....	58
Figura 9. Correlación potencial $RAC=0.55$ (ZR).....	58
Figura 10. Correlación lineal $RAC=0.60$ (ZR).....	59
Figura 11. Correlación potencial $RAC=0.60$ (ZR).....	59
Figura 12. Correlación lineal $RAC=0.50$ (CH)	60
Figura 13. Correlación potencial $RAC=0.50$ (CH)	60
Figura 14. Correlación lineal $RAC=0.55$ (CH)	61
Figura 15. Correlación potencial $RAC=0.55$ (CH)	61
Figura 16. Correlación lineal $RAC=0.60$ (CH)	62
Figura 17. Correlación potencial $RAC=0.60$ (CH)	62

RESUMEN

Esta investigación se realizó en la ciudad de Trujillo, donde se determinó la correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido usando diferentes tipos de agregado grueso y relación agua/cemento; a través de un diseño pre experimental. El muestreo fue de tipo no probabilístico, la recolección de datos se llevó a cabo a través de la técnica de la observación, el instrumento utilizado fue la guía de observación y las técnicas para el análisis de datos fueron la estadística descriptiva e inferencial; el problema nace a partir de lo complejo y tardío que resulta obtener los valores de resistencia a la flexión mediante ensayos de laboratorio, además de la imprecisión de los datos generados a causa de la mala manipulación de las vigas de concreto durante su transporte, teniendo en cuenta que esta propiedad es la más importante en la elaboración de un pavimento rígido, por lo cual, se diseñaron concretos con relaciones agua-cemento de 0.50, 0.55 y 0.60 haciendo uso de dos tipos de agregado grueso (zarandeado y chancado), elaborando 72 probetas cilíndricas para el ensayo de compresión, curadas a edades de 3, 7 y 28 días y 36 vigas para flexión, curadas a 28 días; obteniendo para cada tipo de concreto, una correlación lineal y una correlación potencial, la misma que cumple con lo establecido por el ACI 363 y por AASTHO 93.

Palabras clave: resistencia a la compresión, módulo de rotura, correlación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

Desde la antigüedad, el hombre ha tenido la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, buscando relacionarse e intercambiar culturas, por lo que la construcción de caminos fue uno de los primeros pasos que permitió el inicio a una civilización desarrollada. Hoy en día la unión de dos lugares tiene mucha importancia, pues facilita el comercio y fortalece otras actividades económicas. El pavimento rígido, a diferencia de otros tipos de pavimento, es una alternativa con mayores ventajas, siempre y cuando se elabore teniendo en consideración los controles de calidad, por ejemplo, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto, donde los resultados deben ser por lo menos los mínimos aceptados por las normativas correspondientes, ya que existen muchos factores que influyen en el comportamiento de éste, tales como el tipo de agregado grueso y la relación agua cemento que se utiliza en la preparación. Así mismo, es necesario conocer cómo es que se relacionan estas dos propiedades mecánicas.

En Colombia, García (2010), señala que la industria civil colombiana, al igual que en la mayoría de países, emplea la resistencia a la flexión como parámetro para evaluar la calidad de los concretos utilizados principalmente en pavimentos; estos ensayos, en comparación con los ensayos de resistencia a compresión, son ampliamente más costosos y representan mayor desgaste en obra debido al especial cuidado que se debe tener con las muestras, por lo que se origina debido a la necesidad de buscar una forma más práctica y económica de determinarlos. En ese sentido, haciendo uso de la relación directa entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, mediante una metodología práctica, se determina la ecuación matemática que permite relacionar, mediante una constante, los parámetros

de módulo de rotura y resistencia a la compresión del concreto, indispensables para el diseño y control de pavimentos rígidos.

En Ecuador, Crespo (2018), afirma que los ingenieros viales y constructores de carreteras, necesitan conocer con autenticidad una relación confiable entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión simple ($f'c$) del hormigón para aplicarla eficientemente en los procesos de diseño, construcción y evaluación de pavimentos rígidos; siendo de ese modo la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón ha sido ampliamente estudiada en el mundo y existen muchas ecuaciones que se han establecido para el efecto y sus valores muestran variaciones que dependen principalmente del tipo de materia prima empleada.

Maluf y Pistilli (2019), en Paraguay, informan que la preparación de los pavimentos firmes en su territorio es mínima o de uso reducido y su control a los ensayos de laboratorio normalmente se limita a una sola prueba, el ensayo de compresión fácil. Este ensayo además es común en obras civiles para establecer las características del hormigón a diversas edades y poder cuantificar su resistencia, sin embargo, en pavimentos sólidos el criterio primordial del diseño estructural es la resistencia a la flexotracción, determinada por el módulo de rotura (MR), que se obtiene por correlaciones teóricas existentes.

En Perú, Robles y Sánchez (2015), indican que el aumento experimentado en contenido de pavimentos rígidos en los últimos años, hace imprescindible la optimización en el empleo de los métodos de diseño y su construcción, teniendo por demanda un sin fin de obras a nivel nacional a diferentes niveles de dificultad que lo requiere; es por eso que determina un rango más conservador frente a los publicados por entidades normadas o internacionales acelera el diseño de espesores de

pavimentos rígidos significando un ahorro en tiempo y costo, además, tendrá igual efecto en el proceso de construcción de los mismos.

Cuatro años más tarde en el mismo país, Cubas y Tafur (2019), señalan que existe la necesidad de fijar una correlación entre el esfuerzo a la flexión o módulo de rotura (vigas) y el esfuerzo de compresión (probetas cilíndricas) para el diseño de pavimentos rígidos, ya que transportar vigas de algunos lugares con acceso crítico hacia los escasos laboratorios acreditados en la región es dificultoso ; donde, por su fragilidad y considerable peso pueden sufrir golpes, influenciando en los resultados y obtener datos erróneos.

En la presente investigación, la variable dependiente es controlada tanto a nivel nacional como a nivel internacional. A nivel nacional a través de las normas técnicas peruanas (N.T.P.) correspondientes a cada ensayo a realizar. A nivel internacional, mediante la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Instituto Americano del Concreto (ACI), quienes nos brindan parámetros y rangos a cumplir para asegurar la calidad del concreto.

Maluf y Pistilli (2019), encontraron que no ha resultado diferencias marcadas de resistencia a compresión con el cambio de granulometría en la mezcla, sin embargo, existe una tendencia al aumento de la resistencia a flexotracción con el aumento del tamaño de los áridos gruesos. Igualmente, en cuanto a esta última propiedad, no existe una diferencia sustancial de resistencia en las mezclas pobres, intermedias y ricas en contenido de cemento. Por otro lado, lograron determinar tres correlaciones para ambas propiedades, siendo éstas del tipo lineal, cuadrática y potencial.

Robles & Sánchez (2015), concluyeron que las evaluaciones de las muestras de concreto fueron homogéneas, pudiendo encontrar correlaciones entre el módulo de

rotura y la resistencia a la compresión del tipo lineal y exponencial, las cuales tienen rangos más conservadores frente a lo propuesto por el ACI y la norma AASHTO 93. Cubas y Tafur (2019), luego de observar que los ensayos de resistencia a la compresión muestran resultados mayores a lo esperado, manteniendo una correspondencia directamente proporcional a los ensayos de resistencia a la flexión, lograron determinar una correlación de tipo lineal y otra de tipo exponencial para estas propiedades, las mismas que se encuentran dentro del rango propuesto por el ACI 363 y la norma AASHTO 93.

Tomando en cuenta las investigaciones mencionadas previamente, se puede rescatar que la determinación de correlaciones entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura es viable y de gran importancia, ya que la resistencia a la flexión es el parámetro principal en pavimentos rígidos, ayudando en la reducción de tiempos y costos que demanda la ejecución de este ensayo, además de estar propenso a resultados inexactos producto de la mala manipulación de las vigas llevadas a cabo en campo durante su traslado hacia los laboratorios.

Argos (2019) señala que, en Colombia la colaboración de los pavimentos de concreto en la obra de vías es cada vez más grande, esto ha hecho necesario para fines de diseño de estas estructuras tener una relación confiable entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto. También, indica que el ensayo de resistencia a la flexión de vigas se utiliza como un ensayo de control en el campo, pero es una prueba que presenta diferentes dificultades en el momento de la evaluación, por esta razón cada vez son más los proyectos que han optado por hacer correlación entre compresión y flexión y utilizar el ensayo de compresión para calificar la calidad de un pavimento de concreto.

La problemática de esta indagación se origina a partir de lo tardío y complejo que resulta obtener los valores de resistencia a la flexión mediante ensayos de laboratorio, además de la impresión de los datos provocados debido a la mala manipulación de las vigas de concreto durante su transporte. Teniendo presente que esta propiedad es la de mayor relevancia en la preparación de un pavimento tieso, y procurando de buscar una opción frente al ensayo de laboratorio; es que se determinan correlaciones expresadas en funcionalidad de la resistencia a la compresión, no obstante, estas expresiones solamente se considerarán válidas si cumplen con fronteras designados en el ACI 363 y en la regla AASHTO 93.

En la presente investigación se pretende encontrar dos de las correlaciones, entre la resistencia a la compresión del concreto y el módulo de rotura, más estudiadas por los antecedentes nacionales e internaciones, siendo éstas del tipo lineal y potencial; utilizando diferentes tipos de concreto, ya que varían en su relación agua/cemento y el tipo de agregado grueso añadido en la mezcla. Hacer uso de estas correlaciones facilitará y agilizará los procesos constructivos en la elaboración de pavimentos rígidos. Por otro lado, de no realizarse esta investigación, no se darían las ventajas mencionadas anteriormente, repercutiendo también en la parte económica, puesto que la ejecución del ensayo en laboratorio demandaría mayores gastos y contratiempos, incluso los resultados obtenidos tendrían un bajo nivel de confiabilidad producto de los tantos factores a los que se exponen las vigas de concreto durante y después de su elaboración hasta llegar a ser ensayadas. Por último, esta tesis no podría ser usada como antecedente para futuros investigadores quienes estudien temas relacionados al nuestro.

1.2. Antecedentes de la investigación

Maluf y Pistilli (2019), tuvieron como objetivo determinar correlaciones entre la resistencia a la compresión simple y la resistencia a la flexotracción de hormigones utilizados en pavimentos rígidos con materiales locales de las mismas fuentes. La metodología que siguieron fue experimental, donde consideraron distintas resistencias características del hormigón, de manera comparativa e innovadora. Consideraron necesario realizar 108 probetas cilíndricas para compresión y un total de 84 probetas prismáticas para ensayarlas a flexión; siendo todas ellas ensayadas a edades de 3, 7 y 28 días. Los resultados arrojados muestran que existe una correlación lineal, de la cual se obtiene un valor constante de k , donde $MR=k*f'c$, en esta investigación, los resultados arrojaron un valor de $k = 0,12$; quedando expresada como $MR=0.12*f'c$. Asimismo, determinaron una correlación potencial, de la cual se obtiene un valor constante k para una relación del tipo $MR=k*f'cm^a$, en esta investigación, los resultados arrojaron un valor de $k = 0,48$ y un valor $a = 0.61$; quedando expresada como $MR=0.48*f'c^{0.61}$. Después de realizar una valoración económica técnica para las diferentes correlaciones, concluyeron que, existe una variación en el espesor del pavimento de hasta ± 3 cm con el uso de las distintas correlaciones, además, el uso de una apropiada correlación podría conllevar a un ahorro o sobre costo de hasta 10.000 USD/km. (p.93).

Esta investigación nos deja como aporte que existen métodos para estimar el módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión a través de expresiones de tipo lineal y potencial que, si son aplicadas eficientemente, podrían generar un ahorro económico significativo durante la construcción de pavimentos de concreto.

Crespo (2018), se planteó como objetivo desarrollar, a través un estudio estadístico, expresiones matemáticas que permitan la determinación certera de una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento portland elaborado con cementos y agregados de la localidad. Como metodología siguió el orden experimental y cuantitativo; a través de procedimientos y ensayos indicados en normativas nacionales e internacionales, con la finalidad de obtener resultados similares a las de investigaciones realizadas en otras localidades. Las muestras realizadas se dividieron en 6 cilindros para el ensayo de resistencia a la compresión para edades de 7, 14 y 28 días y cada relación agua/cemento de 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55 y 0.60; asimismo, 3 vigas para el ensayo de flexión para las mismas edades mencionadas. Luego de combinar los agregados obtenidos de dos fuentes de materiales siendo VIPESA y las minas de Santa Isabel, además de realizar los ensayos de resistencia a la compresión y flexión del concreto, determinó una correlación potencial entre ambas propiedades, siendo $MR=0.4802f^c^{0.6416}$. Después de observar que la disposición de los puntos generados por las parejas de ensayos (f^c , MR), formaron una nube de puntos con una tendencia hacia una curva potencial para ambos tipos de áridos; se consigue un muy buen coeficiente de correlación alrededor de 0.9; lo que le ayuda a concluir que esto da una muy buena percepción de la confiabilidad de los ensayos, permitiendo a consultores y productores a hacer uso de las funciones expresadas para diseños de pavimentos rígidos. (p.184).

El aporte de esta investigación se refleja en demostrar que las funciones de correlación son variables y dependen de los materiales y relación agua/cemento que se utilice al momento de realizar la mezcla; por tal motivo, si se define una correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura de un concreto elaborado con materiales de un determinado lugar, ésta sólo puede ser usada ahí.

