

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TÉCNICAS DE  
MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN  
EN CAMPO BAJO EL CRITERIO DEL ACI 228.1R-03,  
TRUJILLO 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

Autores:

Eduardo Aldair Merino Iglesias

Joel Anampa Anticona

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

<https://orcid.org/0000-0001-9018-5763>

Trujillo – Perú

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Cintha Vanessa Alvarado Ruiz	<b>71412783</b>
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	German Sagastegui Vasquez	<b>45373822</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Nixon Brayan Peche Melo	<b>70615775</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

*Esta tesis esta dedicada tambien a mis padres (Ronald Merino y Griselda Iglesias), a mi abuela (Zobeida Gutierrez), que han sido mi soporte, mi ayuda incondicional en toda esta etapa academica, ellos me ensaaron a no darme por vencido jamas, a luchar por lograr mis sueos, estare siempre eternamente agradecido con ellos , este logro tambien es de ustedes.*

*Quiero mencionar que dedico tambien a una persona que esta ya en el cielo, mi abuelo Roberto Iglesias, que siempre creyo en mi, confio en mi, el era el mas entusiasmado, el que mas me entendia cuando de hablar de construccion se trataba, pues el era maestro de construccion y un gran maestro de vida para mi, pues me enseno que con disciplina y perseverancia se pueden lograr tus objetivos.*

*Mis maestros han sido una pieza fundamental en este proceso, asi que se lo dedico a ellos tambien, que si no fuera por sus consejos, ensenanzas y exigencias no habiera podido aprender y afrontar con etica, valores y mucho conocimiento tecnico esta hermosa profesion que es ingenieria civil.*

*No pueden faltar mis companeros con los que he vivido mas de una experiencia juntos , apoyandonos, trabajando dia a dia para lograr a la meta, esta tesis esta dedicada para ustedes tambien.*

*Eduardo Aldair Merino Iglesias.*

*Dedico esta tesis.*

*A mis padres, Pedro y Perseveranda por brindarme su amor, su cariño y por su paciencia y esfuerzo brindada hacia mi persona.*

*A mis queridos hermanos, ya que son el principal apoyo y por ser el motor que me impulsa a ser mejor persona cada día,*

*A mis compañeros y nuestros docentes, ya que hicieron de este proceso una experiencia amena y enriquecedora tanto personal como profesional, en la ejecución de este proyecto.*

*Joe Anampa Anticona.*

## AGRADECIMIENTOS

*Con mucho cariño quiero agradecer:*

*A Dios por los días de vida, el amor, las experiencias y lecciones enseñadas q nos brinda cada día de nuestras vidas, tambien por las bendiciones hacía mí y mi familia sin el nada de esto seria posible.*

*Un agradecimiento especial la Universidad Privada del Norte, que nos dio la oportunidad cumplir nuestros objetivos, de enseñarnos valores, etica, conocimientos tecnicos. Gracias universidad por acogernos y abrinos muchas opotunidades.*

*A nuestra familia, por todo el aliento y apoyo, en especial a nuestros padres y abuelos, los valores que nos iculcaron, los consejos que nos dieron en esta etapa universitaria nos ha servido de mucho para poder presentar con estusiasmo y orgullo esta tesis que hoy culimnamos, gracias por todo!*

*A nuestros compañeros, amigos que siempre nos dieron una mano, nos apoyamos incondicionalmente para salir adelante.*

*Gracias tambien a nuestro asesor y mentor Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz, ha sido fundamental sus consejos y enseñanzas durante el proceso de esta tesis, gracias por todo inegniero.*

*Eduardo Aldair Merino Iglesias.*

*Joe Anampa Anticona.*

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>JURADO EVALUADOR</b> .....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	5
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b> .....	6
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	8
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>1.1. Realidad Problemática</b> .....	12
<b>1.2. Antecedentes de la investigación</b> .....	18
<b>1.3. Bases teóricas</b> .....	25
<i>1.3.1. Concreto</i> .....	25
<i>1.3.2. Diseño de mezcla</i> .....	32
<b>1.4. Formulación del problema</b> .....	33
<b>1.5. Objetivos</b> .....	33
<i>1.5.1. Objetivo general</i> .....	33
<i>1.5.2. Objetivos específicos</i> .....	33
<b>1.6. Hipótesis</b> .....	33
<i>1.6.1. Hipótesis general</i> .....	33
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b> .....	34
<b>2.1. Tipo de investigación</b> .....	34
<i>2.1.1. Según el propósito</i> .....	34
<i>2.1.2. Según el diseño</i> .....	34
<b>2.2. Diseño de investigación</b> .....	34
<b>2.3. Variables</b> .....	35
<i>2.3.1. Resistencia a la compresión</i> .....	35
<b>2.4. Población y muestra</b> .....	37
<i>2.4.1. Población</i> .....	37
<i>2.4.2. Muestra</i> .....	37
<b>2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos</b> .....	39
<i>2.5.1. Técnica de recolección de datos</i> .....	39
<i>2.5.2. Instrumentos de recolección de datos</i> .....	40

---

2.5.3.	<i>Validación de instrumentos de recolección de datos</i> .....	40
2.5.4.	<i>Análisis de datos</i> .....	40
2.6.	<b>Procedimiento</b> .....	41
2.6.1.	<i>Búsqueda de información</i> .....	42
2.6.2.	<i>Recolección de datos</i> .....	42
2.6.3.	<i>Extracción de resultados</i> .....	42
2.6.4.	<i>Desarrollo de objetivos y verificación de la hipótesis</i> .....	43
2.7.	<b>Desarrollo de tesis</b> .....	43
2.7.1.	<i>Búsqueda de información</i> .....	43
2.7.2.	<i>Recolección de datos</i> .....	45
2.7.3.	<i>Extracción de resultados</i> .....	45
2.7.4.	<i>Desarrollo de objetivos y verificación de la hipótesis</i> .....	45
2.8.	<b>Aspectos éticos</b> .....	45
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS</b> .....		46
3.1.	<b>Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03.</b> .....	46
3.2.	<b>Estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03.</b> .....	46
3.3.	<b>Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas por cada estudio.</b> .....	49
3.4.	<b>Comparación de las ventajas y desventajas propias de cada técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo.</b> .....	51
3.5.	<b>Técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo más recomendada a ser empleada.</b> .....	55
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		56
4.1.	<b>Discusión</b> .....	56
4.2.	<b>Conclusiones</b> .....	65
4.3.	<b>Recomendaciones</b> .....	66
<b>REFERENCIAS</b> .....		67
<b>ANEXOS</b> .....		73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua. ....	26
Tabla 2. Clasificación de los agregados según su tamaño. ....	27
Tabla 3. Diseño de investigación. ....	35
Tabla 4. Matriz de clasificación de variables. ....	35
Tabla 5. Matriz de operacionalización de la variable resistencia a la compresión del concreto. ....	36
Tabla 6. Tamaño de muestra de la investigación. ....	37
Tabla 7. Matriz de categorización. ....	40
Tabla 8. Búsqueda de información. ....	43
Tabla 9. Nacionalidad de estudios. ....	44
Tabla 10. Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03. ....	46
Tabla 11. Estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión. ....	47
Tabla 12. Técnicas de medición de la resistencia a la compresión utilizadas por cada estudio. ....	49
Tabla 13. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de número de rebote. ....	51
Tabla 14. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de resistencia a la penetración. ....	52
Tabla 15. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de extracción (Pull-out). ....	52
Tabla 16. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de ruptura (Break-off). ....	53
Tabla 17. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de velocidad de pulso. ....	53
Tabla 18. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de madurez. ....	54
Tabla 19. Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de cilindros moldeados en el lugar. ....	54
Tabla 20. Ficha resumen de la investigación 01. ....	75
Tabla 21. Ficha resumen de la investigación 02. ....	76
Tabla 22. Ficha resumen de la investigación 03. ....	77
Tabla 23. Ficha resumen de la investigación 04. ....	78
Tabla 24. Ficha resumen de la investigación 05. ....	79
Tabla 25. Ficha resumen de la investigación 06. ....	80
Tabla 26. Ficha resumen de la investigación 07. ....	81
Tabla 27. Ficha resumen de la investigación 08. ....	82
Tabla 28. Ficha resumen de la investigación 09. ....	83
Tabla 29. Ficha resumen de la investigación 10. ....	84
Tabla 30. Ficha resumen de la investigación 11. ....	85
Tabla 31. Ficha resumen de la investigación 12. ....	86
Tabla 32. Ficha resumen de la investigación 13. ....	87
Tabla 33. Ficha resumen de la investigación 14. ....	88
Tabla 34. Ficha resumen de la investigación 15. ....	89
Tabla 35. Ficha resumen de la investigación 16. ....	90
Tabla 36. Ficha resumen de la investigación 17. ....	91
Tabla 37. Ficha resumen de la investigación 18. ....	92
Tabla 38. Ficha resumen de la investigación 19. ....	93
Tabla 39. Ficha resumen de la investigación 20. ....	94
Tabla 40. Matriz de categorización de la investigación 01. ....	95
Tabla 41. Matriz de categorización de la investigación 02. ....	96
Tabla 42. Matriz de categorización de la investigación 03. ....	97
Tabla 43. Matriz de categorización de la investigación 04. ....	98

---

Tabla 44. Matriz de categorización de la investigación 05. ....	99
Tabla 45. Matriz de categorización de la investigación 06. ....	100
Tabla 46. Matriz de categorización de la investigación 07. ....	101
Tabla 47. Matriz de categorización de la investigación 08. ....	102
Tabla 48. Matriz de categorización de la investigación 09. ....	103
Tabla 49. Matriz de categorización de la investigación 10. ....	104
Tabla 50. Matriz de categorización de la investigación 11. ....	105
Tabla 51. Matriz de categorización de la investigación 12. ....	106
Tabla 52. Matriz de categorización de la investigación 13. ....	107
Tabla 53. Matriz de categorización de la investigación 14. ....	108
Tabla 54. Matriz de categorización de la investigación 15. ....	109
Tabla 55. Matriz de categorización de la investigación 16. ....	110
Tabla 56. Matriz de categorización de la investigación 17. ....	111
Tabla 57. Matriz de categorización de la investigación 18. ....	112
Tabla 58. Matriz de categorización de la investigación 19. ....	113
Tabla 59. Matriz de categorización de la investigación 20. ....	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de gráfico Ejemplo de gráfico circular. ....	41
Figura 2. Ejemplo de gráfico circular. ....	41
Figura 3. Procedimiento de la investigación. ....	41
Figura 4. Búsqueda de información. ....	44
Figura 5. Nacionalidad de estudios ....	44
Figura 6. Técnica más recomendada según el grado de confiabilidad promedio, obtenido del análisis de todos los estudios considerados. ....	55
Figura 7. Matriz para evaluación de experto del instrumento de recolección de datos. ....	73
Figura 8. Formato de la ficha resumen. ....	74
Figura 9. Formato de la matriz de categorización. ....	74

## RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en Trujillo, la cual consiste en un análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; para ello, se siguió un diseño no experimental descriptivo y transversal, con muestreo no probabilístico mediante la evaluación por juicio de experto; la recolección de datos se realizó a través del uso de dos instrumentos como las fichas resumen y las matrices de categorización; en cuanto al análisis de datos se utilizó la estadística descriptiva para una mejor interpretación, haciendo énfasis en el problema pues muchas de las construcciones se realizan de manera informal esto trae consigo que estas no cuenten con la resistencia necesaria para las que fueron diseñadas, se encontró alternativas como el utilizar ensayos no destructivos durante el proceso constructivo, para ello se tomó un tamaño muestral de 20 investigaciones analizadas en base a los valores de resistencia obtenidos según los métodos empleados; llegando a la conclusión de que las técnicas analizadas, presentan resultados aceptables, resultando así el método de madurez como el más recomendable a ser utilizado debido a que presentó un 95.55% de confiabilidad promedio.

**Palabras clave:** resistencia a la compresión, concreto, métodos no destructivos.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

El concreto es un material artificial de gran demanda en la construcción a nivel mundial con el que se elaboran las estructuras necesarias para satisfacer las necesidades de las poblaciones. Este material, también llamado hormigón en algunos países, posee diferentes características y propiedades, teniendo entre una de las más resaltantes a la resistencia a la compresión, cuyo desempeño repercute no sólo en la vida útil de las estructuras, sino también en la integridad física de sus usuarios. Dada la importancia que reviste a esta característica mecánica, es que resulta necesario conocer si el concreto se comporta conforme a como fue proyectado en su diseño, por tal motivo, existe una variedad de métodos que cumplen esa función y son practicados in-situ, clasificándose en pruebas no destructivas y en pruebas con daños superficiales menores; sin embargo, en la presente investigación solo se tomarán en cuenta para su desarrollo, aquellas que fueron estandarizados por ASTM y bajo el criterio del ACI 228.1R-03; las mismas que son aplicadas en estructuras existentes y como procedimientos alternativos al método estándar ya conocido basado en la resistencia de cilindros de concreto, siempre y cuando existan correlaciones confiables según la mención del ACI 318R.

Rudeli y Santilli (2017), en Uruguay, luego de medir la resistencia a la compresión del concreto a edades tempranas empleando 4 métodos como madurez con probetas cilíndricas de dimensiones normales (15x30 cm), madurez con probetas cilíndricas de dimensiones reducidas (10x20 cm), esclerómetro de baja resistencia y penetrómetro, indican que, el uso del esclerómetro hasta 3Mpa presenta en promedio 3 veces menos desviación estándar que las probetas cilíndricas de dimensiones

normales y 2 veces menos dispersión que el uso del penetrómetro; es por ello que, recomiendan el uso del esclerómetro de baja resistencia, pero si se desea desencofrar a resistencias mayores a 3Mpa recomiendan el uso del método de madurez empleando probetas cilíndricas de dimensiones normales.

Por su parte Hannachi (2014), en Argelia, comenta que, el objetivo de los métodos no destructivos aplicados a las estructuras de concreto, es proporcionar una evaluación adecuada de la calidad del material en su propia estructura, sin tener que confiar solamente en resultados de las pruebas que no necesariamente representan la estructura exacta del trabajo; entre los métodos no destructivos, se enfoca en la prueba ultrasónica, de la cual señala que juega un papel importante por su conveniencia de uso y costo razonable, además de ser un método integral que proporciona información tanto sobre los parámetros mecánicos (módulo de Young) como sobre los clasificadores estructurales (composiciones y densidades) del material investigado. Por otro lado explica que, aunque no existe una relación directa entre la resistencia a la compresión del hormigón y la velocidad del pulso ultrasónico; la resistencia se puede evaluar estableciendo correlaciones de antemano pero para un mismo tipo de concreto que se investiga.

Rojas (2012), en España, después de verificar el comportamiento que presentan los ensayos de extracción y resistencia a compresión de probetas testigo y moldeadas, índice de rebote y velocidad de ultrasonidos aplicados a un concreto autocompactante, evidencia que, los mejores modelos de predicción de la resistencia a compresión se obtienen cuando la variable explicativa es la velocidad de ultrasonidos que cuando es el índice de rebote, tal y como lo demuestran los resultados de algunos estadísticos de comparación para los diferentes modelos analizados.

Por otro lado Céspedes (2003), en Perú, argumenta que existe una relación directa entre la resistencia a la compresión del concreto y la velocidad de los pulsos de ultrasonido según las correlaciones encontradas; además, que el método no destructivo de la velocidad de pulsos de ultrasonido brinda un valor próximo a la resistencia a la compresión de un concreto, pero no un valor exacto, por lo cual recomienda este método para trabajos de verificación de la calidad del concreto que se esté colocando en una obra determinada, más no para tomar decisiones estructurales de importancia en el proceso constructivo de una estructura.

Corro & Ramos (2015), en la ciudad de Trujillo, comentan que los métodos de predicción existentes como la rotura de probetas, no son tan confiables, pues presentan propiedades geométricas diferentes a la estructura, además de ser moldeadas y manipuladas de forma muy diferente, lo que se traduce en resistencias distintas; asimismo, señalan que es necesario utilizar un método predictivo más eficiente como el método de la madurez el cual es un buen indicador para determinar el desarrollo de la resistencia en obra desde que el concreto se encuentra en su estado fresco hasta que llega a endurecer.

En nuestro país, todo lo relacionado con el concreto, es controlado por el cumplimiento de lo estipulado por las normas técnicas peruanas (N.T.P.) y el Reglamento Nacional de Edificaciones, que establecen ciertos requisitos para asegurar la calidad de los productos y servicios. Así mismo, a nivel internacional es controlado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Instituto Americano del Concreto (ACI); tal como en este caso a través del ACI 228.1R-03 que habla sobre los métodos in situ para estimar la resistencia del concreto, y a través del ACI 318R.

Rojas (2012) demostró que, en relación con el índice de rebote (IR), los tres modelos analizados como el modelo lineal, cuadrático y logarítmico se ajustan muy bien a los datos para IR aproximadamente entre 38 y 52 unidades.; aunque para IR inferiores a 38 unidades el ensayo presentó predicciones más dispersas. Por otro lado, en cuanto a la velocidad de ultrasonidos, los tres modelos analizados como el de tipo cuadrático y dos logarítmicos, se ajustan muy bien a los datos para el rango de ultrasonidos considerado 3.83 a 4.66 km/s; además no se presentan problemas de sensibilidad como en el ensayo de índice de rebote.

Céspedes (2003) encontró que, la velocidad de pulsos de ultrasonido que viajan en un espécimen de concreto y los valores de resistencia a la compresión tienen una relación directamente proporcional, es decir cuanto mayor sea la velocidad de pulsos de ultrasonido, los valores de resistencia obtenidos serán mayores; asimismo, cuando la relación agua-cemento es mayor, los valores de la velocidad de ultrasonido son menores. Es así como, recomienda el método de velocidad de pulsos de ultrasonido, para emplearlo en combinación con otros métodos similares en la búsqueda de un valor próximo, aunque no exacto, de la resistencia a la compresión y tener una idea de la calidad del concreto que se está colocando en obra.

Amat y Valero (2018) luego de realizar ensayos no destructivos como esclerometría, resistividad, velocidad de pulso ultrasónico y Torrent, concluyeron que, estos ensayos permiten estimar aproximadamente la resistencia y calidad del concreto in situ, sin embargo ningún ensayo no destructivo reemplaza el ensayo destructivo de rotura de probetas para hallar la resistencia a la compresión. Además, encontró que la velocidad de pulso ultrasónico tiene una relación directa con la resistencia a la compresión según las ecuaciones obtenidas, al igual que la esclerometría, aunque esta última es más dispersa; por ello, afirman que los ensayos no destructivos de

esclerometría y velocidad de pulso ultrasónico son los ensayos que pueden ayudar a dar un indicio de la resistencias a la compresión in situ siempre y cuando se cuente con resultados anteriores de elementos con características similares con los que se pueda hacer una correlación y comparación.

Teniendo en cuenta los estudios relacionados con las técnicas de medición de la resistencia a la compresión, tanto a nivel nacional como internacional; se puede notar que el uso de los métodos no destructivos para determinar la resistencia a la compresión in situ, tienen grandes ventajas, pues se realizan sin tener que dañar la estructura; adicionalmente se puede rescatar que estos métodos se pueden combinar para una mejor aproximación de los resultados obtenidos, además de establecer correlaciones con el ensayo de resistencia a la compresión mediante rotura de probetas, las cuales a pesar de que no pueden ser generalizadas y resultan solo aplicables para un mismo tipo de concreto investigado, son de gran ayuda para determinar la calidad del concreto. Por tal motivo, se realizará un análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión, utilizadas en las distintas investigaciones, enfocándonos en las ventajas y desventajas propias de cada una, con la finalidad de identificar la más recomendable a ser empleada.

Flores (2013) comenta que, todos los profesionales que se encuentran involucrados en el campo de la ingeniería y la construcción, en algún momento deben enfrentar daños y deterioros en las estructuras de concreto, producidos por distintos agentes o factores como el medio ambiente, ataques físicos, químicos, térmicos, entre otros, que dañan la estructura interna y externa del concreto, ello complementado con el proceso de envejecimiento de la misma; asimismo señala que el primer paso para evaluar las estructuras y poder repararlas, es de conocer su estado actual mediante el

desarrollo de pruebas destructivas y no destructivas en los elementos que la componen.

Cementos Argos, S.A. (2020), comenta que, los métodos no destructivos del concreto deben ser garantizados en construcciones y aplicarlos según el avance del proceso constructivo, para de esta manera obtener datos más reales acerca de la calidad de los materiales utilizados; adicional a ello, indican que es posible combinar métodos de ensayo los cuales deben ser sometidos a procesos de comparación, para lograr una correlación que ayude con el objetivo del trabajo; además, algunos aspectos que se deben tener en cuenta para el uso de los métodos no destructivos son la evolución de la resistencia en casos de estructuras nuevas, procesos de carbonatación, ubicación del acero de refuerzo, tipo de agregado, entre otros.

Actualmente, en la ciudad de Trujillo y en todo el país, la mayoría de las construcciones se realizan de manera informal, sin tener en cuenta la calidad de los materiales empleados y el procedimiento constructivo adecuado, lo que trae consigo que los elementos estructurales no cuenten con la resistencia necesaria para las que fueron diseñadas, representando así un peligro para las personas que las habitan, pues dichas estructuras estarían expuestas a sufrir grandes daños, e incluso el colapso, ante eventos naturales como sismos que ocurren de manera repentina. Es por ello que, en busca de una solución a este problema, que afecta a la característica principal del concreto que es la resistencia a la compresión, es que se opta por utilizar ensayos no destructivos del concreto que ayudan a determinar dicha característica, empleándolos durante el proceso constructivo para asegurar la calidad del concreto que se está utilizando; además de que pueden también ser usados para evaluar estructuras ya existentes con el fin de tomar decisiones y realizar intervenciones para adecuarla a un uso determinado.

En la presente investigación se pretende analizar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas en los antecedentes, como extracción, índice de rebote, velocidad del pulso ultrasónico, madurez, entre otros; asimismo, realizar comparaciones entre las ventajas y desventajas propias de cada método con la finalidad de concluir que técnica de medición de la resistencia a la compresión es la más recomendable a ser utilizada. Las consecuencias de no realizar esta investigación, sería en primera instancia, que no se conocerían los métodos de medición de la resistencia a la compresión, los cuales son de gran importancia para asegurar la calidad del concreto en las diferentes estructuras, sin la necesidad de proporcionar grandes daños y afectar su funcionamiento, evitando de esta manera poner en peligro a sus habitantes. Por otra parte, esta investigación no podrá ser tomado como referencia para futuros estudios.