García (2010), tuvo como objetivo determinar la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto producido en la empresa PREVEESA. La metodología que siguió fue experimental, abarcando procedimientos como la caracterización de materiales, elaboración de especímenes, ensayos de resistencia y análisis estadístico; todo ello para un total de 180 muestras ensayadas a 28 días, las cuales se dividieron en 90 cilindros y 90 vigas; a su vez se subdividieron en 30 para cada resistencia de diseño, siendo de 210kg/cm², 280kg/cm² y 350kg/cm². Después de realizar lo mencionado, determinó valores K para las expresiones lineales, siendo 0.15, 0.16 y 0.12 para las resistencias de 210kg/cm², 280kg/cm² y 350kg/cm² respectivamente; asimismo, determinó también los valores K para las expresiones potenciales, siendo 2.33, 2.70 y 2.35 para las resistencias mencionadas anteriormente en ese mismo orden. Finalmente, concluyó que sus valores K encontrados para las mezclas de 210kg/cm² y 350kg/cm² se encuentran dentro del rango establecido en el ACI; sin embargo, para las mezclas de 280kg/cm², el valor constante K se encuentra ligeramente superior a la norma en casi 2%. (p.109). Esta investigación nos aporta respecto a la validez de aplicación, ya que para tomar en cuenta las expresiones de correlación determinadas, éstas deben ajustarse a los parámetros establecidos por las normativas correspondientes, en este caso, al ACI.

Cubas & Tafur (2019), se plantearon como objetivo establecer una correlación entre el esfuerzo de compresión y el módulo de rotura a la flexión en concretos autocompactantes, utilizando agregados de las canteras Tres Tomas y La Victoria de la región Lambayeque, así como la utilización de ceniza de cascarilla de arroz y su aplicación en pavimentos rígidos. La metodología de este antecedente corresponde a una investigación aplicada con un nivel experimental, con enfoque cuantitativo y correlacional; la cual consistió en ensayar un total de 36 probetas cilíndricas tanto a

7 como a 28 días de curado; y 36 vigas a las mismas edades. Obteniendo como resultado que, sí existe correlaciones entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, uno de tipo lineal de la cual se obtiene un valor de constante $X=0.12$, para una relación de tipo $MR = X*(f'c)$, y otra de tipo potencial que muestra un valor constante $K=2.48$, para una relación de tipo $MR = K*(f'c)^{1/2}$ a los 28 días. Concluyendo que, las expresiones mencionadas se encuentran dentro de los rangos propuestos por el ACI 363 y por la norma AASHTO 93. (p.74).

Esta investigación nacional, al igual que la anterior internacional nos aporta respecto a la validez de aplicación, ya que validan las correlaciones determinadas; en este caso no sólo por el ACI 363 sino también por la norma AASHTO 93, sirviendonos como referencia a tener en cuenta durante el análisis de resultados.

Robles & Sánchez (2015), tuvieron como objetivo determinar correlaciones entre el módulo de rotura a la flexión y la resistencia a la compresión de los pavimentos rígidos del centro poblado San Cristóbal de Chupán para optimizar futuros diseños y el control de calidad en pavimentos rígidos similares. La metodología empleada en esta investigación fue experimental y consistió en una serie de procedimientos como caracterización de agregados, diseño de mezcla, elaboración y curado de especímenes de concreto, así como también trabajo de gabinete, logrando definir correlaciones entre las variables de estudio; todo ello para un total de 128 muestras ensayadas a 7 y 28 días, las cuales se dividieron en 64 cilindros y 64 vigas; y a su vez se subdividieron en 32 para cada edad de curado. Los resultados que obtuvieron fueron dos correlaciones entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, mostrando una ecuación lineal de la cual se obtiene un valor de constante K, para una relación de tipo $Mr(f'c) = K*f'c$, para este caso $K=0.120$ para 7 días y 0.117 para 28 días; también obtuvieron una ecuación potencial que muestra un valor constante K,

para una relación de tipo $M_r (f'c) = K \cdot \sqrt{f'c}$, para este caso $K=2.091$ para 7 días y $K=2.168$ para 28 días. Concluyendo que las evaluaciones de las muestras de concreto fueron homogéneas, y que las fórmulas y correlaciones obtenidas tienen rangos más conservadores frente a lo propuesto por el ACI y la norma AASHTO 93. (p.91).

Esta investigación realizada a nivel nacional, también nos aporta respecto a la validez de aplicación, ya que no solo demuestran que se puede establecer correlaciones de diferente tipo entre ambas propiedades del concreto, sino que también las validan; en este caso no sólo por el ACI 363 sino también por la norma AASHTO 93, sirviendonos como referencia a tener en cuenta durante el análisis de nuestros resultados.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Concreto

El concreto se ha convertido en el material de construcción por excelencia, su elaboración consiste en una mezcla de cemento Portland, agua, arena, y grava (los dos últimos llamados también agregados fino y grueso). También se conoce como concreto hidráulico, por la propiedad que tiene el cemento Portland de reaccionar con el agua de la mezcla convirtiéndose con el tiempo en una piedra artificial. El beneficio obvio de mezclar el cemento y el agua con los agregados consiste en que la pasta (cemento + agua) se encargará de unir o pegar a los agregados para constituir todos juntos una roca artificial. En este capítulo se presentarán algunos principios básicos de la tecnología del concreto por medio de los cuales se comprenderá el comportamiento de este material tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. (Gómez, 2014).

1.3.1.1. Componentes del concreto

a) Cemento

Es un material pulverizado que además de óxido de calcio contiene: sílice, alúmina y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto en el agua como en el aire. Se excluyen las cales hidráulicas, cales aéreas y yesos. (Rivera, 2013).

b) Agua

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido. El agua a emplearse en la preparación del concreto, deberá ser limpia y estará libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero. (Abanto, 2009)

c) Agregados

Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. por ejemplo, el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en pavimentos del 75% al 90%. (Gutiérrez, 2003).

- Agregado fino

Agregado artificial de rocas o piedras proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9,5 mm (3/8 pulg) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. (NTP.400.011, 2008).

- Agregado grueso

Agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N°4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca. (NTP.400.011, 2008).

Tabla 1.

Clasificación del agregado grueso según su forma.

Clasificación	Descripción	Ejemplos
Redondeado	Completamente desgastada por agua o fricción.	Grava de río o playa; arena del desierto, de la playa o del viento
Irregular (Zarandeada)	Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos.	Otras gravas, pedernal de tierra o excavado
Laminar	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones.	Roca laminada
Angular (Chancada)	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas.	Rocas trituradas de todos tipos, escoria triturado
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	-----

Fuente: NTP.400.011, (2008).

1.3.2. Diseño de mezcla

Es el proceso de selección de los adecuados agregados para el concreto, determinando cantidades y requerimientos específicos de manejabilidad, resistencia y dureza. Actualmente se usa mezclas diseñadas para cuyas especificaciones existen valores límite respecto a un rango de propiedades que deben cumplirse. Estas son la relación máxima de agua/cemento, el contenido mínimo de cemento, la resistencia mínima, la manejabilidad mínima, el tamaño máximo del agregado y el contenido de aire dentro de los límites especificados. Para lograr características específicas de la mezcla se debe determinar la cantidad de los agregados por conocer propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de agregados específicos. (Muciño & Ana, 2018).

1.3.3. Relación agua/cemento

En esta relación agua/cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran

cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad, lo cual presenta grandes beneficios para la mano de obra; no obstante, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre. (Guevara, Hidalgo, Pizarro, Rodríguez, Rojas & Segura, 2011).

1.3.4. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión simple 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 kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi). (Cemex, 2019).

1.3.5. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR). (NRMCA, 2017).

1.3.6. Módulo de rotura

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para diseño de pavimentos rígidos. Se la conoce también como resistencia a la tracción por flexión o simplemente resistencia a la flexión. Es la medida del esfuerzo en la fibra extrema que se desarrolla al someter una viga a la flexión. (Hugo, 2012).

1.3.7. Correlación

La importancia de establecer correlaciones radica en la facilidad de reproducción de la metodología en la realización de proyectos, donde el control de calidad es vital para el cumplimiento de los plazos y especificaciones técnicas requeridas. (Muñoz & Rivas, 2003).

1.3.8. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos se encuentran constituidos por una losa de concreto apoyada directamente sobre la subrasante o sobre una capa de material seleccionado. Como solo existe una capa entre la losa de concreto y la subrasante, esta puede ser llamada base. La necesidad de utilizar la base surge solo si la subrasante no tiene las condiciones para resistir cargas de tráfico. (Vega, 2018).

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido usando diferentes tipos de agregado grueso y relación agua/cemento, en Trujillo 2021?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido usando diferentes tipos de agregado grueso y relación agua/cemento, Trujillo 2021.

1.5.2. Objetivos específicos

O.E.1. Determinar las características del agregado fino y de los dos tipos de agregado grueso, chancado y zarandeado, de acuerdo a las normas vigentes para el diseño y construcción de un pavimento rígido.

O.E.2. Realizar un diseño de mezcla para cada relación a/c de 0.50, 0.55 y 0.60 por cada tipo de agregado grueso.

O.E.3. Determinar la resistencia a la compresión del concreto mediante probetas cilíndricas curadas a 3,7 y 28 días.

O.E.4. Determinar el módulo de rotura mediante el ensayo a flexión de vigas de concreto curadas a 28 días.

O.E.5. Determinar la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

O.E.6. Realizar la prueba de hipótesis y determinar si los resultados de módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido se correlacionan.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

Los resultados de módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido lograrán generar correlaciones confiables, en Trujillo 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

2.1.1. Según el propósito

En la presente investigación se buscará la aplicación de los conocimientos obtenidos en investigaciones básicas previas; convirtiéndola así en una investigación aplicada.

2.1.2. Según el diseño

En la presente investigación se manipularán las variables independientes, relación agua/cemento y tipo de agregado grueso, para determinar los efectos causados en la variable dependiente; de esa forma, según el diseño, estamos frente a una investigación experimental.

2.2. Diseño de investigación

Debido a que no existe un grupo de control y, por el contrario, los sujetos están asignados aleatoriamente con un grado de control mínimo; la presente, según el diseño de investigación, es pre experimental.

Tabla 2.

Diseño de investigación

Grupo	Tratamiento	Post prueba
GE: Concreto para pavimento rígido.	X: Tipo de agregado grueso y diferentes relaciones a/c.	O1: Módulo de rotura. O2: Resistencia a la compresión.

Fuente: Propia.

Donde,

GE: Grupo experimental, recibe modificaciones X.

X: Modificaciones, tratamiento, estímulo, reactivo experimental.

O: Medición que se realiza a través de pruebas, cuestionario, observaciones, etc.

2.3. Variables

2.3.1. Clasificación de variables

Tabla 3.

Matriz de clasificación de variables

Variables	Clasificación				
	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Tipo de agregado grueso	Independiente	Cuantitativa Continua	Razón	Adimensional	Directa
Relación a/c	Independiente	Cuantitativa Continua	Razón	Adimensional	Directa
Correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido, 2021.	Dependiente	Cuantitativa Continua	Razón	Multidimensional	Indirecta

Fuente: Propia.

2.3.2. Operacionalización de variables

Tabla 4.

Matriz de operacionalización de la variable tipo de agregado grueso

Variables	Definición	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento
V.I. Tipo de agregado grueso	Agregado retenido en el tamiz normalizado 4,75 mm (N°4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca. (NTP.400.011, 2008).	La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de la mezcla. (Tuffino, 2009).	Adimensional	Chancado Zarandeado	kg/m ³	-

Fuente: Propia.

Tabla 5.

Matriz de operacionalización de la variable relación agua/cemento

VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	INSTRUMENTO
V.I. Relación a/c	En esta relación agua/cemento, la importancia del agua resulta de gran magnitud, ya que ella y su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad. (Guevara, Hidalgo, Pizarro, Rodríguez, Rojas & Segura, 2011).	El cemento es el material más activo de la mezcla de concreto, así que sus características dentro de la mezcla tienen una gran influencia en la resistencia del concreto. Es así que entre más se agregue el contenido de cemento se puede obtener una mayor resistencia. (Industrial Bloquera, 2020).	Adimensional	0.50	-	-
				0.55	-	-
				0.60	-	-

Fuente: Propia.

Tabla 6.

Operacionalización de la variable correlación

Variables	Definición	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición	Instrumento
V.D. Correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido, 2021.	La importancia de establecer correlaciones radica en la facilidad de reproducción de la metodología en la realización de proyectos, donde el control de calidad es vital para el cumplimiento de los plazos y especificaciones técnicas requeridas. (Muñoz & Rivas, 2003).	Determinar una correlación agilizará el diseño de espesores de pavimentos rígidos significando un ahorro en aspectos de tiempo y costo, además, tendrá los mismos efectos en el proceso de construcción de los mismos. (Robles & Sánchez, 2015).	Características de los agregados	Propiedades	Huso, %h, P.E., %Abs, PUSC	Guía de observación
			Diseño de mezcla	Peso Seco, Peso SSS, Peso Húmedo	kg	
			Rotura de probetas a edades de 3, 7 y 28 días	f'c	kg/cm ²	
			Caracterización de agregados	Propiedades	Huso, %h, P.E., %Abs, PUSC	
			Diseño de mezcla	Peso Seco, Peso SSS, Peso Húmedo	kg	
			Ensayo de vigas a 28 días	Módulo de rotura	kg/cm ²	

Fuente: Propia.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

Todas las obras de pavimentos rígidos en la provincia de Trujillo, en el año 2021.

2.4.2. Muestra

Obras de pavimentos rígidos usando diferentes tipos de agregado grueso y relaciones agua/cemento en el distrito de Trujillo.

La muestra de la presente investigación es de tipo no probabilística, a través de la evaluación de juicio por experto a cargo del ingeniero Sagastegui Vásquez German. En base a su experiencia y cumpliendo lo estipulado por la normal ASTM C31, el ingeniero determina realizar 12 testigos cilíndricos de 4'' x 8'' por cada combinación entre el factor A y el factor B, haciendo un total de 72 probetas producto de 6 combinaciones como tamaño de muestra para resistencia a la compresión; así también determina realizar 6 vigas de sección transversal de 6'' x 6'' por cada combinación entre el factor A y el factor B, haciendo un total de 36 vigas producto de 6 combinaciones. Dichas muestras se detallan en las siguientes tablas:

Tabla 7.