### **Antecedentes de la investigación**

Rudeli y Santilli (2017), se plantearon como objetivo determinar el instrumento de medición de resistencia que proporcione el mejor ajuste a las curvas de resistencia – maduración con el fin de determinar tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. Se desarrolló una metodología experimental mediante la elaboración de dos dosificaciones diferentes de concreto, verificando más de 500 puntos de las curvas; para ello se utilizaron 4 métodos para medir la resistencia a tempranas edades, como madurez empleando probetas cilíndricas de dimensiones normales (de 15 x 30 cm), madurez empleando probetas cilíndricas de dimensiones reducidas (de 10 x 20 cm), penetrómetro y esclerómetro pendular de baja resistencia. Se observaron los resultados obtenidos de los ensayos realizados, evidenciando que en cuanto a las probetas cilíndricas, las probetas de dimensiones reducidas presentan

el doble de dispersión que las probetas de dimensiones normales, es por eso que si se va a optar por medir la resistencia a la compresión mediante compresión de testigos cilíndricos, el método más confiable en lo que se refiere a la metodología para determinar tiempos mínimos de desencofrado, es mediante probetas de dimensiones normales; por otro lado, el uso del esclerómetro hasta 3Mpa presenta en promedio 3 veces menos desviación estándar que las probetas cilíndricas de dimensiones normales y 2 veces menos dispersión que el uso del penetrómetro. Se concluyó que, si se desea desencofrar a resistencias menores que 3Mpa entonces se recomienda el uso de esclerómetro de baja resistencia para la construcción de curvas de caracterización, mientras que si se desea desencofrar a resistencias mayores por razones de seguridad se recomienda utilizar el ensayo de madurez empleando probetas cilíndricas de dimensiones normales de 15 x 30 cm. (p. 15).

Este estudio, es de gran aporte en esta investigación debido a que muestra que, existen diversas técnicas o métodos para medir la resistencia del concreto, sin embargo, se debe tener en cuenta ciertos factores como el grado de dispersión que muestran los resultados al aplicar cada uno de estos métodos y los valores de resistencia que se buscan alcanzar. Asimismo, de los 4 métodos utilizados, indican que por razones de seguridad, el método de madurez empleando probetas de dimensiones normales, es el recomendado, ya que permite determinar valores de resistencias mayores a comparación del esclerómetro.

Rojas (2012), tuvo como objetivo verificar el comportamiento que presentan los ensayos de extracción y resistencia a compresión de probetas testigo y moldeadas, índice de rebote y velocidad de ultrasonidos, aplicados a un concreto autocompactante. Se desarrolló una metodología experimental mediante la elaboración de 30 bloques de dimensiones 50x50x100 cm junto con tres probetas

cilíndricas de 15 x 30 cm y dos probetas cúbicas de 15 x 15 cm por cada bloque, haciendo un total de 150 probetas moldeadas; con la finalidad de cubrir un amplio rango de resistencias los bloques y probetas fueron elaborados con diferentes resistencias, en un rango entre 20 Mpa y 80 Mpa. Se observaron los resultados obtenidos de los ensayos realizados, evidenciando que en relación con el índice de rebote (IR), los tres modelos analizados como el modelo lineal, cuadrático y logarítmico se ajustan muy bien a los datos para IR aproximadamente entre 38 y 52 unidades.; aunque para IR inferiores a 38 unidades el ensayo presentó predicciones más dispersas. Por otro lado, en cuanto a la velocidad de ultrasonidos, los tres modelos analizados como el de tipo cuadrático y dos logarítmicos, se ajustan muy bien a los datos para el rango de ultrasonidos considerado 3.83 a 4.66 km/s; además no se presentan problemas de sensibilidad como en el ensayo de índice de rebote. Se concluyó que, los mejores modelos de predicción de la resistencia a compresión se obtienen cuando la variable explicativa es la velocidad de ultrasonidos que cuando es el índice de rebote, tal y como lo demuestran los resultados de algunos estadísticos de comparación para los diferentes modelos analizados. (p. 275).

Este estudio al igual que el anterior, presenta información importante ya que el autor luego de evaluar los diferentes métodos de medición de la resistencia a la compresión, demuestra que, al utilizar el método de la velocidad de ultrasonidos se obtienen mejores modelos de predicción de la resistencia a la compresión; además, pone en evidencia que se utilizó modelos de tipo lineal, cuadrático y logarítmico, recomendados por diferentes autores; con la finalidad de verificar la correlación que existe entre la resistencia a la compresión con los ensayos de índice de rebote y velocidad de ultrasonido; lo que resulta de gran utilidad para tomar decisiones relacionadas con la calidad y fiabilidad de un concreto.

Martínez (2018), tuvo como objetivo establecer correlaciones entre los métodos semidestructivos (núcleos de concreto y pull-out “lok test”), métodos no destructivos (métodos de madurez) y el ensayo estándar a compresión, verificando resistencias típicas del concreto (200-500 kg/cm<sup>2</sup>), así como analizar sus incertidumbres y estimar cuáles métodos son los más apropiados para determinar esta propiedad mecánica del concreto. Se desarrolló una metodología experimental mediante la elaboración de 5 diseños de mezcla, teniendo en cuenta un total de 3 prismas de concreto de 20 x 20 x 60 cm, dos para el ensayo de extracción de núcleos y 1 para la prueba de Pull-Out; por último, para el ensayo de madurez, se elaboró un prisma de 10 x 20 x 60 cm y 30 cilindros de concreto de 10 x 20 cm. Se observaron los resultados obtenidos de los ensayos, evidenciando que, la resistencia obtenida a través de los núcleos de 2in (4.5 cm) tuvo una desviación estándar alta, esto debido a factores como la extracción del núcleo, la compactación, el TM del agregado, el corte húmedo por aserrado, entre otros; mientras que, los resultados de resistencia obtenidos de los núcleos de 3in (6.9 cm) la desviación estándar fue menor, esto debido a que el tamaño del espécimen aumentó y por consecuencia hubo una mejor interacción entre la pasta y el agregado, pero aun así la desviación estándar fue alta comparada con la obtenida con los cilindros de 10x20cm; en cuanto a la fuerza de extracción obtenida con la prueba de Pull-Out, presentó alrededor de un 6% de variación respecto a los cilindros de 10 x 20 cm; por último respecto al método de madurez, se observó que con los métodos de tiempo de fraguado inicial y final, los valores obtenidos de energía de activación (E<sub>a</sub>), se comportaron de manera similar en todos los casos. Se concluyó que, la prueba de Pull-Out puede sin problemas sustituir a los cilindros sometidos a condiciones de laboratorio controladas; debido a

la variación máxima de 6%, lo que demuestra que los resultados son satisfactorios para practicas futuras en campo. (p. 162).

Esta investigación resulta de gran aporte, pues demuestra que la prueba semidestructiva denominada Pull-Out, puede sustituir a los cilindros elaborados con procedimientos estándar, además, da a conocer que los resultados de los distintos métodos empleados, pueden ser afectados por diversos factores propios de su procedimiento, como el modo de extracción y el tamaño de los núcleos de concreto. Aldana y Pilco (2020), se plantearon como objetivo analizar y comparar la resistencia de muestras de concreto en muros de contención en el distrito de Ciudad Nueva por esclerómetro y rotura de cilindros. Se desarrolló una metodología aplicativa mediante la evaluación del concreto de estructuras existentes, para ello se analizó las muestras extraídas y los resultados se compararon entre los dos tipos de ensayos con el fin de determinar la condición en la que se encuentra la estructura. Se observaron los resultados obtenidos, notando que, el ensayo de ruptura de probetas testigo, posee una mayor precisión al momento de determinar la resistencia del concreto, debido a que no depende del factor de carbonatación superficial que influye en el ensayo de esclerómetro, sin embargo, los resultados obtenidos para este ensayo indican un valor de resistencia promedio de 291.45 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los resultados obtenidos mediante el ensayo de compresión de testigos cilíndricos muestran una resistencia promedio de 275.54 kg/cm<sup>2</sup>, siendo una diferencia notable. Se concluyó que el concreto analizado es de buena calidad al superar la resistencia a la compresión especificada en el expediente la cual fue de 210 kg/cm<sup>2</sup>; asimismo, demuestran que el uso del método no destructivo del esclerómetro no posee una precisión tan cercana como el ensayo de rotura de probetas, pero en una opción viable al momento de analizar estructuras. (p. 72).

Esta investigación realizada utilizando el método no destructivo a través del ensayo de esclerómetro, deja como aporte la efectividad de dicho método ya que al ser comparado con el método estándar de compresión de probetas cilíndricas, ambos arrojan valores aceptables y a pesar del factor que influye en los resultados del ensayo con el equipo esclerómetro, como la carbonatación superficial, este método logra alcanzar un valor de resistencia promedio mayor.

Vélez (2019), tuvo como objetivo Determinar la resistencia del concreto haciendo uso del ensayo no destructivo de esclerometría, correlacionando el índice esclerométrico y la resistencia a la compresión simple, y a su vez analizar la influencia del tipo de piedra y/o la edad del concreto que existe sobre el índice esclerométrico, para así justificar el uso del esclerómetro como una herramienta confiable para determinar la resistencia del concreto. Se desarrolló una metodología experimental mediante la evaluación de una muestra total de 323 probetas efectivas. Se observaron los resultados obtenidos de los ensayos, evidenciando que, existe una correlación aceptable entre el método de esclerometría y el ensayo de resistencia a la compresión simple, para las ecuaciones de tipo lineal, exponencial, logarítmica, potencial y cubica, obteniendo un alto grado de confiabilidad que va desde un 82.6% hasta un 97.37%. Se concluye que, el método de esclerometría es más confiable que el método tradicional por el alto grado de confiabilidad, mayor del 95%, debido a que se tuvieron en cuenta factores como la edad del concreto y el tipo de piedra utilizada (p. 83).

Este estudio, aporta a esta investigación, ya que justifica el uso del método de esclerometría al obtener correlaciones con un grado de confiabilidad aceptable, para los diferentes modelos de ecuaciones; además de rescatar, que factores como la edad del concreto y el tipo de piedra empleada, afectan los resultados.

Aguilar, Rodríguez y Sermeño (2009), tuvo como objetivo determinar por el método de la madurez del concreto (ASTM C 1074) la evolución de resistencia en una vivienda colada en el sitio, y a partir de los resultados obtenidos determinar en qué momento la estructura alcanza la resistencia adecuada para el retiro de los moldes. Se desarrolló una metodología experimental mediante el registro de valores de madurez en una vivienda de concreto colada en el sitio, tomando lecturas cada veinte minutos hasta completar los 28 días de edad y estimar la evolución de resistencia de la misma; el concreto a ser analizado fue abastecido por la empresa constructora bajo una resistencia especificada, el cual mantuvo las condiciones de tipo de agregados, dosificación y resistencia requerida, tanto para la elaboración de los especímenes en laboratorio como en campo; se realizaron también una serie de ensayos como la velocidad de pulso ultrasónico, número de rebote y compresión de cilindros y núcleos, los cuales sirvieron como referencia para conocer la evolución de la estructura. Se observaron los resultados obtenidos de los ensayos, evidenciando que, éstos evolucionan de manera distinta según la zona donde se analice, es así como para el ensayo de esclerómetro los resultados de resistencia de la zona inferior de la pared en estudio, son mayores en un 16% con respecto a la zona superior y para núcleos los valores de resistencia en la zona inferior son mayores en un 10% a los de la zona superior, mientras que para el método de madurez las diferencias no son considerables. Se concluye que, el método de madurez puede ser aplicado con mucha confiabilidad en viviendas, edificaciones, puentes, etc., ya que el grado de madurez permite que los moldes sean removidos sin que la estructura sufra daños. (p.243).

Esta investigación aporta demostrando que el método de madurez puede ser empleado para determinar los tiempos mínimos de desencofrado y de esta manera acelerar los procesos constructivos sin afectar la estructura.

## Bases teóricas

### A. *Concreto*

El concreto es un material durable y resistente, el cual tiene la facilidad de adquirir cualquier forma, debido a que se trabaja en su estado líquido; estas características hacen que este material sea tan popular en el ámbito de la construcción. El concreto de uso convencional se genera mediante la intervención de tres componentes esenciales como el cemento, agua y agregados, a los cuales ocasionalmente se incorpora un cuarto componente denominado como aditivo. (Sánchez & Tapia, 2015)

#### a) **Componentes del concreto**

- **Cemento**

Es el elemento activo del concreto, convirtiéndose en el más usado e indispensable para el desarrollo de la infraestructura. Es un material formado a través de la trituración y calcinación de materiales minerales calcáreos; al combinarse con agua, sufre una reacción química y empieza su proceso de endurecimiento hasta formar una más rígida. Además, posee propiedades de adhesión y cohesión como el aglutinamiento de los agregados que conforman el concreto. (Reyes & Rodríguez, 2010)

- **Cemento Portland**

El cemento Portland es un ligante hidráulico inorgánico, que se obtiene a partir de un producto denominado Clinker, el cual se produce mediante la cocción de una mezcla, en proporciones ya establecidas, de carbonato de calcio o caliza y de un aluminosilicatos (arcillas o margas) u otros materiales de composición similar previamente molidos y homogeneizados. (Soledad, 2010)

- **Agua**

El agua es un elemento muy importante para la preparación del concreto, encontrándose relacionada con la resistencia, trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido. Para que el agua pueda ser utilizada en la preparación del concreto, debe estar limpia y libre de agentes perjudiciales como aceites, ácidos, sales y distintas sustancias que puedan dañar el concreto o el acero de refuerzo (Abanto, 2009). El agua se encuentra presente en diferentes etapas del concreto, pero como componente durante su elaboración se denomina agua de mezclado y es definido como el material que ocupa entre el 15% y 20% del volumen del concreto en estado fresco; y que, junto al cemento, forma una pasta lubricante y de soporte para los agregados, permitiendo su trabajabilidad en los moldes. (Porrero et al., 2009)

**Tabla 1.**

*Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua.*

<b>Sustancias disueltas</b>	<b>Valor máximo admisible</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: (Abanto, 2009).

- **Agregados**

Los agregados son partículas que suelen estar contaminados con humus, arcilla, limos y algunas otras materias orgánicas; sin embargo, para ser utilizados en la elaboración del concreto, deberán ser compactas; poseedoras de textura, forma y gradación adecuada. Algunos agregados contienen gran cantidad de material ligero o de partículas alargadas o planas, siendo éstas defectuosas que quitan

calidad y resistencia al concreto; por tal razón, algunas normativas fijan límites permisibles de tolerancia (Mendoza, 2008). Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad de las obras civiles, pues llegan a ocupar un volumen importante, por ejemplo en el concreto hidráulico ocupan de un 65% a 85% de volumen, en el concreto asfáltico del 92% al 96% y en los pavimentos del 75% al 90%. Por ello el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas es de gran importancia para su adecuada utilización. (Gutiérrez, 2003)

- Agregado fino o arena: Se considera como agregado fino o arena, al material pasante de la malla N°4 y retenido en la mala N°200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 micras (0.074mm) (Gutiérrez, 2003).
- Agregado grueso o grava: Se considera como agregado grueso o grava al material retenido en el tamiz N°4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm (Gutiérrez, 2003).

**Tabla 2.**

*Clasificación de los agregados según su tamaño.*

Tamaño de la partícula en mm	Denominación corriente	Clasificación
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0.002 mm	Arcilla	Fracción fina
Entre 0.002 – 0.074 mm	Limo	
Pasant. del tamiz N°4 y ret. en el tamiz N°200 Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N°4		
Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N°4 y 3/4")	Gravilla	Agregado grueso
Entre 19.1 mm y 50.8 mm (3/4" y 2")	Grava	
Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6")	Piedra	
Superior a 152.4 mm (6")	Rajón, Piedra bola	

Fuente: (Gutiérrez, 2003).

## **b) Curado del concreto**

Se denomina curado al procedimiento que se utiliza para iniciar la hidratación del cemento, y consiste en mantener un control del movimiento de temperatura y humedad hacia el interior del concreto. Además, se debe tener en cuenta que la hidratación es más lenta a bajas temperaturas, por lo que hay que tener un control de este factor. (Neville, 1988)

Un concreto curado adecuadamente será más resistente, más durable y tendrá una mejor apariencia a diferencia de uno que ha sido pobremente o no curado; además, si no se lleva a cabo este proceso, el concreto puede presentar fisuración, polvo y bajas resistencias, pudiendo alcanzar tan solo cerca del 55% de su resistencia potencial. (Euco, 2019)

## **c) Propiedades del concreto**

Todas las propiedades del concreto en estado endurecido dependen en mayor o menor grado de sus características en estado fresco o plástico, particularmente en lo que se refiere a los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminado (Sánchez, 2001).

### **• Propiedades en estado fresco**

Las propiedades del concreto en estado fresco deben hacer posible que las formaletas y los espacios entre los aceros de refuerzo, sean llenados adecuadamente, así como también presentar una masa homogénea libre de grandes burbujas de aire o agua atrapada (Gomezjurado, 2010).

- **Trabajabilidad:** La trabajabilidad o también denominada manejabilidad sirve para determinar cuál es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este y el encofrado o refuerzo, con la finalidad de lograr una compactación adecuada; es decir, la capacidad que tiene

el concreto para ser colocado y compactado de manera adecuada sin que se produzca segregación. (Gomezjurado, 2010)

- Asentamiento: El asentamiento es el slump, representa la resistencia que tiene el concreto a experimentar deformaciones, se denomina también consistencia y se mide mediante el cono de Abrahams que es una prueba sencilla que se realiza a nivel de campo y laboratorio; El ensayo del slump, proporciona información importante sobre la uniformidad de las mezclas y es una herramienta importante para el control de calidad del concreto fresco. (Huarcaya, 2014)
- Peso unitario: El peso unitario o densidad del concreto fresco depende del tamaño máximo, granulometría y densidad de los agregados, así como también de la cantidad de aire atrapado e incorporado y del contenido de agua y cemento. Cuando los agregados son de muy alta porosidad, la masa unitaria del concreto varía según el grado de saturación de éstos. (Gomezjurado, 2010)
- Contenido de aire: El aire incluido mejora la trabajabilidad del concreto ya que al no de otra forma las mezclas serían ásperas y difíciles de trabajar y de mezclar con agregados de tipo angulares o de graduación menor (Probacons, 2017).

- **Propiedades en estado endurecido**

En la actualidad aún no se cuenta con una norma general que sea válida para describir el comportamiento del concreto bajo los esfuerzos que es sometido una estructura, sin embargo, se puede estudiar las distintas propiedades del concreto en estado endurecido y con ello inferir su comportamiento. (Pacheco, 2017)

- Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión del concreto, además de ser una característica principal, se trata de la capacidad que tiene

este material de soportar una carga de aplastamiento en una determinada sección. Esta propiedad se suele medir en varias unidades tales como en kg/cm<sup>2</sup>, Mpa y libra por pulgada cuadrada (psi); por tanto, es un factor fundamental para el diseño de diversas estructuras. (Structuralia, 2021)

Algunos de los factores que inciden en la resistencia a la compresión son los siguientes:

**Cementos:** Cuando se busca aumentar la resistencia del concreto, la selección de los cementos a utilizar es más estricto, pues aunque se cuente con cementos que cumplan con todas las normas y sean similares, pueden tener un comportamiento distinto, cuando las relaciones agua-cemento son aún menores que lo usual. (Sepúlveda, 2016)

**Fraguado del concreto:** Se debe respetar los tiempos de fraguado de cada tipo de concreto para que el endurecimiento sea óptimo. Usualmente, se puede afirmar que el concreto llega a alcanzar su máxima resistencia a la edad de 28 días, pero es una verdad que mientras más tiempo transcurre, el concreto gana más resistencia. (Structuralia, 2021)

**Relación agua-cemento:** Al reducir la relación agua-material cementante, las partículas de cemento se acercan entre sí, originando menos porosidad capilar y menos espacios libres y de esta manera se desarrollan los compuestos de hidratación más compactos, que cristalizan en los espacios de agua fuera de las partículas de cemento; es por ello que, una menor relación a/c genera resistencias más altas. (Sepúlveda, 2016)

**Temperatura de curado del concreto:** La temperatura juega un papel importante en el desarrollo de la resistencia de diseño, pues los concretos que son curados a una temperatura de 23°C obtienen una resistencia a los 7 días similar a la

resistencia alcanzada por concretos curados durante 3 días a una temperatura de 32°C. (Orozco et al., 2018)

Contenido de aire: El aire dentro del concreto genera burbujas lo que trae consigo una disminución en la resistencia; por ello, se debe tener un control en la proporción de agua para que haya un equilibrio y de esta manera evitar que el aire quede atrapado en el interior de la mezcla. (Structuralia, 2021)

Por otro lado, los métodos conocidos en la literatura para la medición de la resistencia a la compresión del concreto son los siguientes:

Rotura a compresión de especímenes: Existen tres tipos de probetas que generalmente se utilizan para determinar la resistencia a la compresión, como probetas cilíndricas de 15x30 cm, probetas cilíndricas de 10 x 20 cm y probetas cúbicas. Para todos los casos, el objetivo del ensayo es determinar la máxima resistencia a la compresión de los especímenes al aplicar una carga axial. (Rudeli & Santilli, 2017)

Pull-out o Lok-test: Este método consiste en medir el esfuerzo máximo necesario para extraer una pieza metálica incrustada en una masa de concreto; una de las principales desventajas de este método es que se debe tener en cuenta la variación de resistencia a lo largo de la estructura y una buena planificación de los puntos de ensayo. (ACI, 2003).

Break-off test: También conocido como ensayo de fractura interna, es utilizado con frecuencia para determinar la calidad de las estructuras; consiste en determinar la carga que provoca la flexión de un cilindro de 55 mm de diámetro por 70 mm de longitud ubicado en el concreto in situ. (ACI, 2003).