Variables y niveles de estudio

Variables independientes de estudio		Niveles de estudio
FACTOR (A): Relación agua/cemento	Factor (a1)	0.60
	Factor (a2)	0.55
	Factor (a3)	0.50
FACTOR (B): Tipo de agregado grueso	Factor (b1)	AG. Chancado
	Factor (b2)	AG. Zarandeado

Variable dependiente

Correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido, 2021.

Fuente: Propia.

Tabla 8.

Intersección de factores

		FACTOR B	
		b1	b2
FACTOR A	a1	a1b1	a1b2
	a2	a2b1	a2b2
	a3	a3b1	a3b2

Fuente: Propia.

Tabla 9.

Tamaño de muestra para resistencia a la compresión.

Tipo de A.G.	Rel a/c	EDAD			Subtotal
		3 días	7 días	28 días	
A.G. Chancado	0.60	3	3	6	12
A.G. Zarandeado		3	3	6	12
A.G. Chancado	0.55	3	3	6	12
A.G. Zarandeado		3	3	6	12
A.G. Chancado	0.50	3	3	6	12
A.G. Zarandeado		3	3	6	12
				TOTAL	72

Fuente: Propia.

Tabla 10.

Tamaño de muestra para resistencia a la flexión.

Tipo de A.G.	Rel a/c	EDAD	
		28 días	Subtotal
A.G. Chancado	0.60	6	6
A.G. Zarandeado		6	6
A.G. Chancado	0.55	6	6
A.G. Zarandeado		6	6
A.G. Chancado	0.50	6	6
A.G. Zarandeado		6	6
		TOTAL	36

Fuente: Propia.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.5.1. Técnica de recolección de datos

Para la recolección de datos, la presente investigación aplicará la técnica de la observación, ya que se busca ver y analizar el comportamiento de los especímenes cilíndricos y vigas de concreto a ensayar, cumpliendo con las normativas correspondientes.

2.5.2. Instrumentos de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos que se empleará será la guía de observación. Ésta servirá para el acopio de toda la información arrojada por cada variable según el ensayo realizado. (Ver Anexo 2).

2.5.3. Validación del instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos tuvo conformidad y fue firmado por el Ing. Sagastegui Vásquez German, luego de corroborar que la guía de observación cumpla con lo que se quiere y necesita representar. Asimismo, el ingeniero calificó el formato de dicho instrumento en base a una rúbrica proporcionada por la universidad. (Ver Anexo 1).

2.5.4. Análisis de datos

El presente estudio hará uso de las siguientes técnicas:

- Estadística descriptiva: porque se hará uso de gráficos estadísticos y tablas que facilitarán el análisis y comparación de los resultados.
- Estadística inferencial: porque se determinará el comportamiento de una población específica, teniendo como base una muestra.

2.5.4.1. Análisis de distribución normal

Analizando el tamaño de muestra “n”, en este caso inferior a 50, se contrastará la normalidad de los datos mediante la prueba Shapiro Wilk a una confiabilidad de 95% y una significancia de 5%, considerando como hipótesis nula que la muestra sigue una distribución normal.

2.5.4.2. Análisis de varianza

Luego de comprobar que la muestra sigue una distribución normal, se realizará la prueba Anova considerando una confiabilidad de 95% y una significancia de 5%, para aceptar o rechazar la hipótesis alternativa planteada en la presente investigación.

2.5.4.3. Definición de hipótesis nula y alternativa

La hipótesis nula (H_0): El módulo de rotura y la resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido no se correlacionan, en la ciudad de Trujillo, 2021.

La hipótesis alternativa (H_a): La correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido mejorará en óptimas condiciones usando diferentes tipos de agregado grueso y relaciones agua/cemento, Trujillo 2021.

2.5.4.4. Análisis de posprueba

Si mediante la prueba Anova se acepta la hipótesis alternativa, se hará uso de la prueba Tukey, la cual se basa en comparaciones múltiples de las medias, para determinar en que

caso existe una mejor correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido.

Tabla 11.

Pruebas para el análisis de datos

Análisis de distribución normal	Análisis de varianza	Análisis posprueba
Shapiro-Wilk	Anova	Tukey

Fuente: Propia.

2.5.5. Instrumento de análisis de datos

Para el análisis estadístico, nos apoyaremos del software IBM SPSS Statistics, el cuál desarrollará las pruebas de normalidad, varianza y post-hoc luego de haber ingresado los resultados obtenidos por los ensayos de compresión y flexión.

2.6. Aspectos éticos

En la presente investigación, como parte de la ética, se tendrá en cuenta cuatro principios esenciales, los cuales son:

Beneficencia, ya que fomentará la investigación en estudios de temas similares, sirviendo como antecedente previo para ellos.

No maleficencia, debido a que toda información de nuestra no autoría estará correctamente citada y referenciada.

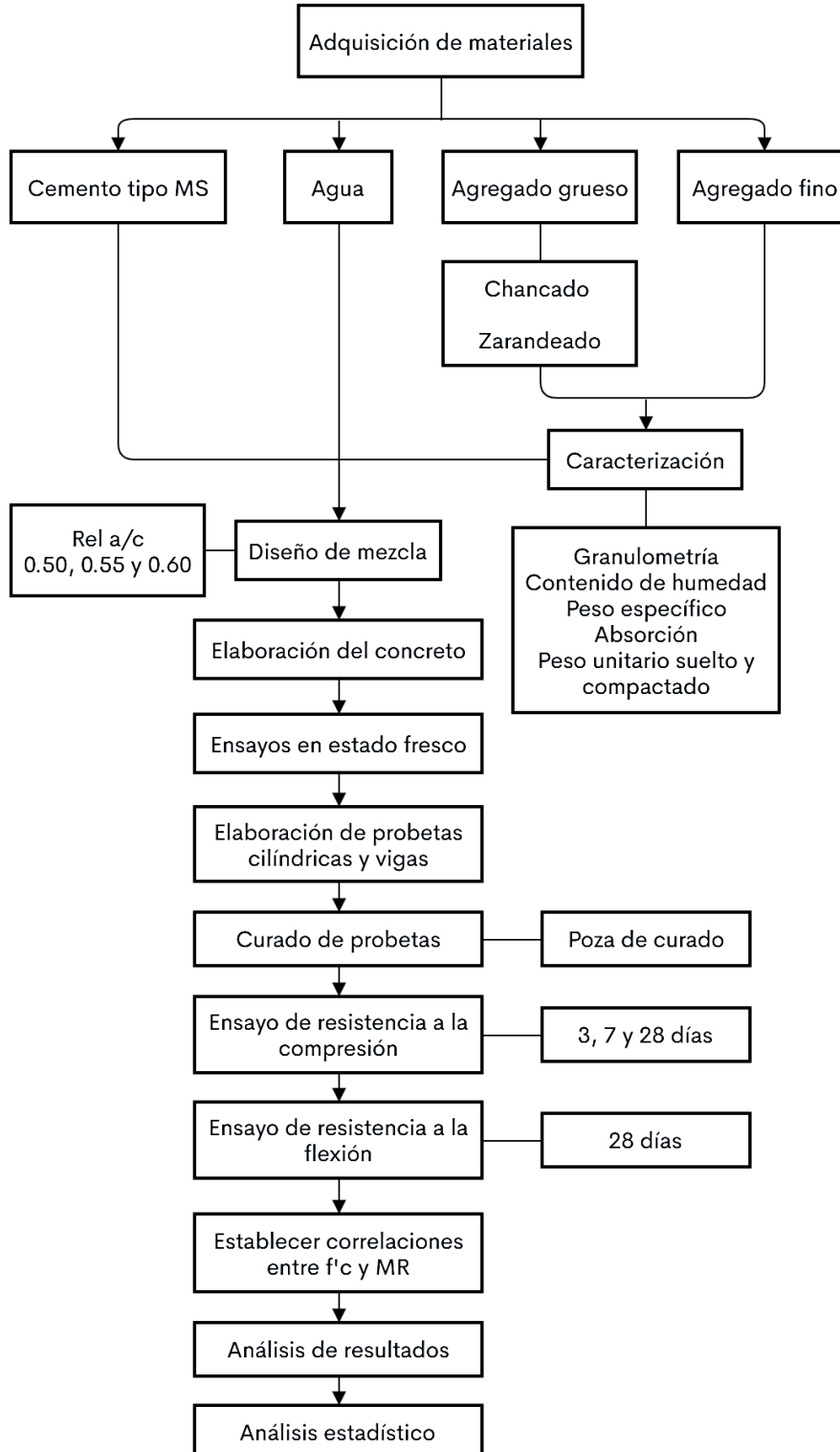
Autonomía, ya que la presente investigación será analizada mediante un software por nuestro asesor, con la finalidad de descartar todo tipo de plagio antes de su publicación.

Justicia, debido a que la presente investigación estará con libre acceso para todos aquellos investigadores interesados.

2.7. Procedimiento

Figura 1.

Procedimiento de la investigación



Fuente: Propia.

2.7.1. *Análisis granulométrico del agregado fino y grueso*

- Secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un período suficiente.
- Limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado.
- Con los datos obtenidos, se llena la siguiente tabla de acuerdo a los tamices usados según el tipo de agregado.
- Finalmente se halla el módulo de finura para ambos agregados haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{(\sum \% \text{retenido acumulado en las mallas } N^{\circ} 4 - N^{\circ} 100)}{100}$$

(NTP.400.012, 2013).

2.7.2. *Humedad de agregado grueso y fino*

- Determinar la masa de la muestra con una precisión del 0,1 %.
- Secar la muestra completamente en el recipiente por medio de la fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de las partículas.
- La muestra estará seca cuando su peso sea constante al cabo del tiempo necesario en el horno y la pérdida adicional de masa sea menor de 0.1%.
- Finalmente se deja enfriar las muestras el tiempo necesario y se pasa a registrar el peso final.

$$\%P = \frac{100(W - D)}{D}$$

Donde:

%P = Contenido de humedad.

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos.

D = Masa de la muestra seca en gramos.

(NTP.339.185, 2013).

2.7.3. *Peso unitario del agregado grueso y fino*

Peso unitario suelto

- Secar la muestra a temperatura constante antes de iniciar el ensayo, preferiblemente en una estufa a $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- Llenar el recipiente hasta el rebose con una pala o cucharón manteniendo al menos 50 mm por encima del borde superior. Tomar las precauciones a fin de evitar segregación en la muestra al momento de colocarla en el recipiente.
- Enrasar la superficie del recipiente y registrar el peso del recipiente más muestra (Gs) y la masa del recipiente vacío (T) con una exactitud al 0.05 kg.
- Hallar el Peso Unitario Suelto haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PUSS = \frac{Gs - T}{V}$$

Donde:

PUSS = Densidad de masa del agregado, kg/m³.

Gs = Masa del recipiente más muestra, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

Peso unitario compactado

- Secar la muestra a temperatura constante antes de iniciar el ensayo.
- Llenar el recipiente a 1/3 del total, nivelar la superficie con los dedos y apisonar 25 veces con la varilla de compactación de forma helicoidal de 60cm. Llenar

el recipiente a los 2/3 del total y nivelar y apisonar de la misma forma.

Finalmente, sobre rellenar el recipiente y apisonar de la misma manera anterior.

Nivelar con los dedos o una espátula.

- Registrar el peso del recipiente más muestra y la masa del recipiente vacío (T) con una exactitud al 0.05 kg.
- Finalmente hallar el Peso Unitario Compactado haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$PUSC = \frac{Gc - T}{V}$$

Donde:

PUSC = Densidad de masa del agregado, kg/m³.

Gc = Masa del recipiente más muestra, kg.

T = Masa del recipiente, kg.

V = Volumen del recipiente, m³.

(NTP.400.017, 2011).

2.7.4. *Peso específico y absorción de los agregados*

Ensayos peso específico y absorción del agregado grueso

- Secar la muestra de ensayo en una estufa hasta una masa constante a una temperatura de 110 °C ± 5 °C, enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h.
- Cubrir con agua el material seco por espacio de 24 ± 4 horas. Tener en consideración que el agua debe de estar al menos 2 cm por encima de la superficie del agregado grueso.
- Retirar la muestra del agua y hacer rodar sobre un paño absorbente grande, hasta que se eliminan todas las partículas visibles de agua.

- Determinar la masa de la muestra de ensayo, en la condición de superficie saturada seca. Anotar ésta y todas las masas posteriores cercanas a 0,5 g ó 0,05 % de la masa de la muestra, lo que sea más cercano.
- Después de la determinación de la masa en aire, colocar inmediatamente la muestra saturada superficialmente seca en el recipiente de la muestra y determinar su masa aparente en agua a $23\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$.
- Secar la muestra de ensayo en la estufa hasta una masa constante, a temperatura de $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, enfriar en aire a temperatura ambiente durante 1 h a 3 h, o hasta que el agregado se ha enfriado a una temperatura que es apropiada para la manipulación (aproximadamente 50 °C) y determinar la masa.

$$PeM = 997.5 \left[\frac{A}{B - C} \right]$$

$$\%Abs = \left[\frac{B - A}{A} \right] * 100$$

Donde:

A: Peso muestra seca al horno (g).

B: Peso de la muestra SSS, en el aire (g).

C: Peso sumergido de la muestra SSS (g).

(NTP.400.021, 2013).

Ensayos peso específico y absorción del agregado

- Inicialmente llenar el matraz con agua a un punto en el vástago entre el 0 y la marca de 1 ml. Anotar esta lectura inicial con el frasco y el contenido dentro del rango de temperatura de $23,0\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$.
- Agregar $55\text{ g} \pm 5\text{ g}$ de agregado fino en condición de saturada seca superficialmente (o según sea necesaria otra cantidad medida).
- Después de haber introducido todos los agregados finos, colocar el tapón en el frasco y rodar el frasco en posición inclinada o suavemente girar en un círculo

horizontal para desplazar todo el aire atrapado, continuando hasta que no haya más burbujas que suban a la superficie.