Ultrasonido: Este método se basa en un fenómeno físico conocido como propagación de ondas en un medio material, se utiliza para determinar la

uniformidad de un elemento, su espesor o módulo elástico; presenta grandes limitantes al utilizarla en materiales heterogéneos, debido a que las distintas fases que lo componen tienen diferentes propiedades elásticas relativas a la propagación de las ondas. (Rudeli & Santilli, 2017)

Esclerómetro de alta y baja resistencia: El esclerómetro es una herramienta que permite medir la resistencia a la compresión del concreto endurecido. Consiste en soltar un martillo metálico que está tensado con un resorte contra la superficie del concreto y medir la distancia de rebote; el martillo al golpear la superficie, el aparato arroja un número de rebote el cual puede ser relacionado con la resistencia a la compresión. (Rudeli & Santilli, 2017)

Sonda de Windsord: Este método de ensayo se lleva a cabo mediante la penetración de la superficie del hormigón, con una sonda de acero de punta cónica; la profundidad de penetración de esta sonda es un indicador de resistencia del concreto. (Rudeli & Santilli, 2017)

### ***B. Diseño de mezcla***

El diseño de mezcla es un proceso que consiste en determinar las proporciones de todos los materiales que componen el concreto, con la finalidad de obtener los mejores resultados. Existen diversos métodos de diseño de mezcla, algunos resultan muy complejos como consecuencia de múltiples variables y aun así no se conoce un método que ofrezca resultados perfectos, pero existe la posibilidad de optar por alguno según sea el caso. En oportunidades resulta innecesario la exactitud en cuanto a las proporciones de los materiales, pues se frecuenta el uso de reglas generales que permiten establecer dosis correctas con recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado. (Sánchez & Tapia, 2015)

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, en el año 2022?

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Realizar el análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, en el año 2022.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

O.E.1: Dar a conocer cuáles son las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03.

O.E.2: Recopilar estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03.

O.E.3: Identificar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas por cada estudio.

O.E.4: Comparar las ventajas y desventajas propias de cada técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo.

O.E. 5: Analizar los resultados de los estudios e identificar la técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03, más recomendable a ser empleada.

## **1.4. Hipótesis**

### ***1.4.1. Hipótesis general***

El análisis comparativo realizado en la presente investigación nos permitirá dar a conocer las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo que están normadas por el ACI 228.1R-03, así como la más recomendable a ser empleada.

---

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

#### 2.1.1. *Según el propósito*

El presente estudio, según el propósito, se alinea a una investigación aplicada; ya que será desarrollado mediante la ejecución de conocimientos y teorías ya aprendidas con anterioridad a través de investigaciones básicas.

La investigación aplicada se caracteriza por buscar la utilización de conocimientos ya adquiridos, al mismo tiempo que se adquieren otros, luego de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación; asimismo, los conocimientos se aplican en provecho de los grupos que intervienen en los diferentes procesos y en la sociedad en general. (Vargas, 2009)

#### 2.1.2. *Según el diseño*

El presente estudio, según el diseño, se alinea a una investigación no experimental; ya que su desarrollo no se encuentra relacionado con la manipulación deliberada de una o más variables independientes, sino que consiste solo en examinar los fenómenos ocurridos para poder analizarlos con posterioridad.

La investigación no experimental se caracteriza por carecer de una variable independiente. El investigador observa el contexto en el que se desarrolla el fenómeno y lo analiza para para obtener información. (Velázquez, 2022)

### 2.2. Diseño de investigación

Este estudio presenta un diseño descriptivo y transversal, pues se desarrolló en base a los datos y resultados extraídos de las investigaciones que fueron admitidas en la muestra. Posee una hipótesis de investigación en la cual se evalúa la presencia de una asociación entre variables de tipo cualitativa o también cuantitativas. (Vega, 2021)

**Tabla 3.**
*Diseño de investigación.*

Estudio	T1
M: Estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03.	O: Ventajas y desventajas de cada técnica.

Donde:

M: Muestra

O: Observación

## 2.3. Variables

### 2.3.1. Resistencia a la compresión

Es una de las características más resaltantes del concreto, siendo también el factor que se emplea para definir su calidad, la cual puede determinarse a través del ensayo de laboratorio bajo los parámetros de la normativa correspondiente. (Absalón & Salas, 2008). El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados a una velocidad especificada hasta que ocurra la falla. Se calcula mediante la división de la carga máxima alcanzada, entre el área de contacto del espécimen de ensayo. (Indecopi, 2015).

**Tabla 4.**
*Matriz de clasificación de variables.*

Clasificación de variables				
Variables	Relación	Naturaleza	Dimensión	Forma de Medición
Resistencia a la compresión	Independiente	Mixto	Unidimensional	Indirecta

**Tabla 5.**

*Matriz de operacionalización de la variable resistencia a la compresión del concreto.*

<b>Variables</b>	<b>Definición</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Escala de medición</b>
V.I.: Resistencia a la compresión del concreto	Es una de las características más resaltantes del concreto, siendo también el factor que se emplea para definir su calidad, la cual puede determinarse a través del ensayo de laboratorio bajo los parámetros de la normativa correspondiente; el valor de resistencia obtenido mediante el ensayo no es absoluto, ya que depende de las condiciones en que se ha realizado el ensayo. (Absalón & Salas, 2008).	El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad especificada hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de los especímenes ensayados se calcula mediante la división de la carga máxima alcanzada, entre el área de contacto del espécimen de ensayo. (NTP 339.034, 2015).	ACI 228.1R-03	Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo.	Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03.	Técnicas empleadas para la medición de la resistencia a la compresión en campo	Nominal
			Ventajas y desventajas propias de cada técnica de medición de resistencia a la compresión	Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo	-	Ficha resumen	
			Técnica de medición de resistencia a la compresión más recomendable.			Matriz de categorización	

## 2.4. Población y muestra

### 2.4.1. Población

La población del presente estudio está constituida por el total de investigaciones acerca de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; las mismas que fueron desarrolladas a nivel nacional e internacional considerando diversas fechas de publicación hasta llegar a la actualidad.

La población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones; asimismo, debe situarse claramente por sus características de contenido, lugar y tiempo. (Hernández et al, 2014).

### 2.4.2. Muestra

#### 2.4.2.1. Técnica de muestreo.

Este estudio utilizó una técnica de muestreo no probabilística, pues puso en práctica el método de evaluación de juicio por experto, el mismo que estuvo a cargo del ingeniero especialista en concreto Alberto Rubén Vásquez Díaz.

#### 2.4.2.2. Tamaño de muestra.

Este estudio, gracias al criterio del ingeniero Vásquez, consideró como mínimo la recopilación de 20 investigaciones, las mismas que se relacionaron con la variable en estudio y fueron admitidas como tamaño muestral.

**Tabla 6.**

*Tamaño de muestra de la investigación.*

Código	Título de investigación	Autor	País	Año
I-01	Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría del pavimento rígido del jr. dos de mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos – 2021.	García Murrieta, Sander Adriel & Rodríguez Cachique, Carlos Martín	Perú	2021

<b>I-02</b>	Estudio experimental para evaluar la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.	Masías Alburqueque, David Santiago	Perú	2021
<b>I-03</b>	Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto.	Delgado Tongo, R. & Arévalo Gonzales, S.	Perú	2020
<b>I-04</b>	Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020.	Aldana Cutipa, Luis & Pilco Mamani, Edwin Clubes	Perú	2020
<b>I-05</b>	Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido.	Siancas Távara, Dainer Rafael	Perú	2020
<b>I-06</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría.	Vélez Gallardo, Gustavo Antonio	Perú	2019
<b>I-07</b>	Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico-Cusco 2019.	Chavez Cusi, Danae Gandy & Soncco Romero, Stacy Beatriz	Perú	2019
<b>I-08</b>	Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Huancavelica.	Bedoya Espinoza, Jorge Luis	Perú	2018
<b>I-09</b>	Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque.	Borja Suárez, Manuel Alejandro	Perú	2018
<b>I-10</b>	Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar.	Martínez Hernández, José Guadalupe	México	2018
<b>I-11</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.	Mucha Mallaupoma, Aldo Marco	Perú	2018
<b>I-12</b>	Control de calidad del concreto con baja relación agua-cemento por métodos destructivos y no destructivos.	Sánchez Villa, Iván de Jesús	México	2017

<b>I-13</b>	Índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido $f'_c=245$ kg/cm <sup>2</sup> , ciudad Cuso.	Anahue Choquepuma, Brucele Ramiro & Mallquittupa, Alberth Edward	Perú	2017
<b>I-14</b>	Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón.	Rudeli, Natalia & Santilli, Adrián	Uruguay	2017
<b>I-15</b>	Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido.	Hernández de la Cruz, Ana Argelia & Gutiérrez Martínez, Aderly	República Dominicana	2016
<b>I-16</b>	Aplicación del método de la madurez para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados.	Castro, M., López, M., Alvarado, Y., Castaño, J. & Gasch, I.	Colombia	2016
<b>I-17</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por el método de madurez.	Torre Carrillo, Ana & Aspilcueta Asencios, Manuel	Perú	2016
<b>I-18</b>	Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.	Valencia Elguera, G. & Ibarra Navarro, M.	Perú	2013
<b>I-19</b>	Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes.	Rojas Henao, Lina Marcela	España	2012
<b>I-20</b>	Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio.	Aguilar Beltrán, O., Rodríguez Mejía, E. & Sermeño Monge, M.	El Salvador	2009

## 2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

### 2.5.1. Técnica de recolección de datos

#### 2.5.1.1. Análisis documental.

El presente estudio aplicó como técnica de recolección de datos el análisis documental, facilitando de esa manera la recopilación de las investigaciones relacionadas a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; permitiendo posteriormente interpretar sus contenidos objetivamente.

## 2.5.2. Instrumentos de recolección de datos

### 2.5.2.1. Ficha resumen.

El presente estudio desarrolló en primer lugar el instrumento de recolección de datos denominado ficha resumen, el mismo que tuvo la información sintetizada de cada investigación considerada en la muestra. (Ver anexo N°2).

### 2.5.2.2. Matriz de categorización.

El presente estudio desarrolló en segundo lugar el instrumento de recolección de datos denominado matriz de categorización, el mismo que para facilitar la comprensión del contenido de cada investigación de la muestra, se dividió en categorías como objetivos, resultados, conclusiones y otros que se consideren pertinentes. (Ver anexo N°2).

**Tabla 7.**

*Matriz de categorización.*

Variable	Recolección de datos			
	Fuente	Técnica	Herramienta	Instrumento
Resistencia a la compresión del concreto	Google Académico			Ficha resumen
	Redalyc	Análisis documental	Microsoft Excel	
	Scielo			Matriz de categorización
	Concytec			
	Dialnet			

## 2.5.3. Validación de instrumentos de recolección de datos

El presente estudio, con previa evaluación, validó los esquemas de los instrumentos de recolección de datos a usar a través y gracias a la firma del ingeniero Vásquez ya mencionado anteriormente.

## 2.5.4. Análisis de datos

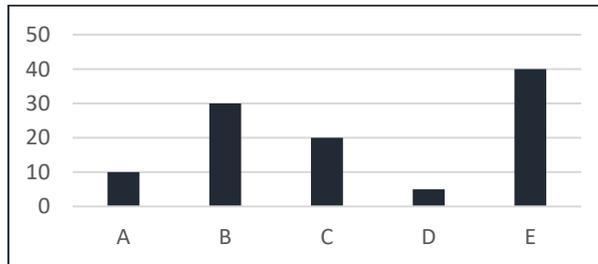
### 2.5.4.1. Estadística descriptiva.