- Para la determinación de la absorción, usar una porción separada del agregado fino de saturada seca superficialmente de $500 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$, secar hasta masa constante y determinar la masa seca.

$$PeM = 997.5 \left[\frac{A}{B + S - C} \right] \qquad \%Abs = \left[\frac{S - A}{A} \right] * 100$$

Donde:

A: Peso muestra seca (g).

B: Peso del frasco lleno de agua hasta la marca de calibración (g).

S: Peso de la arena SSS (g).

C: Peso del frasco lleno con agua y arena (g).

(NTP.400.022, 2013).

2.7.5. Diseño de mezcla

El diseño de mezcla fue realizado según las pruebas de desempeño de las mezclas de concreto realizadas previamente.

2.7.6. Ensayos del concreto

Asentamiento del concreto

- Se humedece el molde de metal no atacable por pasta de cemento y se coloca sobre una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde se fija firmemente en su lugar durante el llenado pisando las aletas o asegurando las abrazaderas a la placa de base, manteniendo limpio el perímetro. Con la muestra de concreto obtenido, se llena el molde vaciando el concreto en tres capas, de modo que cada capa corresponda a aproximadamente a la tercera parte del volumen del molde.

- Cada capa se compacta aplicando 25 golpes con la barra compactadora cilíndrica de acero liso, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, que tiene su extremo de compactación, o ambos, redondeado a una semiesfera con un diámetro de 16 mm; distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección de la capa.
- El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa. Si como resultado de la operación de varillado hubiere una deficiencia material, se debe añadir la cantidad suficiente para mantener un exceso de concreto sobre la parte superior del molde en todo momento. Luego se procede a enrasar rodando la barra compactadora sobre el borde superior del molde. Se continúa asegurando el molde firmemente contra la base y se elimina el concreto sobrante alrededor del molde para evitar interferencias con el movimiento del concreto que se asienta. Se retira inmediatamente el molde del concreto levantándolo cuidadosamente en dirección vertical. Se levanta el molde una altura de 300 mm en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ con un movimiento ascendente firme, evitándose los movimientos laterales o torsionales. La operación completa desde el principio de llenado del molde hasta su retiro se hará sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2,5 min.
- Se mide inmediatamente el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la cara superior del cono deformado. En caso de que se presente una falla por corte, donde se aprecia una separación de una parte de la masa, este ensayo será desechado y debe realizarse uno nuevo con otra parte de la muestra.
(NTP.339.035, 2009).

Peso unitario del concreto

- Seleccionar el método de consolidación del hormigón (concreto) en ensayo, en función del asentamiento del mismo, a menos que el método esté definido en las especificaciones del trabajo que se está realizando.
- Colocar el hormigón (concreto) en el recipiente de medición usando la cuchara. Se mueve la cuchara alrededor del perímetro interno del recipiente de medición para asegurar una distribución homogénea del hormigón (concreto) con segregación mínima.
- Colocar el hormigón (concreto) en el recipiente de medición en tres capas de aproximadamente igual volumen. Apisonar cada capa con 25 golpes de la barra compactadora cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 14 L o más pequeños; 50 golpes cuando se utilicen recipientes de medida nominal de 28 L y un golpe por cada 15 cm² de superficie para recipientes de medición más grandes.
- Después de que cada capa ha sido apisonada se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, 10 a 15 veces, usando la fuerza apropiada para cerrar cualquier poro causado por la barra de apisonado y eliminar las burbujas grandes de aire atrapadas. Agregar la última capa para evitar el sobrellenado.
- En la consolidación de la capa final, el recipiente de medición no debe contener un exceso sustancial o falta de hormigón (concreto). Un exceso de hormigón que sobresale aproximadamente 3 mm sobre el borde superior del recipiente se considera óptimo.

- Se limpia todo el hormigón (concreto) en exceso y adherido a las paredes exteriores del recipiente de medición y luego se determina la masa del hormigón con una exactitud conforme los requisitos.
- Luego hallamos el Peso Unitario del concreto haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$Pu = \frac{Mc - Mm}{Vm}$$

Donde:

Pu: Peso unitario del concreto

Mc: Masa del recipiente de medida lleno de concreto.

Mm: Masa del recipiente de medida vacío.

Vm: Volumen del molde.

(NTP.339.046, 2008).

Elaboración de especímenes de concreto

- Para ensayo de resistencia a la compresión, se deben usar moldes de longitud dos veces su diámetro y el diámetro debe ser por lo menos tres veces el tamaño nominal máximo del agregado grueso; así mismo se debe usar una varilla de compactación de al menos 100 mm mayor que la profundidad del molde en el que se está realizando el envarillado, pero no mayor que 600 mm de longitud total, además tendrá su extremo de compactación, o ambos extremos, terminados en punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
- Para ensayos de resistencia a la flexión, los especímenes deben ser vigas de concreto colado y endurecido en la posición horizontal. La longitud debe ser al menos 2' (50 mm) más grande que tres veces la profundidad ensayada. La viga normalizada debe tener una sección transversal de 6" x 6" (150mm x 150 mm), y debe ser utilizada para concreto con un agregado grueso de un tamaño

nominal máximo de hasta 2" (50 mm), cuando esta exceda la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado. A menos que sea requerido por especificaciones de proyecto, las vigas hechas en obra no deben tener un ancho o profundidad de menos de 6" (150 mm).

- Se debe moldear los especímenes rápidamente sobre una superficie nivelada y rígida, libre de vibraciones y otras alteraciones, en un lugar tan cerca como sea posible a la localización de los ambientes donde serán almacenados; colocando el concreto en el molde el número requerido de capas de aproximadamente igual volumen. Apisonar cada capa con el extremo semiesférico de la barra compactadora, aplicando el número requerido de golpes. En la primera capa la barra debe penetrar hasta el fondo de la capa a través de su altura. En el apisonado de la capa se debe tener cuidado de no dañar la parte inferior del molde. Distribuir uniformemente los golpes de la barra sobre la sección transversal del molde. Para cada capa superior, la barra debe penetrar toda la capa a través de su altura, de manera que la barra penetre hasta la capa precedente aproximadamente 25 mm. Después de consolidar cada capa, se procederá con el martillo a golpear ligeramente las paredes del molde unas 10 a 15 veces, con el fin de eliminar los vacíos y burbujas de aire que puedan haber quedado atrapadas. Después de golpear los lados del molde, se acomoda el concreto de cada capa, a lo largo de los lados del molde cilíndrico y extremo del molde viga, con un badilejo o herramienta adecuada. Ajustar el faltante en los moldes que no fueron llenados completamente con una porción de concreto representativa durante la consolidación de la capa superior. Se debe remover el concreto en exceso en los moldes.

- Después de la consolidación de la última capa, dar el acabado a la superficie superior, utilizando la barra compactadora para enrasar, cuando la consistencia del concreto lo permita, o con una paleta de mano o badilejo.
- Marcar apropiadamente el exterior del espécimen con la información del concreto que ellos representan. Usar un método que no altere la superficie superior del concreto, no marcar las tapas removibles.

(NTP.339.033, 2015).

Curado de especímenes de concreto

- Inmediatamente después de moldeados y acabados, los especímenes deben ser almacenados por un periodo de hasta 48 h en un rango de temperatura entre 16 °C a 27 °C y en un ambiente que prevenga la pérdida de humedad de los especímenes. Para mezclas de concreto con una resistencia especificada de 40 MPa o mayor, la temperatura inicial de curado debe estar entre 20 °C y 26 °C. Se pueden emplear varios procedimientos que sean capaces de mantener, durante el periodo de curado inicial, las condiciones de humedad y temperatura especificadas. Proteger todos los especímenes de la luz directa del sol y, si se usan, de los dispositivos de calentamiento por radiación. La temperatura de almacenamiento debe ser controlada usando dispositivos de calentamiento y enfriamiento, como sea necesario. Registrar la temperatura usando un termómetro, máximo – mínimo.
- Luego de completar el curado inicial y dentro de los 30 min después de remover los moldes, los especímenes se deben curar manteniendo agua libre sobre sus superficies permanentemente a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, usando agua de tanques de almacenamientos que cumplan con la NTP.334.077.

(NTP.339.033, 2015).

2.7.7. Resistencia a la compresión del concreto

- Proteger los cilindros de la pérdida de humedad por cualquier método conveniente durante el periodo entre el retiro del almacenaje de humedad y el ensayo. Los cilindros serán ensayados en condición húmeda y tan pronto como sea práctico luego de retirarlos del almacenaje húmedo.
- Colocar el bloque de rotura inferior. Con la cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo directamente debajo del bloque de apoyo del asiento esférico (superior). Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las del espécimen de ensayo y colocar el espécimen sobre el bloque inferior de rotura. luego anotar el resultado dado por la máquina y hallar la resistencia a la compresión.

(NTP.339.034, 2015).

2.7.8. Resistencia a la flexión del concreto

- La prueba de flexión en especímenes con curado húmedo se realizará tan pronto como sea posible, luego de retirar de la cámara de curado.
- Se gira el espécimen sobre uno de los lados con respecto a la posición de moldeado y se centra sobre los bloques de apoyo. Centrar el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Llevar el bloque de aplicación de la carga en contacto con la superficie de la muestra en el centro y aplicar una carga entre 3 % y 6 % de la carga máxima estimada.
- Si no se obtiene un contacto completo entre la viga y las placas de aplicación de la carga o de apoyo será necesario refrentar, lijar o suplementar con tiras de cuero para eliminar toda diferencia de más de 0,10 mm. Las tiras de cuero deberán ser uniformes de 6 mm de espesor, de 25 a 50 mm de ancho y se extenderán a todo el ancho de la viga. Las irregularidades de más de 0,40 mm

deberán ser eliminadas solo por refrentado o esmerilado. El pulimento de las superficies laterales se debe minimizar tanto como sea posible, ya que puede cambiar las características físicas de la viga. El refrentado se deberá hacer de conformidad con las secciones pertinentes de la NTP.339.037.

- Cargar la viga de forma continua y sin impactos. Aplicar la carga a una velocidad constante hasta el punto de rotura. Aplicar la carga a una velocidad que incremente el esfuerzo en la fibra extrema, entre 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min.
- El módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Donde:

Mr: Es el módulo de rotura, en MPa.

P: Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N.

L: Es la longitud del tramo, mm.

b: Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

h: Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

(NTP.339.079, 2012).

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de agregados

Tabla 12.

Caracterización del agregado fino

AGREGADO FINO (ARENA ZARANDEADA)			
Ensayo	U.M.	Norma	Resultado
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.5
Peso específico	gr/cm ³	NTP 400.022	2.65
Absorción	%	NTP 400.022	1.0
Peso unitario suelto	kg/m ³	NTP 400.017	1612
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP 400.017	1771
Módulo de finura	-		2.97

Se presentan los valores promedio de cada ensayo realizado al agregado fino (arena zarandeada), los cuales siguieron las normas enumeradas y servirán para desarrollar los diseños de mezcla.

Fuente: Propia.

Tabla 13.

Caracterización del agregado grueso 1

AGREGADO GRUESO (PIEDRA ZARANDEADA HUSO 67)			
Ensayo	U.M.	Norma	Resultado
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.5
Peso específico	gr/cm ³	NTP 400.021	2.69
Absorción	%	NTP 400.021	1.4
Peso unitario suelto	kg/m ³	NTP 400.017	1523
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP 400.017	1692
Módulo de finura	-		6.57

Se presentan los valores promedio de cada ensayo realizado al agregado grueso 1 (piedra zarandeada), los cuales siguieron las normas enumeradas y servirán para desarrollar los diseños de mezcla.

Fuente: Propia.

Tabla 14.

Caracterización del agregado grueso 2

AGREGADO GRUESO (PIEDRA CHANCADA HUSO 67)			
Ensayo	U.M.	Norma	Resultado
Contenido de humedad	%	NTP 339.185	0.4
Peso específico	gr/cm ³	NTP 400.021	2.72
Absorción	%	NTP 400.021	0.9
Peso unitario suelto	kg/m ³	NTP 400.017	1369
Peso unitario compactado	kg/m ³	NTP 400.017	1557
Módulo de finura	-		6.79

Se presentan los valores promedio de cada ensayo realizado al agregado grueso 2 (piedra chancada), los cuales siguieron las normas enumeradas y servirán para desarrollar los diseños de mezcla.

Fuente: Propia.

3.2. Diseño de mezcla para cada tipo de cemento con $f'c=210$ kg/cm² y 3''-4'' de
Asentamiento teórico

Tabla 15.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.50

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	183	5.50
Arena	891	26.72
P. Zarandeada H67	979	29.38
TOTAL	2393	71.80

Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso zarandeado y relación a/c de 0.50, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

Tabla 16.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.55

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	200	6.00
Arena	869	26.07
P. Zarandeada H67	955	28.66
TOTAL	2364	70.93

Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso zarandeado y relación a/c de 0.55, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

Tabla 17.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 1 y rel a/c = 0.60

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	217	6.50
Arena	847	25.41
P. Zarandeada H67	932	27.95
TOTAL	2335	70.06

Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso zarandeado y relación a/c de 0.60, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

Tabla 18.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.50

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	179	5.38
Arena	891	26.72
P. Chancada H67	989	29.68
TOTAL	2399	71.98

Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso chancado y relación a/c de 0.50, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

Tabla 19.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.55

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	196	5.88
Arena	869	26.07
P. Chancada H67	965	28.96
TOTAL	2370	71.10

Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso chancado y relación a/c de 0.55, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

Tabla 20.

Diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso 2 y rel a/c = 0.60

Material	Peso (kg/m³)	Tanda 30L (kg)
Cemento Pacasmayo MS	340	10.20
Agua	213	6.39
Arena	847	25.41
P. Chancada H67	941	28.23
TOTAL	2341	70.23

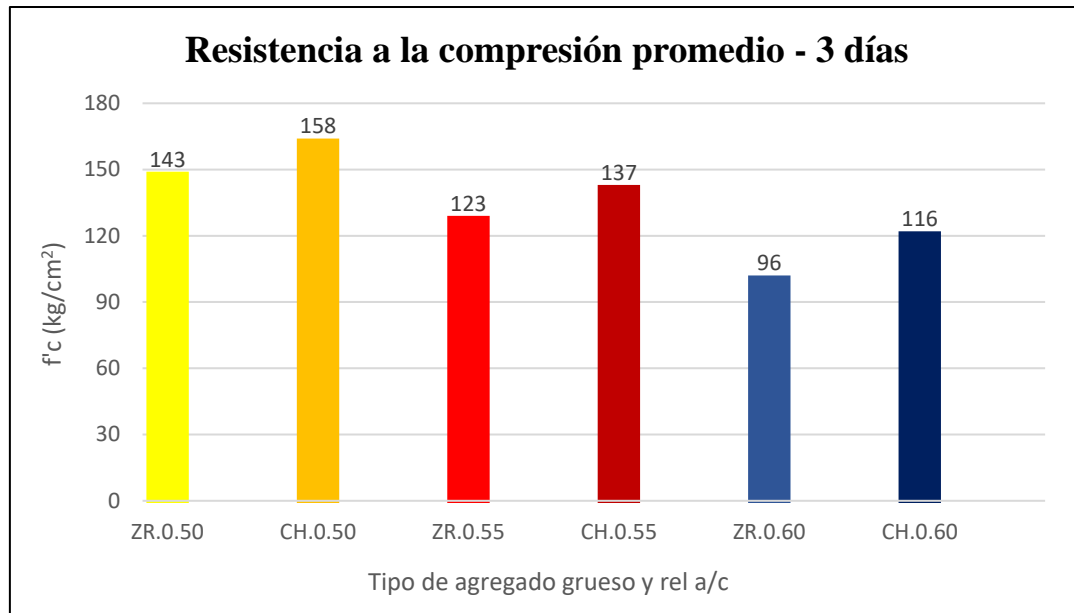
Se presenta el diseño de mezcla para el concreto con agregado grueso chancado y relación a/c de 0.60, detallando los pesos de cada material a utilizar para una tanda de 30L, en cumplimiento con el mínimo estipulado por la NTP.339.036.

Fuente: Propia.

3.3. Resistencia a la compresión del concreto

Figura 2.

Resultados de resistencia a la compresión a 3 días

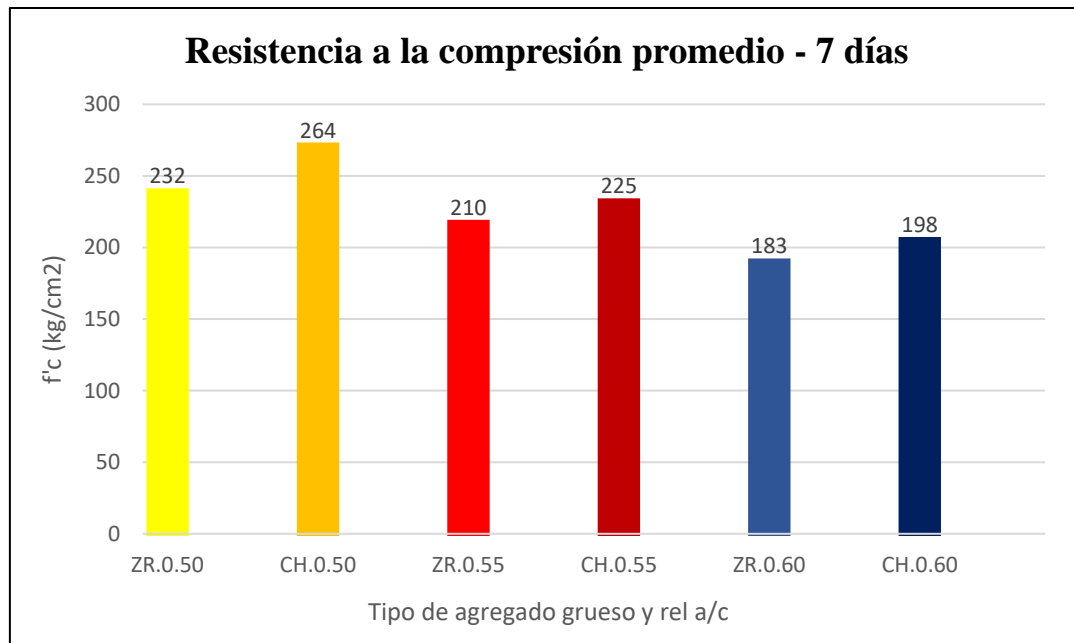


Se presentan los valores de resistencia a la compresión, a la edad de 3 días, para los concretos elaborados con los diferentes tipos de agregado grueso y relación a/c; notando que el valor máximo de 158kg/cm² se obtuvo en la mezcla con piedra chancada a una relación a/c de 0.50.

Fuente: Propia.

Figura 3.

Resultados de resistencia a la compresión a 7 días

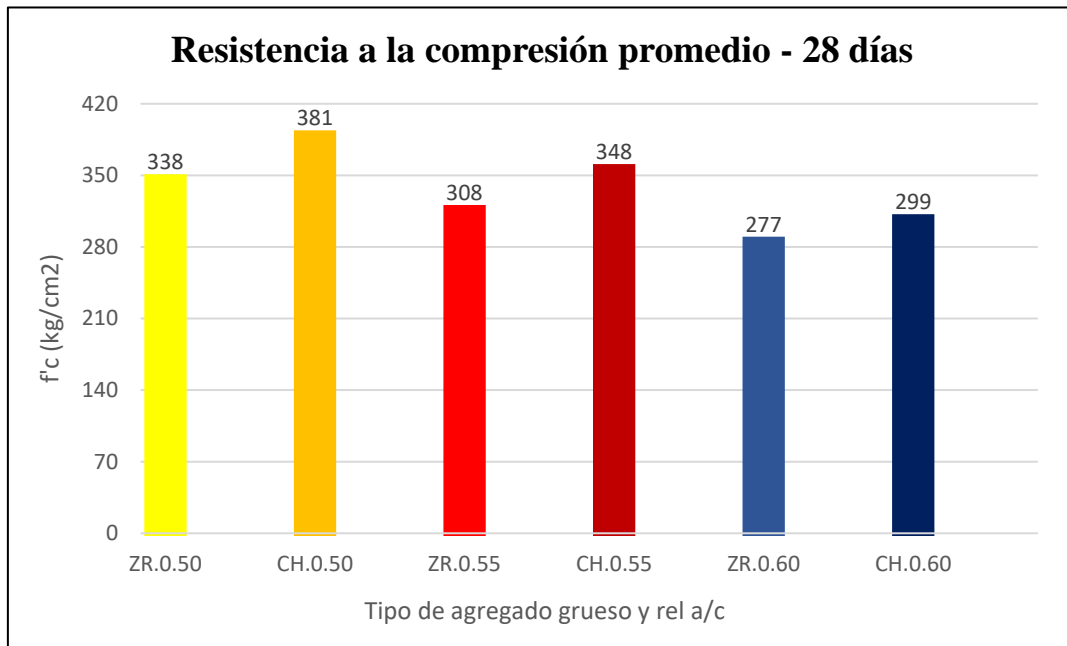


Se presentan los valores de resistencia a la compresión, a la edad de 7 días, para los concretos elaborados con los diferentes tipos de agregado grueso y relación a/c; notando que el valor máximo de 264kg/cm² se obtuvo en la mezcla con piedra chancada a una relación a/c de 0.50.

Fuente: Propia.

Figura 4.

Resultados de resistencia a la compresión a 28 día



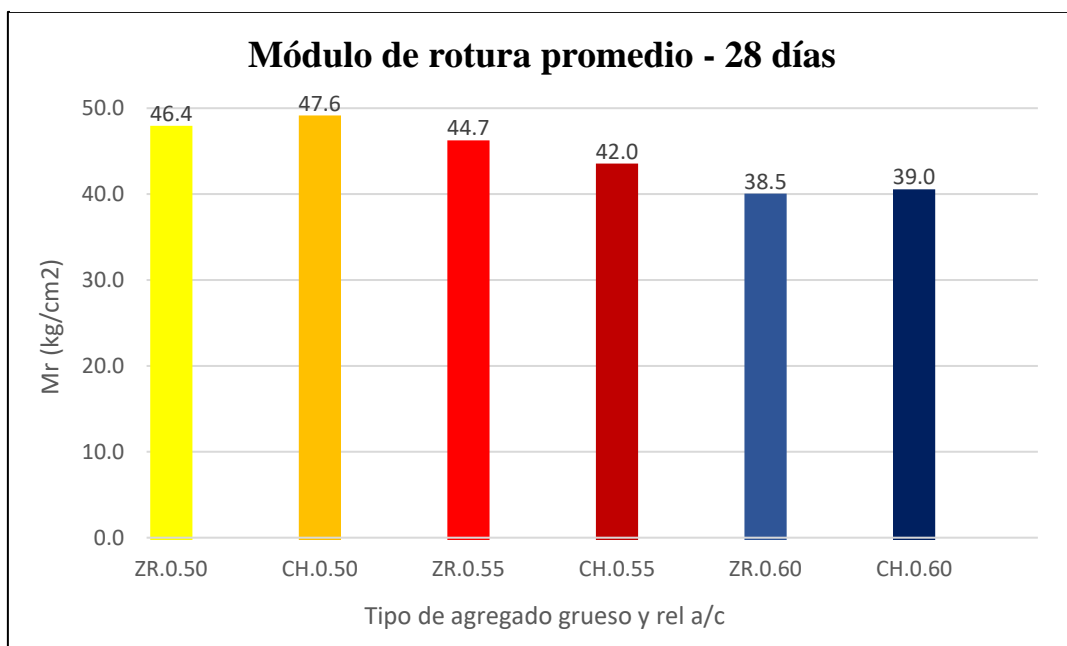
Se presentan los valores de resistencia a la compresión, a la edad de 28 días, para los concretos elaborados con los diferentes tipos de agregado grueso y relación a/c; notando que el valor máximo de 381kg/cm² se obtuvo en la mezcla con piedra chancada a una relación a/c de 0.50.

Fuente: Propia.

3.4. Módulo de rotura del concreto

Figura 5.

Resultados de resistencia a la compresión a 28 días



Se presentan los valores de módulo de rotura, a la edad de 28 días, para los concretos elaborados con los diferentes tipos de agregado grueso y relación a/c; notando que el valor máximo de 47.6kg/cm² se obtuvo en la mezcla con piedra chancada a una relación a/c de 0.50.

Fuente: Propia.

3.5. Correlación

Tabla 21.

Correlaciones entre resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto

EDAD	TIPO DE A.G.	REL A/C	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (KG/CM ²)		MÓDULO DE ROTURA (KG/CM ²)		COEFICIENTES DE PROPORCIÓN			VERIFICACIÓN AASHTO 93 Y ACI 363
			f'c	prom f'c	MR	prom MR	%	Lineal (X) MR = X*(f'c)	Potencial (K) MR = K*(f'c) ^{1/2}	
28 DIAS DE CURADO	A.G. ZARANDEADO	RAC=0.50	335.3	338.0	44.7	46.4	13.33	0.13	2.44	CUMPLE
			336.7		45.6		13.54	0.14	2.49	CUMPLE
			338.1		46.3		13.69	0.14	2.52	CUMPLE
			338.4		47.2		13.95	0.14	2.57	CUMPLE
			339.3		47.3		13.94	0.14	2.57	CUMPLE
			340.2		47.3		13.90	0.14	2.56	CUMPLE
		RAC=0.55	303.6	42.9	14.13	0.14	2.46	CUMPLE		
			306.4	43.6	14.23	0.14	2.49	CUMPLE		
			306.9	43.8	14.27	0.14	2.50	CUMPLE		
			308.8	45.4	14.70	0.15	2.58	CUMPLE		
			309.8	45.7	14.75	0.15	2.60	CUMPLE		
			310.4	46.5	14.98	0.15	2.64	CUMPLE		
		RAC=0.60	266.2	37.1	13.94	0.14	2.27	CUMPLE		
			270.1	37.2	13.77	0.14	2.26	CUMPLE		
			278.8	38.6	13.85	0.14	2.31	CUMPLE		
			280.6	38.9	13.86	0.14	2.32	CUMPLE		
			283.5	39.5	13.93	0.14	2.35	CUMPLE		