El presente estudio al clasificarse como una investigación de diseño descriptivo y transversal, se desarrolló aplicando la estadística descriptiva, por lo que se representa la

información rescatada de cada investigación de la muestra haciendo uso de gráficos estadísticos como barras, círculos, etc., apoyándose del software Ms. Excel.

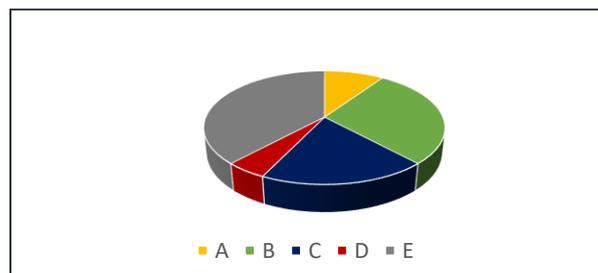
**Figura 1.**

*Ejemplo de gráfico Ejemplo de gráfico circular.*



**Figura 2.**

*Ejemplo de gráfico circular.*

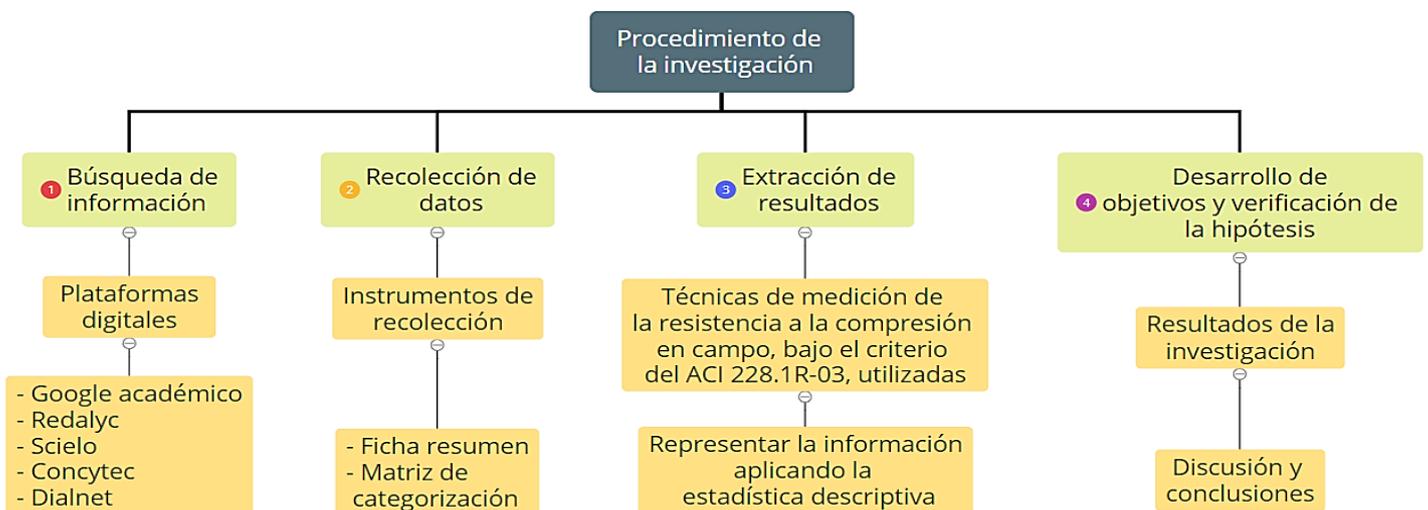


## 2.6. Procedimiento

En la Figura 3 se presenta el diagrama de flujo del procedimiento de la investigación.

**Figura 3.**

*Procedimiento de la investigación.*



### **2.6.1. *Búsqueda de información***

El procedimiento del presente estudio inició con la búsqueda de información, navegando a través de sitios web confiables como Google académico, Redalyc, Scielo, Concytec y Dialnet; utilizando palabras clave para garantizar una búsqueda eficiente hasta recolectar un número cuantioso de investigaciones, las cuales pasaron a formar parte de los 20 estudios que conforman el tamaño de muestra, siempre y cuando cumplan con factores como la antigüedad, relación con la variable y estructura adecuada, es por ello que se verificó dichos aspectos, descartando algunas investigaciones, hasta finalmente contar con el total requerido.

### **2.6.2. *Recolección de datos***

Teniendo las 20 investigaciones que formaron parte del tamaño de muestra recomendado por el ingeniero especialista, se desarrolló un análisis documental, el mismo que sirvió para rescatar toda la información relacionada a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; además, para dicho análisis se utilizó dos instrumentos importantes que ayudaron a organizar la información, el primero fue la ficha resumen, la cual consta de título, autor y resumen; el segundo fue la matriz de categorización, la cual está estructurada por título, objetivo y conclusiones.

### **2.6.3. *Extracción de resultados***

Contando con las investigaciones ordenadas en los instrumentos de recolección de datos, se analizaron los resultados y se extrajeron aquellos que presentaron una mejor relación con nuestra variable de estudio; luego, con ayuda del software Ms. Excel, éstos fueron representados mediante gráficos estadísticos como circulares, barras y líneas para una fácil interpretación, comprensión y comparación.

#### 2.6.4. *Desarrollo de objetivos y verificación de la hipótesis*

Habiendo realizado los pasos antes mencionados, se procedió con el desarrollo de los objetivos planteados al inicio de la investigación, de manera que permitan validar o rechazar la hipótesis. Luego, se generaron los resultados propios del presente estudio, los mismos que estuvieron asociados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; por último, gracias a la interpretación de dichos resultados se pudo redactar la discusión y seguido a ello, las conclusiones respectivas.

#### 2.7. Desarrollo de tesis

##### 2.7.1. *Búsqueda de información*

Se realizó la búsqueda de información en sitios web ya conocidos y confiables como Google académico, Redalyc, Scielo, Concytec y Dialnet; haciendo uso de términos clave, relacionados con la variable de estudio, hasta que se reunió un total de 20 investigaciones como tamaño de muestra.

**Tabla 8.**

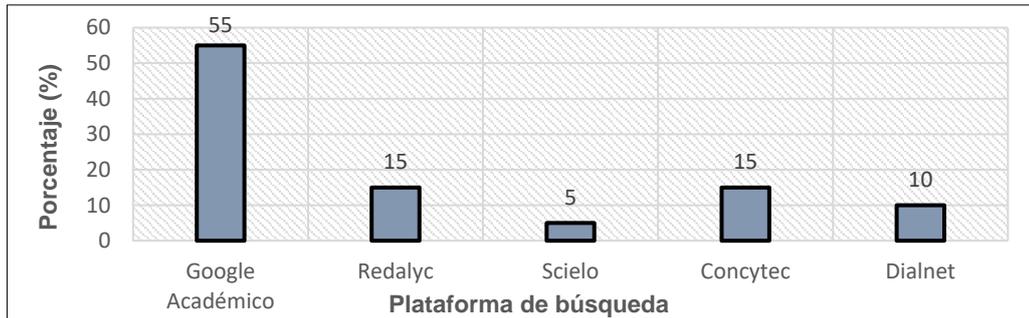
*Búsqueda de información.*

<b>Código de investigaciones</b>	<b>Plataforma</b>	<b>N°</b>	<b>%</b>
I-01, I-03, I-05, I-06, I-07, I-09, I-13, I-15, I-16, I-17, I-18	Google Académico	11	55
I-02, I-10, I-20	Redalyc	3	15
I-08	Scielo	1	5
I-04, I-12, I-14	Concytec	3	15
I-11, I-19	Dialnet	2	10

En la Figura 4 se presenta la distribución porcentual de la búsqueda de información en función de la plataforma, donde podemos observar que la mayor cantidad de estudios se rescataron de Google Académico.

**Figura 4.**

*Búsqueda de información.*



**Tabla 9.**

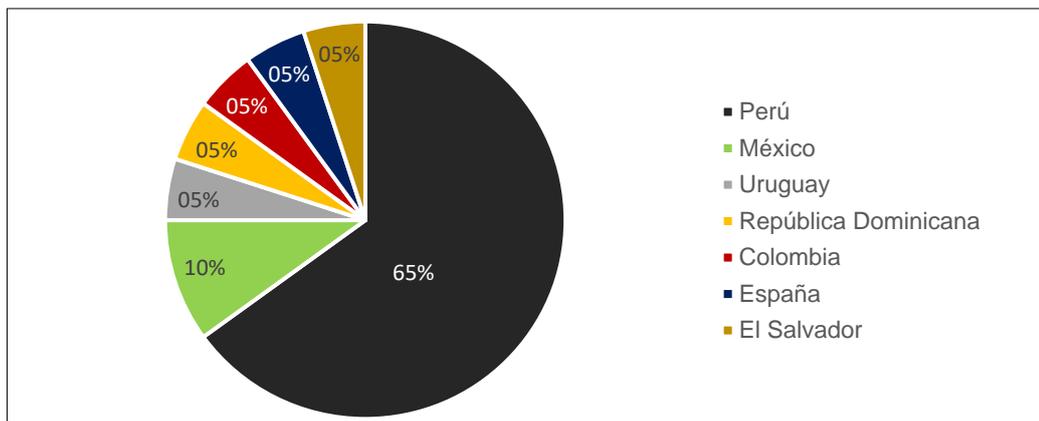
*Nacionalidad de estudios.*

Código de investigaciones	Nacionalidad	Nº	%
I-01, I-02, I-03, I-04, I-05, I-06, I-07, I-08, I-09, I-11, I-13, I-17, I-18	Perú	13	65
I-10, I-12	México	2	10
I-14	Uruguay	1	5
I-15	República Dominicana	1	5
I-16	Colombia	1	5
I-19	España	1	5
I-20	El Salvador	1	5

En la Figura 5 se presenta la distribución porcentual de la búsqueda de información en función de la nacionalidad, donde podemos observar que la mayor cantidad de estudios pertenecen a Perú.

**Figura 5.**

*Nacionalidad de estudios*



### **2.7.2. *Recolección de datos***

Se llevó a cabo la recolección de datos mediante el análisis documental, en donde, se pudo rescatar y ordenar toda la información relacionada a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; utilizando la ficha resumen y la matriz de categorización como instrumentos, las cuales se evidencian en las tablas N°20 a la N°59.

### **2.7.3. *Extracción de resultados***

Luego de haber realizado el paso anterior, se analizaron y extrajeron los resultados de cada investigación relacionados con nuestra variable de estudio, los mismos que fueron representados haciendo uso de la estadística descriptiva, es decir mediante gráficos de barras, circulares y líneas, haciendo más efectiva su interpretación, comprensión y comparación.

### **2.7.4. *Desarrollo de objetivos y verificación de la hipótesis***

Se desarrollaron los objetivos planteados pudiendo así validar o rechazar la hipótesis del presente estudio. Luego, se representaron los resultados en base a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03; por último, estos fueron interpretados dando lugar a la redacción de la discusión y conclusiones.