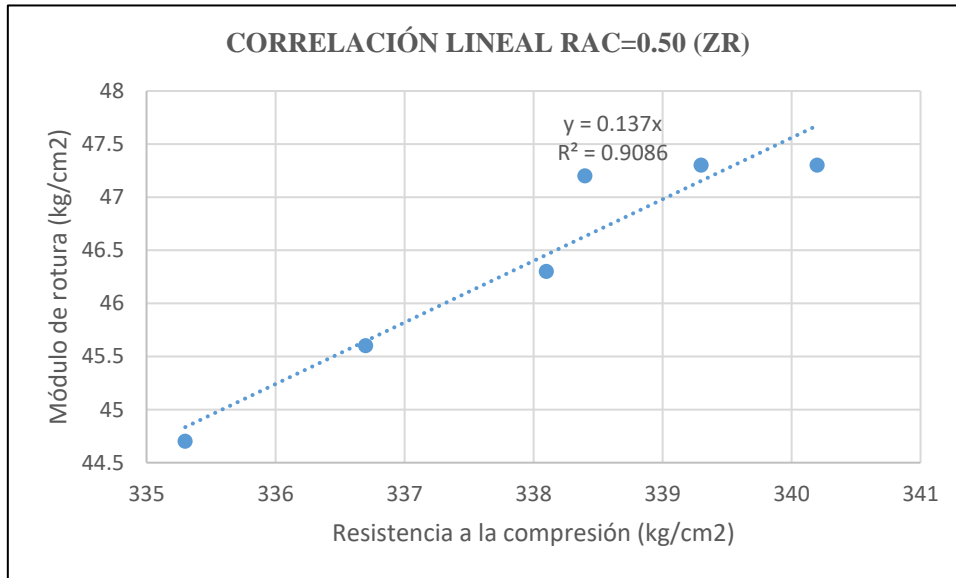
28 DIAS DE CURADO	A.G. CHANCADO		285.3	39.8		13.95	0.14	2.36	CUMPLE
			369.4	44.0		11.91	0.12	2.29	CUMPLE
			375.6	45.6		12.14	0.12	2.35	CUMPLE
		RAC=0.50	378.8	47.1	47.6	12.43	0.12	2.42	CUMPLE
			381.0	48.4		12.70	0.13	2.48	CUMPLE
			389.1	50.0		12.85	0.13	2.53	CUMPLE
			393.2	50.5		12.84	0.13	2.55	CUMPLE
			340.1	40.0		11.76	0.12	2.17	CUMPLE
			341.0	40.1		11.76	0.12	2.17	CUMPLE
		RAC=0.55	345.5	41.6	42.0	12.04	0.12	2.24	CUMPLE
			350.1	42.9		12.25	0.12	2.29	CUMPLE
			351.8	43.4		12.34	0.12	2.31	CUMPLE
			360.3	44.2		12.27	0.12	2.33	CUMPLE
			295.6	36.2		12.25	0.12	2.11	CUMPLE
			297.8	37.3		12.53	0.13	2.16	CUMPLE
		RAC=0.60	298.0	39.1	39.0	13.12	0.13	2.27	CUMPLE
			299.4	40.0		13.36	0.13	2.31	CUMPLE
			300.3	40.5		13.49	0.13	2.34	CUMPLE
	301.2	40.9		13.58	0.14	2.36	CUMPLE		

Se muestran dos tipos de correlaciones entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura, una del tipo lineal y la otra del tipo potencial; donde para todos los casos, el coeficiente "K" de la correlación potencial cumple con lo establecido por el ACI 363 y por AASTHO 93.

Fuente: Propia.

Figura 6.

Correlación lineal RAC=0.50 (ZR)

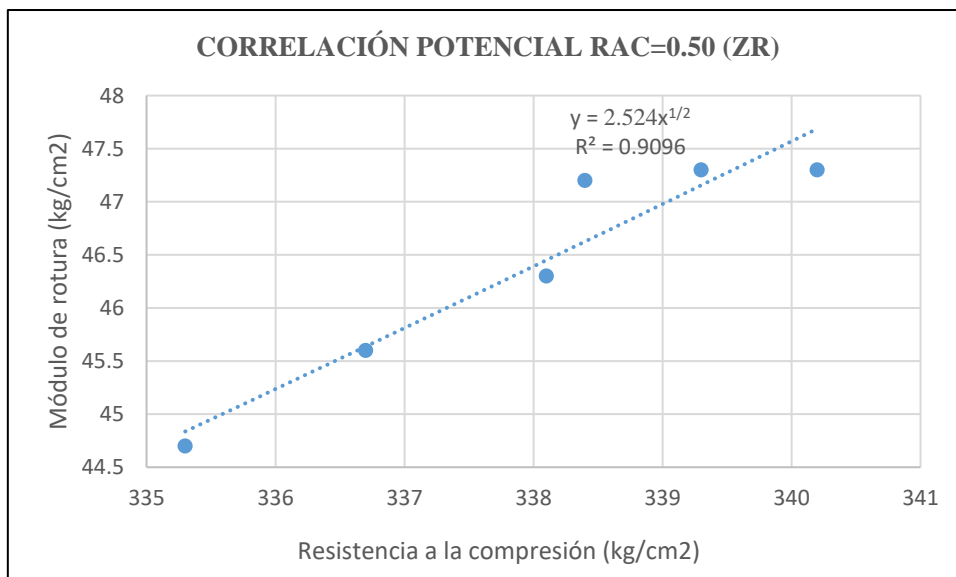


Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.50, cuya expresión resulta $MR=0.137 \cdot f'c$ a una confiabilidad de 91%.

Fuente: Propia.

Figura 7.

Correlación potencial RAC=0.50 (ZR)

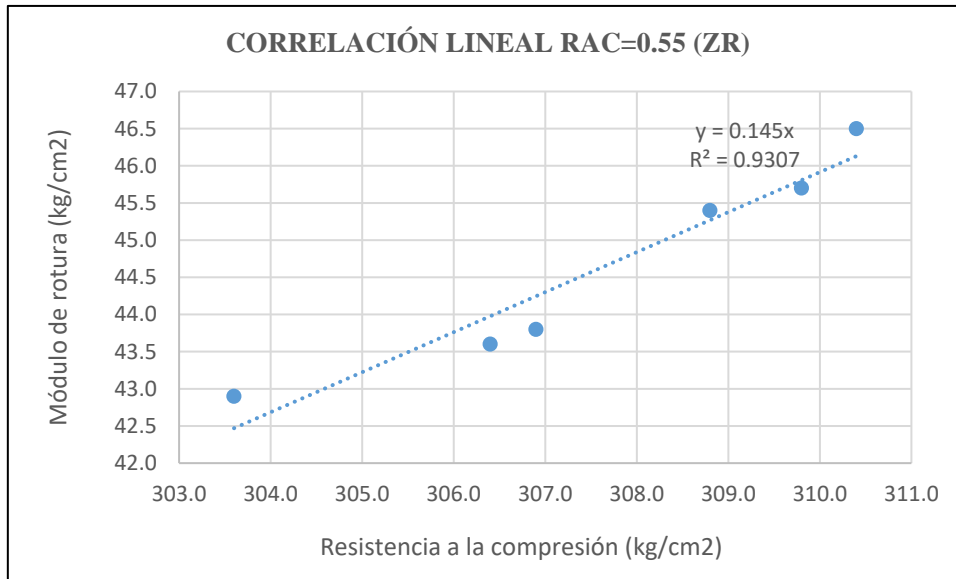


Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.50, cuya expresión resulta $MR=2.524 \cdot \sqrt{f'c}$ a una confiabilidad de 91%.

Fuente: Propia.

Figura 8

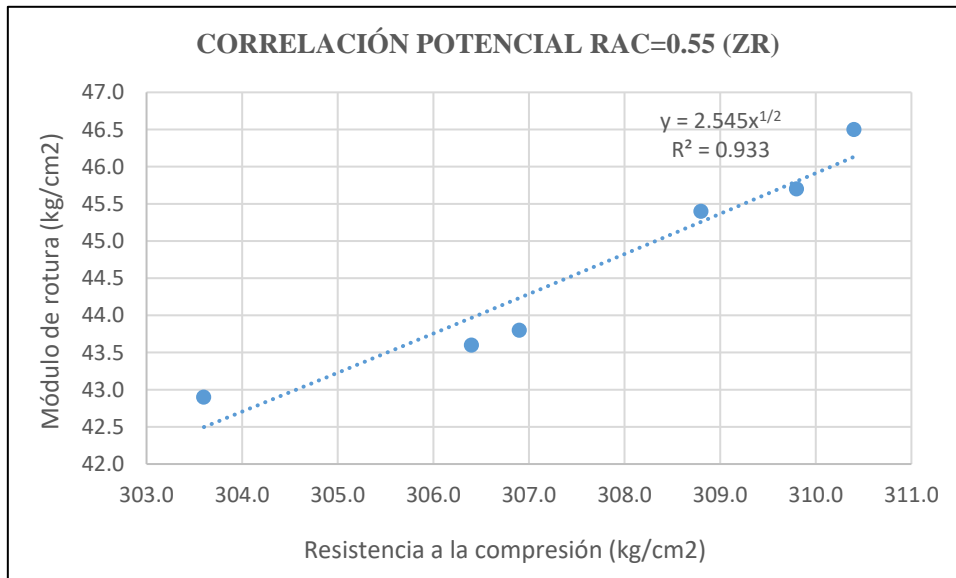
Correlación lineal RAC=0.55 (ZR)



Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.55, cuya expresión resulta $MR=0.145 \cdot f'c$ a una confiabilidad de 93%. Fuente: Propia.

Figura 9.

Correlación potencial RAC=0.55 (ZR)

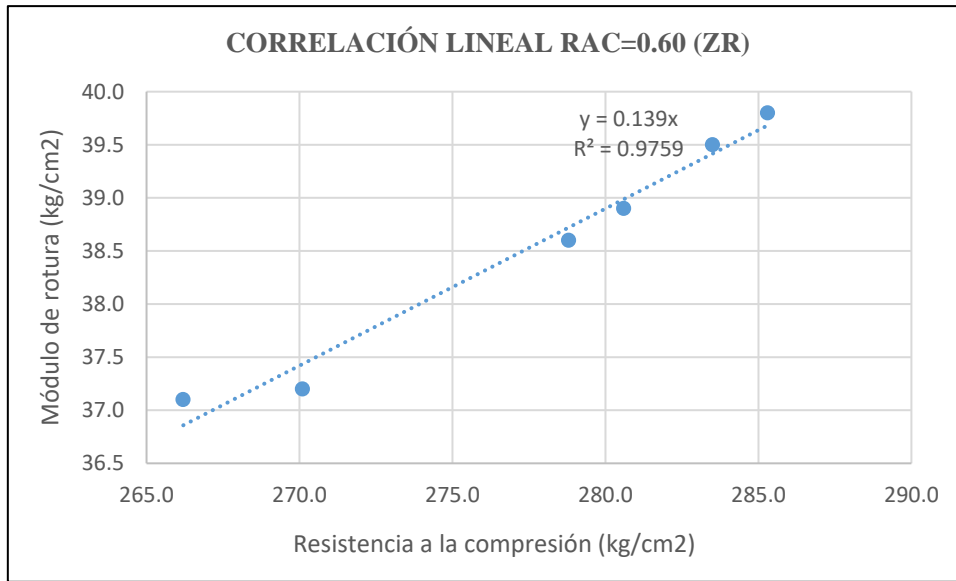


Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.55, cuya expresión resulta $MR=2.545 \cdot \sqrt{f'c}$ a una confiabilidad de 93%.

Fuente: Propia.

Figura 10.

Correlación lineal RAC=0.60 (ZR)

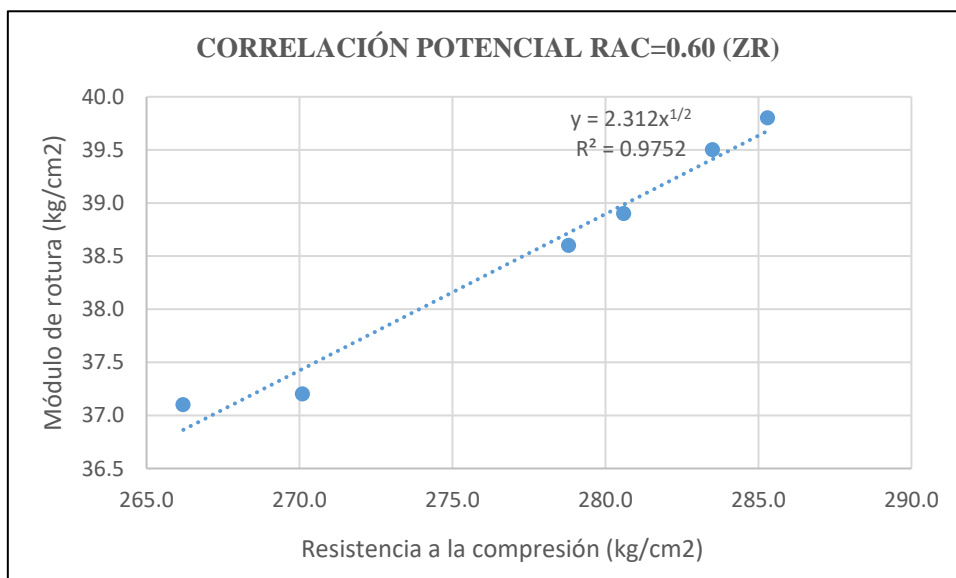


Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.60, cuya expresión resulta $MR=0.139f^c$ a una confiabilidad de 98%.

Fuente: Propia.

Figura 11.

Correlación potencial RAC=0.60 (ZR)

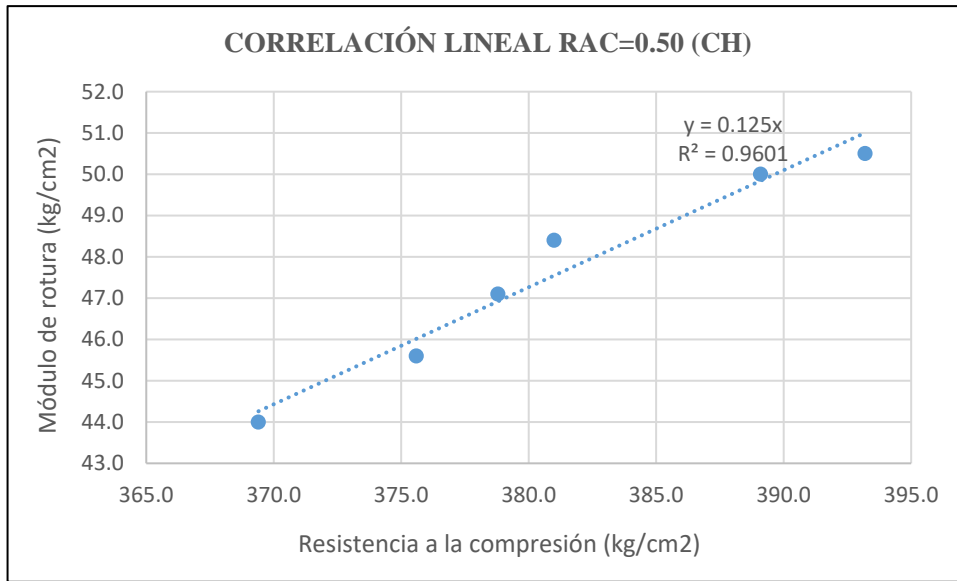


Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso zarandeado y una relación a/c de 0.60, cuya expresión resulta $MR=2.312*\sqrt{f^c}$ a una confiabilidad de 98%.

Fuente: Propia.

Figura 12.

Correlación lineal RAC=0.50 (CH)

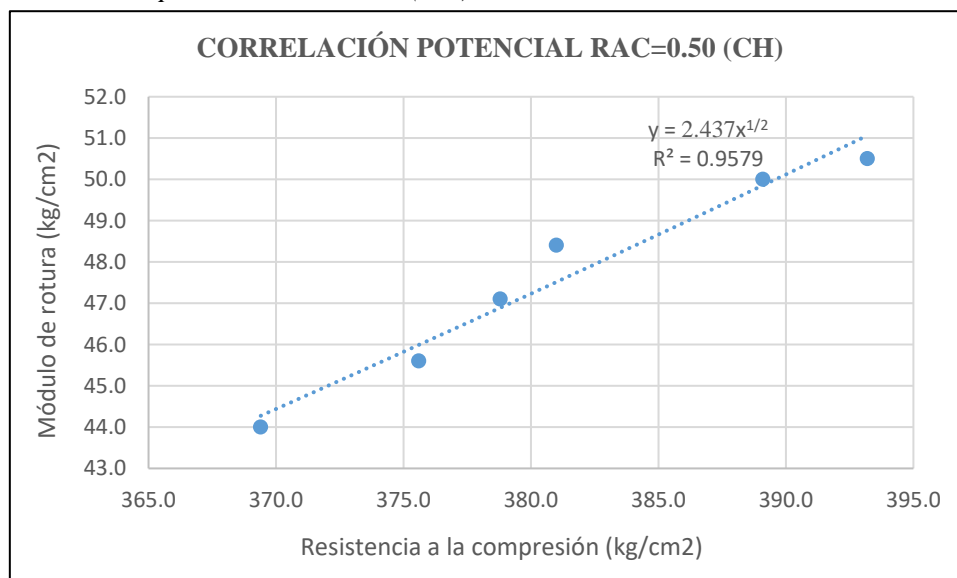


Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.50, cuya expresión resulta $MR=0.125f^c$ a una confiabilidad de 96%.

Fuente: Propia.

Figura 13.

Correlación potencial RAC=0.50 (CH)

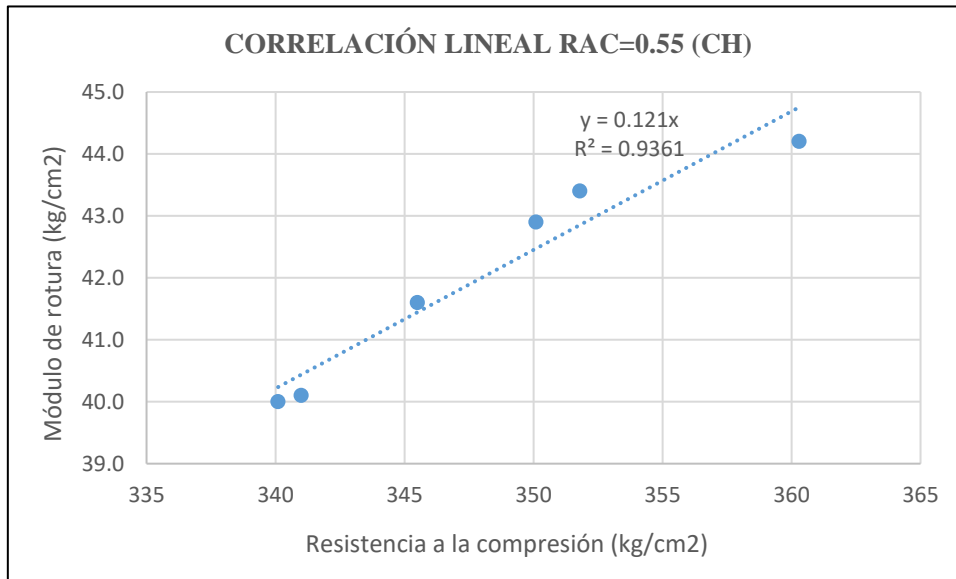


Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.50, cuya expresión resulta $MR=2.437*\sqrt{f^c}$ a una confiabilidad de 96%.

Fuente: Propia.

Figura 14.

Correlación lineal RAC=0.55 (CH)

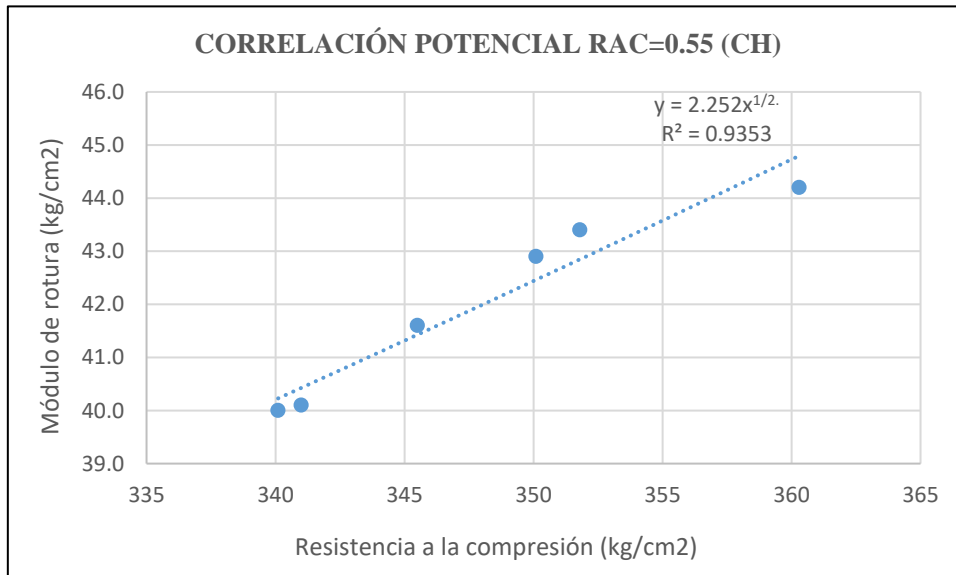


Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.55, cuya expresión resulta $MR=0.121f^c$ a una confiabilidad de 94%.

Fuente: Propia.

Figura 15.

Correlación potencial RAC=0.55 (CH)

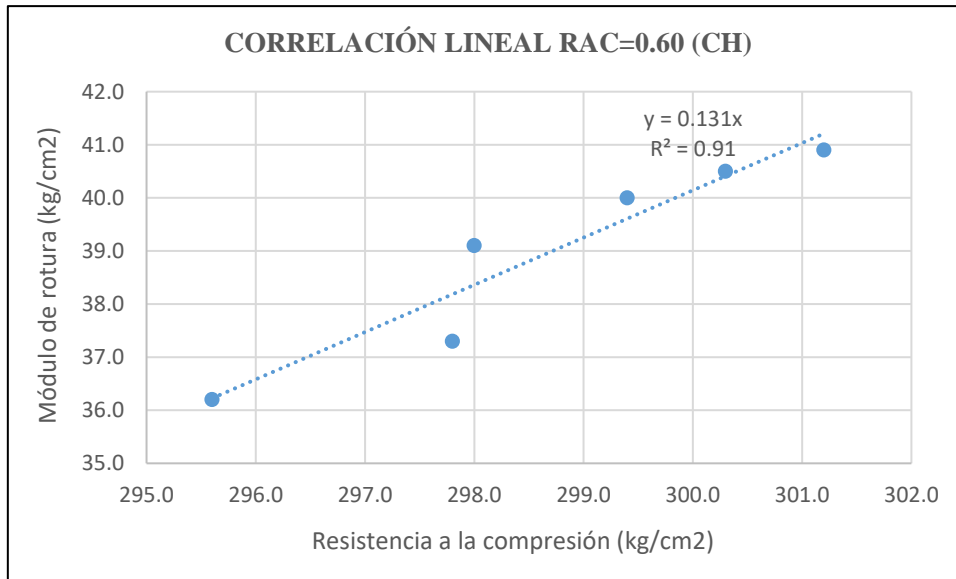


Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.55, cuya expresión resulta $MR=2.252*\sqrt{f^c}$ a una confiabilidad de 94%.

Fuente: Propia.

Figura 16.

Correlación lineal RAC=0.60 (CH)

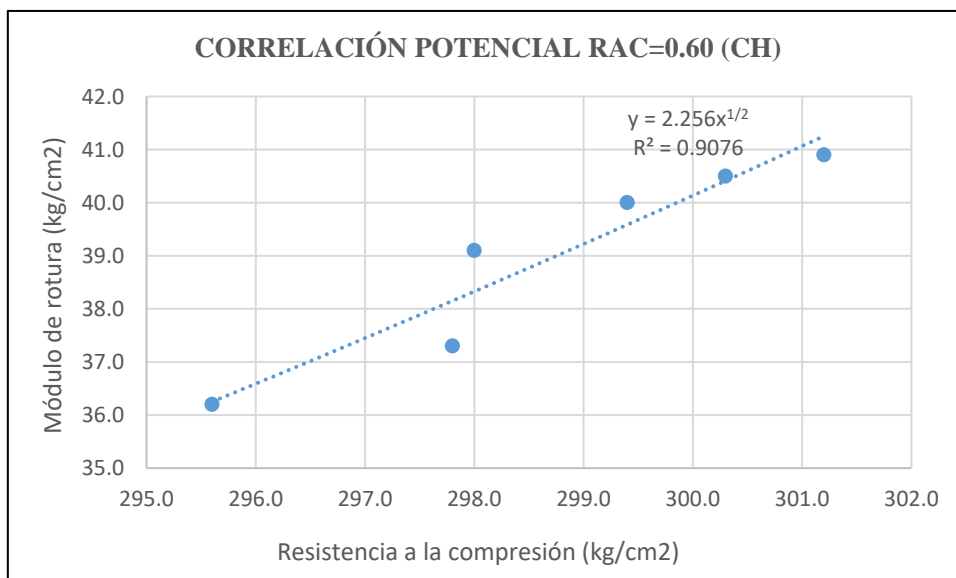


Se muestra la correlación de tipo lineal generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.60, cuya expresión resulta $MR=0.131f^c$ a una confiabilidad de 91%.

Fuente: Propia.

Figura 17.

Correlación potencial RAC=0.60 (CH)



Se muestra la correlación de tipo potencial generada a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura del concreto elaborado con agregado grueso chancado y una relación a/c de 0.60, cuya expresión resulta $MR=2.256*\sqrt{f^c}$ a una confiabilidad de 91%.

Fuente: Propia.

3.6. Prueba de hipótesis

Tabla 22.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.50 y agregado grueso zarandeado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,953**
	Sig. (bilateral)		,003
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,953**	1
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

Tabla 23.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.55 y agregado grueso zarandeado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,965**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,965**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

Tabla 24.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.60 y agregado grueso zarandeado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,988**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,988**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

Tabla 25.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.50 y agregado grueso chancado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,980**
	Sig. (bilateral)		,001
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,980**	1
	Sig. (bilateral)	,001	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

Tabla 26.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.55 y agregado grueso chancado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,968**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,968**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

Tabla 27.

Prueba de hipótesis para el concreto rel a/c 0.60 y agregado grueso chancado

Correlaciones			
		Resistencia a la compresión	Módulo de rotura
Resistencia a la compresión	Correlación de Pearson	1	,954**
	Sig. (bilateral)		,003
	N	6	6
Módulo de rotura	Correlación de Pearson	,954**	1
	Sig. (bilateral)	,003	
	N	6	6

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral)

Se muestra una significancia menor al 5%, permitiendo afirmar que existe una correlación entre ambas variables, por otro lado, debido a que la correlación de Pearson resulta por encima de 0.50, se afirma también que las variables presentan una correlación alta.

Fuente: Propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Con la finalidad de aceptar o rechazar la hipótesis, se analizaron los valores de resistencia promedio a la compresión y flexión por cada tipo de concreto elaborado haciendo uso del software estadístico SPSS Statistics, logrando determinar estadísticamente que para los seis diferentes casos existen una correlación entre ambas variables en estudio, asimismo, en base a los resultados arrojados por ser mayores a 0.05, se logra afirmar que las variables presentan correlaciones altas.