## **2.8. Aspectos éticos**

La presente investigación se basa en cuatro principios fundamentales: Beneficencia, debido a que quedará como un antecedente para próximos investigadores interesados en el tema. No maleficencia, debido a que toda la información se encuentra debidamente citada y referenciada. Autonomía, ya que dicha información pasará mediante un software para descartar plagio. Justicia, ya que estará al libre acceso para su revisión por parte del público investigador.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1. Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03.

En la Tabla 10 se detalla las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03, en donde se tiene que los métodos de prueba con un ++ da como resultado una estimación más precisa o es más fácil de usar a comparación de un método con +; un N/A indica que el método no es aplicable a la construcción existente. Por otro lado el método que presenta un † requiere verificación por otras pruebas.

**Tabla 10.**

*Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03.*

Método de prueba	Norma ASTM	Exactitud		Facilidad de uso
		Construcción nueva	Construcción existente	
Número de rebote	C 805	+	+	++
Resistencia a la penetración	C 803	+	+	++
Extracción (Pull-out)	C 900	++	++	+
Ruptura (Break-off)	C 1150	++	++	+
Velocidad de pulso	C 597	++	+	+
Madurez	C 1074	++†	N/A	+
Cilindro moldeado en el lugar	C 873	++	N/A	+

#### 3.2. Estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03.

En la Tabla 11 se detallan las investigaciones relacionadas con las técnicas de medición de la resistencia a la compresión las cuales fueron consideradas dentro del tamaño de muestra; éstas fueron rescatadas de diferentes plataformas de búsqueda confiables, como Google académico, Redalyc, Dialnet, Concytec y Scielo, observando que la mayoría de los estudios pertenecen al ámbito nacional.

**Tabla 11.**
*Estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión.*

<b>Código</b>	<b>Título</b>	<b>Tipo de estudio</b>	<b>Plataforma</b>	<b>País</b>
<b>I-01</b>	Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría del pavimento rígido del jr. dos de mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos – 2021.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-02</b>	Estudio experimental para evaluar la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.	Experimental	Redalyc	Perú
<b>I-03</b>	Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-04</b>	Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020.	Experimental	Concytec	Perú
<b>I-05</b>	Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-06</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-07</b>	Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia $f'_c=210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico-Cusco 2019.	Experimental	Google Académico	Perú

<b>I-08</b>	Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Huancavelica.	Experimental	Scielo	Perú
<b>I-09</b>	Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-10</b>	Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar.	Experimental	Redalyc	México
<b>I-11</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.	Experimental	Dialnet	Perú
<b>I-12</b>	Control de calidad del concreto con baja relación agua-cemento por métodos destructivos y no destructivos.	Experimental	Concytec	México
<b>I-13</b>	Índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido $f'c=245\text{ kg/cm}^2$ , ciudad Cuso.	Experimental	Google Académico	Perú
<b>I-14</b>	Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón.	Experimental	Concytec	Uruguay
<b>I-15</b>	Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido.	Experimental	Google Académico	República Dominicana
<b>I-16</b>	Aplicación del método de la madurez para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados.	Experimental	Google Académico	Colombia

I-17	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por el método de madurez.	Experimental	Google Académico	Perú
I-18	Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.	Experimental	Google Académico	Perú
I-19	Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes.	Experimental	Dialnet	España
I-20	Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio.	Experimental	Redalyc	El Salvador

### 3.3. Técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas por cada estudio.

En la Tabla 12 se detallan las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas por cada estudio; observando que todas presentan un grado de confiabilidad alto en cuanto a su correlación con el método estándar de compresión de probetas cilíndricas.

**Tabla 12.**

*Técnicas de medición de la resistencia a la compresión utilizadas por cada estudio.*

N° Estudio	Técnicas de medición utilizadas, descritas en el ACI 228.1R-03	Norma ASTM	Correlación con el método de compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39)		
			Coefficiente de correlación (R)	Confiabilidad (R <sup>2</sup> )	Grado de correlación
I-01	Número de rebote	C 805	0.9934	98.68%	Muy alta
I-02	Velocidad de pulso	C 597	0.9755	95.16%	Muy alta
I-03	Número de rebote	C 805	0.9981	99.63%	Muy alta

	Velocidad de pulso	C 597	0.9341	87.26%	Muy alta
I-04	Número de rebote	C 805	0.9027	81.48%	Muy alta
I-05	Velocidad de pulso	C 597	0.9904	98.08%	Muy alta
	Número de rebote	C 805	0.9989	99.78%	Muy alta
I-06	Número de rebote	C 805	0.9888	97.77%	Muy alta
I-07	Velocidad de pulso	C 597	0.9766	95.37%	Muy alta
I-08	Madurez	C 1074	0.9982	99.65%	Muy alta
I-09	Número de rebote	C 805	0.9931	98.63%	Muy alta
I-10	Extracción (Pull-out)	C 900	0.9620	92.54%	Muy alta
I-11	Velocidad de pulso	C 597	0.9588	91.93%	Muy alta
	Número de rebote	C 805	0.9832	96.66%	Muy alta
I-12	Madurez	C 1074	0.9558	91.36%	Muy alta
I-13	Madurez	C 1074	0.9233	85.25%	Muy alta
I-14	Madurez	C 1074	0.9883	97.68%	Muy alta
	Número de rebote	C 805	0.9746	94.99%	Muy alta
I-15	Velocidad de pulso	C 597	0.9747	95.01%	Muy alta
I-16	Madurez	C 1074	0.9928	98.57%	Muy alta
	Madurez	C 1074	0.9884	97.70%	Muy alta
I-17	Número de rebote	C 805	0.8989	80.80%	Considerable
	Velocidad de pulso	C 597	0.8792	77.30%	Considerable
I-18	Velocidad de pulso	C 597	0.8993	80.87%	Considerable
I-19	Número de rebote	C 805	0.9311	86.70%	Muy alta
	Velocidad de pulso	C 597	0.9691	93.91%	Muy alta
	Madurez	C 1074	0.9932	98.65%	Muy alta
I-20	Número de rebote	C 805	0.9945	98.91%	Muy alta
	Velocidad de pulso	C 597	0.9776	95.57%	Muy alta

### 3.4. Comparación de las ventajas y desventajas propias de cada técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo.

En la Tabla 13 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada número de rebote, la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 805.

**Tabla 13.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de número de rebote.*

<b>Número de rebote (ASTM C805)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es fácil de ejecutar.	Es posible que no represente al concreto interior, debido a que este método se ve afectado principalmente por la capa de concreto cercana a la superficie
Permite delimitar zonas deterioradas o de dudosa calidad.	El valor de rebote es influenciado por factores como la humedad de la superficie del área de ensayo, el acabado, el espesor de la estructura y el grado de carbonatación de la superficie del concreto.
Permite conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo sin deteriorar la estructura ya que es un ensayo no destructivo.	El rebote es afectado por la orientación del instrumento, por lo que se requiere de una corrección.
Permite estimar la resistencia del concreto estableciendo una correlación entre la resistencia y el número de rebote para una determinada mezcla.	No es conveniente como la base para la aceptación o el rechazo del concreto.

En la Tabla 14 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada resistencia a la penetración, la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 803.

**Tabla 14.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de resistencia a la penetración.*

<b>Resistencia a la penetración (ASTM C 803)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite determinar la homogeneidad del concreto	El tipo de agregado grueso afecta en gran medida la relación entre la resistencia del concreto y la profundidad de penetración de la sonda
Permite identificar zonas deterioradas	El acabado del concreto como una superficie dura, genera valores de penetración bajos y una dispersión excesiva de datos.
Permite estimar la resistencia del concreto a edades tempranas	La penetración se ve afectada por la presencia de armaduras dentro de la zona de influencia, por lo que se debe utilizar medidores de cobertura para seleccionar los lugares de prueba

En la Tabla 15 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada extracción (Pull-out), la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 900.

**Tabla 15.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de extracción (Pull-out).*

<b>Extracción (Pull-out) - (ASTM C 900)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Existe una buena correlación entre la carga máxima de extracción y la resistencia a la compresión del concreto.	La resistencia a la extracción se rige solo a concreto ubicado junto al tronco cónico definido por la cabeza del inserto y el anillo de reacción.
Produce una superficie de fractura bien definida y mide una propiedad de resistencia estática.	Debido a la heterogeneidad inherente del concreto, se ha encontrado que el coeficiente de variación promedio dentro de este ensayo, es aproximadamente dos o tres veces el de las pruebas estándar de compresión de cilindros.

En la Tabla 16 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada ruptura (Break-off), la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 1150.

**Tabla 16.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de ruptura (Break-off).*

<b>Ruptura (Break-off) - (ASTM C 1150)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
El daño causado a la estructura es menor.	Se ve influenciada por los aumentos en los tamaños de agregados.
Permite conocer la resistencia del concreto de una forma más precisa.	Las curvas de correlación dependen de varios factores como las condiciones de curado del concreto; por lo que la relación entre el resultado del ensayo y la estimación de las propiedades del material son estimaciones que conllevan grandes variaciones.

En la Tabla 17 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada velocidad de pulso, la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 597.

**Tabla 17.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de velocidad de pulso.*

<b>Velocidad de Pulso - (ASTM C 597)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite identificar zonas de deterioro y monitorear su evolución así como verificar la efectividad de las reparaciones empleadas.	La cantidad y orientación del acero respecto a la dirección de envío de la onda, influye en la definición de la velocidad de pulso.
El ensayo puede realizarse con solo una cara del elemento estructural accesible.	La medida de la velocidad de pulso se puede ver afectada por la presencia de fisuras y vacíos a lo largo del elemento por el cual se transmite la onda.
Rápido de realizar, y el daño causado a la estructura es nulo.	No se utiliza para la aceptación o rechazo del concreto.

En la Tabla 18 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada madurez, la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 1074.

**Tabla 18.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de madurez.*

<b>Madurez - (ASTM C 1074)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
La resistencia del concreto puede ser evaluada en tiempo real.	El concreto utilizado en la estructura no es representativo de aquel utilizado para los ensayos de calibración en el laboratorio debido a cambios de material y precisión en la elaboración.
El número de pruebas para efectos de control y verificación es menor.	Temperaturas elevadas a edad temprana traerán consigo una predicción incorrecta de la resistencia a largo plazo.
Permite realizar estimaciones de la resistencia del concreto a edades tempranas, de forma práctica y sencilla.	Se requiere de otra información para garantizar que el concreto en el lugar tenga las proporciones de mezcla previstas.

En la Tabla 19 se muestra una comparación entre las ventajas y desventajas de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada cilindros moldeados en el lugar, la cual está descrita en el ACI 228.1R-03 y cuyo procedimiento se encuentra detallado en la norma ASTM C 873.

**Tabla 19.**

*Comparación de las ventajas y desventajas de la técnica de cilindros moldeados en el lugar.*

<b>Cilindros moldeados en el lugar - (ASTM C 873)</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Permite estimar la resistencia in situ a edades tempranas, de una muestra que ha sido sometida al mismo historial térmico que el concreto de la estructura.	Existirá cierta incertidumbre en la resistencia real en el lugar debido al grado de consolidación, diferencias de temperaturas, tamaño del espécimen y relación altura-diámetro.

Permite determinar el tiempo adecuado para el retiro de desencofrados y medir la efectividad del curado y protección.