Para realizar los diseños de mezcla del concreto, primero se caracterizaron los agregados, empezando por el agregado fino, encontrando en primer lugar, mediante el análisis granulométrico de acuerdo a la NTP.400.012, al primer retenido en el tamiz N°4; por otra parte, el módulo de finura fue de 2.97, clasificándose como una arena gruesa ya que se encuentra entre 2.3 y 3.1 según lo establecido por la NTP 400.037. Para el ensayo de contenido de humedad, según a lo indicado por la NTP.339.185, se obtuvo un valor de 0.5%. El ensayo de peso específico y absorción según la NTP.400.022 arrojó valores de 2.65 gr/cm³ y 1.00% respectivamente. Para el ensayo de peso unitario suelto y compactado de acuerdo a lo indicado en la NTP 400.017, se alcanzaron valores de 1612 kg/m³ y 1771 kg/m³ respectivamente. Luego se procedió con la caracterización de los dos tipos de agregado grueso, el primero fue el zarandeado, obteniendo un TMN de ¾” perteneciendo de esta manera al Huso 67, la curva del agregado mencionado se ajusta dentro de los límites establecidos por la NTP.400.037; por otra parte, el módulo de finura fue de 6.57. El contenido de humedad en base a la NTP.339.185, para una cantidad de 2 muestras, alcanzó un valor de 0.5%. Para el ensayo de peso específico y absorción según lo estipulado en la NTP.400.021, se obtuvieron valores de 2.69 gr/cm³ y 1.4% respectivamente. Para

el ensayo de peso unitario suelto y compactado de acuerdo a lo indicado en la NTP 400.017, se alcanzaron valores de 1523 kg/m³ y 1692 kg/m³ respectivamente. Por otro lado, el segundo agregado grueso analizado fue el chancado, el cual también pertenece al Huso 67, donde su curva se ajusta dentro de los límites establecidos por la NTP.400.037; por otra parte, el módulo de finura fue de 6.79. El contenido de humedad en base a la NTP.339.185, para una cantidad de 2 muestras, alcanzó un valor de 0.4%. Para el ensayo de peso específico y absorción según lo estipulado en la NTP.400.021, se obtuvieron valores de 2.72 gr/cm³ y 0.9 % respectivamente. Para el ensayo de peso unitario suelto y compactado de acuerdo a lo indicado en la NTP 400.017, se alcanzaron valores de 1369 kg/m³ y 1557 kg/m³ respectivamente. Conociendo las características de los agregados en cuanto a los ensayos mencionados, el peso específico del cemento usado y proyectando un concreto de consistencia plástica; se realizaron seis diseños de mezcla, obteniendo el peso de cada material a utilizar, luego, con la intención de cumplir con lo estipulado en la NTP.339.036, se proyectaron los pesos para una tanda de 30L, sobrepasando los 28 mínimos. En las figuras N°5, N°6 y N°7, se muestran los valores de resistencia a la compresión alcanzados por los 6 tipos de concreto para edades de 3, 7 y 28 días de curado respectivamente; observando que, para todas las edades, el concreto elaborado con agregado grueso chancado a una relación a/c de 0.50 fue el que alcanzó las mayores resistencias. De la misma forma, en la figura N°8 se muestran los valores de módulo de rotura alcanzados por los 6 tipos de concreto para la edad de 28 días de curado; observando que, el concreto elaborado con agregado grueso chancado a una relación a/c de 0.50 fue el que alcanzó la mayor resistencia. En la tabla N°57 se aprecian las correlaciones logradas a partir de los resultados de resistencia a la compresión y módulo de rotura, las mismas que se dividen en tipo lineal y tipo

potencial; la primera coincide con los resultados que en sus investigaciones arrojó la NRMCA, cuyos valores MR se encuentran entre 10% y 20% de $f'c$; y la segunda en cumplimiento con lo que indican el ACI 363 y AASHTO93, cuyo valor de la constante “K” se encuentra entre 1.86 y 3.18. En las figuras N°9, hasta la N°20, se evidencian las correlaciones de tipo lineal y potencial de manera desagregada, observando que, según la dispersión de los valores, las expresiones tienen un nivel de confiabilidad R^2 alrededor del 95%, garantizando así el uso eficiente de las mismas.

La presente investigación se planteó como objetivo principal determinar la correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido usando diferentes tipos de agregado grueso y relación agua/cemento, Trujillo 2021; la misma que consideró diferentes antecedentes nacionales e internacionales, siendo el primero de ellos la investigación de Maluf & Pistilli (2019), quienes concluyeron que existe una variación en el espesor del pavimento de hasta ± 3 cm con el uso de las distintas correlaciones, además, el uso de una apropiada correlación podría conllevar a un ahorro o sobre costo de hasta 10.000 USD/km; por esa razón es importante que las correlaciones tengan un grado alto de confiabilidad tal y como sucede en nuestro estudio, donde los valores R^2 se encuentran alrededor del 95%; lo que también le ayuda a concluir a Crespo (2018) que un muy buen coeficiente de correlación alrededor de 0.9 da una muy buena percepción de la confiabilidad de los ensayos, permitiendo a consultores y productores a hacer uso de las funciones expresadas para diseños de pavimentos rígidos.

Otro antecedente es la investigación de García (2010), quién concluyó que sus valores K encontrados para las mezclas de 210kg/cm² y 350kg/cm² se encuentran

dentro del rango establecido en el ACI; sin embargo, para las mezclas de 280kg/cm², el valor constante K se encuentra ligeramente superior a la norma en casi 2%, donde, en comparación con nuestro estudio, los 6 tipos de concreto diseñados para $f'c=210\text{kg/cm}^2$ también cumplen con el rango propuesto por dicha norma, el mismo que oscila entre 1.86 y 3.18; siendo los valores promedio de 2.524, 2.545, 2.312, 2.437, 2.252 y 2.256 para las mezclas ZR0.50, ZR0.55, ZR0.60, CH0.50, CH0.55 y CH0.60 respectivamente.

De la misma forma, en sus investigaciones, Cubas & Tafur (2019) y Robles & Sánchez (2015), luego de determinar diferentes correlaciones concluyeron que los valores “K” para las expresiones de tipo potencial se encuentran dentro del rango estipulado tanto por el ACI 363 como por AASHTO 93; y, en comparación con nuestro estudio, los 6 tipos de concreto elaborados también cumplen con el rango propuesto por dichas normas.

Esta investigación tiene como unidad de estudio al concreto, donde, los resultados presentados se le asocian por pertenecer a sus propiedades en estado endurecido.

Finalmente, en este estudio se demostró que se puede determinar una propiedad del concreto mediante expresiones en función de otra, tal es el caso del módulo de rotura y de la resistencia a la compresión; lo que sirve para optimizar tiempo y costos al momento de elaborar pavimentos rígidos siempre y cuando estas correlaciones cuenten con un grado de confiabilidad alto.

4.2. Conclusiones

- Se determinó la correlación del módulo de rotura y resistencia a la compresión de un concreto para pavimento rígido usando diferentes tipos de agregado grueso y relación agua/cemento; obteniendo dos tipos de expresiones a la edad de 28 días, una lineal y otra potencial, para cada tipo de concreto.
- Se logró determinar las características del agregado fino y de los dos tipos de agregado grueso, chancado y zarandeado, obtenidos de la cantera Quebrada El León, de acuerdo a las normas vigentes para el diseño y construcción de un pavimento rígido; cuyos resultados sirvieron en la elaboración de los distintos diseños de mezcla para cada relación a/c de 0.50, 0.55 y 0.60 por cada tipo de agregado grueso; teniendo en cuenta un concreto con $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ de consistencia plástica cuyo asentamiento teórico oscila entre 3'' a 4''.
- Se logró determinar la resistencia a la compresión del concreto mediante probetas cilíndricas curadas a 3,7 y 28 días; donde, los resultados arrojados mostraron que para todas las edades se obtienen mejores valores para los concretos elaborados con piedra chancada y con la relación a/c de 0.50, siendo éstos 158 kg/cm^2 , 264 kg/cm^2 y 381 kg/cm^2 respectivamente.
- Se logró determinar el módulo de rotura mediante el ensayo a flexión de vigas de concreto curadas a 28 días, donde, de igual manera, el mejor valor de 47.6 kg/cm^2 se obtuvo para el concreto elaborado con piedra chancada a una relación a/c de 0.50.
- Se logró determinar la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, obteniendo las siguientes expresiones lineales, $MR=0.137*f'_c$, $MR=0.145*f'_c$, $M=0.139*f'_c$, $MR=0.125*f'_c$, $MR=0.121*f'_c$ y $MR=0.131*f'_c$ para los concretos de tipo ZR(0.50), ZR(0.55), ZR(0.60), CH(0.50), CH(0.55) y

CH(0.60) respectivamente. También, se obtuvieron las siguientes expresiones potenciales, $MR=2.524*\sqrt{f'c}$, $MR=2.545*\sqrt{f'c}$, $MR=2.312*\sqrt{f'c}$, $MR=2.437*\sqrt{f'c}$, $MR=2.252*\sqrt{f'c}$ y $MR=2.256*\sqrt{f'c}$ para los concretos de tipo ZR(0.50), ZR(0.55), ZR(0.60), CH(0.50), CH(0.55) y CH(0.60) respectivamente. Asimismo, para el caso de las expresiones lineales, todas coinciden con los resultados previos de los estudios de la NRMCA y para el caso de las expresiones potenciales, todas se encuentran dentro del rango establecido por el ACI 363 y por AASHTO 93.

- Se logró realizar la prueba de hipótesis, determinando estadísticamente que la mejor influencia significativa sobre la resistencia a la compresión y flexión, la genera el concreto elaborado con agregado grueso chancado para una relación a/c de 0.50.

4.3. Recomendaciones

- Se recomienda a todos los involucrados en la construcción de pavimentos rígidos a determinar una correlación potencial entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura con anticipación a la ejecución de la obra, pues, si la expresión se encuentra dentro del rango estipulado por el ACI 363 y AASHTO 93, ésta puede ser usada para optimizar tiempo y dinero. Asimismo, se recomienda usar el agregado grueso chancado y una relación a/c baja, de esa manera se garantizará altos valores de resistencia.
- Se recomienda a los futuros investigadores que quieran determinar correlaciones entre la resistencia a la compresión del concreto y el módulo de rotura, a tener en cuenta la dispersión de resultados en sus ensayos y que su confiabilidad (R^2) sea un valor alrededor del 95%.

- Se recomienda a los estudiantes de ingeniería civil a seguir con la investigación, de tal manera que se dejen antecedentes capaces de aperturar nuevas líneas de investigación a desarrollarse a futuro.

REFERENCIAS

- Abanto Castillo, F. (2009). Tecnología del concreto (Teoría y problemas). Perú: Lima.
- Argos (2019). Pavimentos de concreto: ensayo de compresión vs. ensayo de flexión. Colombia. Recuperado de: <https://www.360enconcreto.com/blog/que-hacer-cuando/tag/pavimentos-de-concreto>.
- Argos (2021). Contexto - Cementos Argos. Recuperado de: <https://argos.co/contexto/>.
- ASTM C31. (2008). Preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra. U.S.A.
- Cemex (2019). ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?. Perú. Recuperado de: [https://www.cemex.com.pe/-/-por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=en%20el%20concreto%3F-%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20se%20determina%20la%20resistencia,la%20compresi%C3%B3n%20en%20el%20concreto%3F&text=Los%20resultados%20de%20las%20pruebas,c\)%20para%20una%20estructura%20determinada](https://www.cemex.com.pe/-/-por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=en%20el%20concreto%3F-%C2%BFPor%20qu%C3%A9%20se%20determina%20la%20resistencia,la%20compresi%C3%B3n%20en%20el%20concreto%3F&text=Los%20resultados%20de%20las%20pruebas,c)%20para%20una%20estructura%20determinada).
- Crespo, J. (2018). Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca. Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Cubas, C. & Tafur, N. (2019). Correlación entre el esfuerzo de compresión y el módulo de rotura en concretos autocompactantes, utilizando agregados de las canteras Tres Tomas y La Victoria de la región Lambayeque y su aplicación en pavimentos rígidos. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Perú.

- García, J. (2010). Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto (caso Prevesa). Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- García, J. (2010). Determinación de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto (Caso Prevesa). Universidad Pontificia Bolivariana. Colombia.
- Gómez J. (2014). Materiales de Construcción. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México.
- Guevara, G.; Hidalgo, C.; Pizarro, M.; Rodríguez, I.; Rojas, L. & Segura, G. (2011). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. Costa Rica.
- Gutiérrez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Hugo, P. (2012). Pavimentos, Todo lo que debes conocer sobre concreto: Módulo de rotura (resistencia a la flexión). Bolivia. Recuperado de: <https://libro-pavimentos.blogspot.com/2012/03/modulo-de-rotura-resistencia-la-flexion.html>.
- Industrial Bloquera (2020). Factores que influyen en la resistencia mecánica del concreto.
- Maluf, E. & Pistilli, M. (2019). Estudio sobre la correlación entre las resistencias a la compresión simple y a la flexotracción en hormigones utilizados en pavimentos rígidos. Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”. Paraguay.
- Muciño, A. & Ana, P. (2018). Diseño de Mezclas de Concreto. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

- Muñoz, J. & Rivas, E. (2003). Correlación entre pruebas destructivas y no destructivas para medir propiedades mecánicas del concreto hidráulico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
- National Ready Mixed Concrete Association (2017). Resistencia a Flexión del Concreto.
- NRMCA (2017). El concreto en la práctica, ¿Qué, por qué y cómo?.
- NTP.339.033. (2015). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. Perú.
- NTP.339.034. (2015). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. Perú.
- NTP.339.035. (2009). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto del cemento portland. Perú.
- NTP.339.046. (2008). Ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). Perú.
- NTP.339.079. (2012). Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. Perú.
- NTP.339.185. (2013). Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Perú.
- NTP.400.011. (2008). Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). Perú.
- NTP.400.012. (2013). Análisis granulométrico del agregado grueso, fino y global. Perú.

NTP.400.017. (2011). Método de ensayo para determinar es peso unitario del agregado.

Perú.

NTP.400.021. (2013). Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. Perú.

NTP.400.022. (2013). Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. Perú.

Rivera, G. (2013). Concreto Simple. Universidad del Cauca. Colombia.

Robles, R. & Sanchez, J. (2015). Evaluación de pavimentos rígidos mediante la determinación de correlaciones entre el módulo de rotura a la flexión y la resistencia a la compresión para el centro poblado San Cristóbal de Chupán – Huaraz. Universidad Ricardo Palma. Perú.

Tuffino, D. (2009). Variación de resistencias vs. edades y relación a/c con cemento pórtland tipo I (Sol). Universidad Ricardo Palma. Perú.

Vega, D. (2018). Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al nuevo puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000). Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.