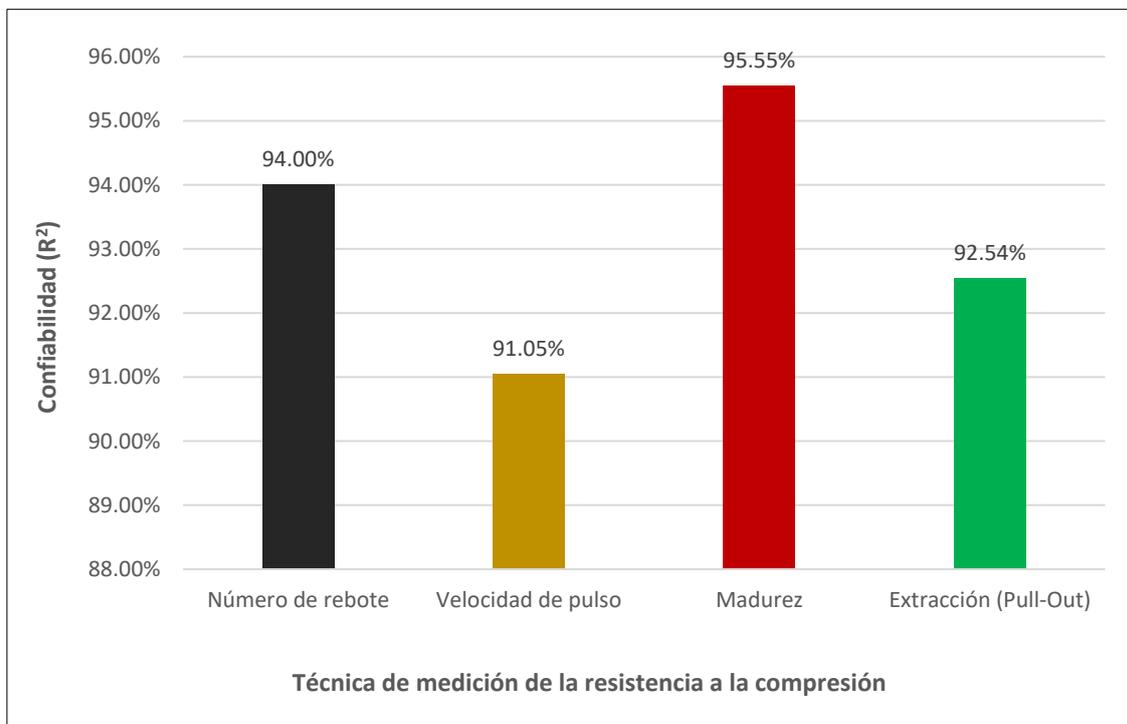
Debido a que la técnica implica una prueba de resistencia a la compresión, no se requiere una relación de resistencia.

### 3.5. Técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo más recomendada a ser empleada.

En la Figura 6 el gráfico estadístico de barras a modo de representar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo según el grado de confiabilidad promedio obtenido del análisis de todos los estudios considerados, observando que el método de madurez es el que presenta una mayor confiabilidad por lo tanto vendría a ser el más recomendable a utilizar.

**Figura 6.**

*Técnica más recomendada según el grado de confiabilidad promedio, obtenido del análisis de todos los estudios considerados.*



## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

Luego de realizar el análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, se obtuvo que las técnicas más utilizadas son el número de rebote, velocidad de pulso, madurez y extracción (Pull-out), de las cuales el método de madurez resultó ser la más recomendada a utilizar debido a que alcanzó un grado de confiabilidad ( $R^2$ ) promedio de 95.55%, seguido del 94.00%, 92.54% y 91.05% correspondientes a los métodos de número de rebote, extracción (Pull-out) y velocidad de pulso respectivamente. Asimismo, se dio a conocer las ventajas y desventajas propias de cada técnica, rescatando que éstas a pesar de que proveen datos no muy exactos, son muy útiles para medir la resistencia a la compresión del concreto en campo, pues son fáciles de realizar y el daño que proporcionan a la estructura es nulo o mínimo en algunos casos, pero en ningún momento pueden reemplazar al ensayo estándar de compresión de probetas cilíndricas sino que se correlacionan con este último para complementar los resultados. Con esto, se acepta la hipótesis planteada en la presente investigación la cual señala que el análisis comparativo realizado nos permitirá dar a conocer las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo que están normadas por el ACI 228.1R-03, así como la más recomendable a ser empleada; esto gracias a un complejo análisis de los resultados obtenidos por cada uno de los estudios considerados en la muestra.

En la tabla N°10, se puede apreciar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03, las cuales se detallan en según la exactitud de la fuerza y la facilidad de uso; también, indica los métodos que vienen a ser aplicables tanto para una construcción nueva como para una que ya existe;

donde, generalmente aquellos métodos que requieren de la incorporación de la dotación física son los que se limitan para ser empleados en una construcción nueva. Los métodos de prueba que tienen un ++ son relativamente más fáciles de usar y dan como resultado una estimación más precisa de fuerza, a diferencia de los métodos que presentan un +. Asimismo, la precisión de estos métodos es determinada por el grado de correlación entre la fuerza y la cantidad física medida por la prueba, por ello se debe tener en cuenta ciertos factores que pueden afectar los resultados de la prueba. En la tabla N°11, se puede identificar los estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, los cuales fueron considerados dentro del tamaño de muestra; estos fueron rescatados de diferentes plataformas de búsqueda confiables, como Google académico, Redalyc, Dialnet, Concytec y Scielo, observando que la mayoría de las investigaciones encontradas pertenecen al ámbito nacional, exactamente en un 65%. En la tabla N°12, se puede apreciar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03, utilizadas en los diferentes estudios de la muestra, observando de manera global que, las técnicas empleadas fueron la velocidad de pulso, madurez, número de rebote y extracción (Pull-out); en donde, de los 20 estudios analizados, 13 utilizaron una técnica (la velocidad de pulso estuvo presente en 4 de ellos, abarcando el 30.77%; de igual manera el número de rebote y la madurez con los mismos valores; seguido finalmente del método Pull-out que estuvo presente en 1 estudio, abarcando el 7.69%), 5 estudios utilizaron dos técnicas (la velocidad de pulso y el número de rebote fueron consideradas en 4 estudios, abarcando el 80%; seguido del método de madurez y número de rebote considerados en 1 estudio, abarcando el 20%) y finalmente 2 estudios emplearon 3

técnicas (el método de madurez, número de rebote y velocidad de pulso; abarcando el 100%).

En la tabla N°13, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada número de rebote (ASTM C 805), de la cual se puede rescatar que a pesar de ser un método de fácil ejecución que ayuda a conocer la resistencia del concreto de una manera económica y rápida sin afectar el funcionamiento de la estructura ya que es un ensayo no destructivo; existen ciertos factores como la humedad de la superficie, el acabado, el espesor, el grado de carbonatación del concreto y la orientación del instrumento que influyen en los resultados, por ello se afirma que no es conveniente emplearla con el fin de rechazar o aceptar el concreto, sino que sirve como un complemento al ensayo estándar de rotura de probetas con el cual se vienen estableciendo correlaciones aplicables para un determinado tipo de concreto, que ayuden a obtener resultados más cercanos a la realidad.

En la tabla N°14, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada resistencia a la penetración (ASTM C 803), la cual es similar a la anterior, excepto que la sonda impacta en el concreto con mayor energía que el émbolo del martillo de rebote, asimismo, se puede rescatar que a pesar de ser también un método de uso fácil que ayuda a conocer la resistencia del concreto de una manera económica y rápida sin afectar el funcionamiento de la estructura ya que es un ensayo no destructivo; existen ciertos factores como el tipo de agregado grueso, el acabado del concreto y la presencia de armaduras que influyen en los resultados, por ello se recomienda utilizar medidores de cobertura para elegir adecuadamente los lugares de prueba.

En la tabla N°15, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada extracción o Pull-out (ASTM C 900), de la cual se puede rescatar que a pesar de ser un método que en cuanto a su facilidad de uso el ACI 228.1R-03 la describe como medio (+), ayuda a conocer la resistencia del concreto de una forma más precisa a diferencia de las dos técnicas anteriores, esto sin afectar el funcionamiento de la estructura ya que es un ensayo semidestructivo, es decir el daño proporcionado es mínimo.

En la tabla N°16, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada Ruptura o Break off (ASTM C 1150), de la cual se puede rescatar que al igual que el método anterior, en cuanto a su facilidad de uso el ACI 228.1R-03 la describe como medio (+), ayuda a conocer la resistencia del concreto de una forma más precisa a diferencia de las dos primeras técnicas, esto sin afectar el funcionamiento de la estructura ya que también es un ensayo semidestructivo, es decir el daño proporcionado no es considerable. Además, existen ciertos factores como el aumento del tamaño del agregado grueso, las condiciones de curado del concreto, entre otros, que influyen en las curvas de correlación y por ende en los resultados obtenidos.

En la tabla N°17, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada velocidad de pulso (ASTM C 597), de la cual se puede rescatar que a pesar de ser un método que en cuanto a su facilidad de uso el ACI 228.1R-03 la describe como medio (+), ayuda a conocer la resistencia del concreto de una manera económica y rápida sin afectar el funcionamiento de la estructura ya que es un ensayo no destructivo. Además, existen ciertos factores como la presencia de fisuras y vacíos en el elemento,

así como la cantidad y orientación del acero de refuerzo respecto a la dirección de envío de la onda, que influyen en la definición de la velocidad de pulso.

En la tabla N°18, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada madurez (ASTM C 1074), de la cual se puede rescatar que a pesar de ser un método que en cuanto a su facilidad de uso el ACI 228.1R-03 la describe como medio (+) y que no es aplicable a la construcción existente, permite realizar estimaciones de la resistencia del concreto a edades tempranas, de forma práctica y sencilla. Además, una de las principales razones por la cual el método de madurez produce mejores estimaciones es debido a que este toma como fundamento que la resistencia a la compresión se debe principalmente al calor generado de las reacciones internas entre el cemento y el agua.

En la tabla N°19, se puede apreciar la comparación de las ventajas y desventajas propias de la técnica de medición de la resistencia a la compresión denominada cilindros moldeados en el lugar (ASTM C 873), de la cual al igual que la técnica anterior, se puede rescatar que a pesar de ser un método que en cuanto a su facilidad de uso el ACI 228.1R-03 la describe como medio (+) y que no es aplicable a la construcción existente, permite también realizar estimaciones de la resistencia del concreto a edades tempranas de una muestra que ha sido sometida al mismo historial térmico que el concreto de la estructura. Además, hay que tener en cuenta factores como el grado de consolidación, diferencias de temperatura, tamaño del espécimen y relación altura-diámetro, los cuales influyen en los resultados obtenidos generando cierta incertidumbre en la resistencia real del concreto.

En la figura N°6, se muestra una comparación de las técnicas analizadas según el grado de confiabilidad promedio obtenido del análisis de los estudios considerados

como tamaño de muestra, observando que el método de madurez fue el que presenta un mayor grado de confiabilidad con un valor de 95.55%, seguido del 94.00% alcanzado por el método de número de rebote; 92.54% alcanzado por el método de extracción (Pull-out) y el 91.05% alcanzado por el método de velocidad de pulso; lo que nos hace notar que, el método de madurez vendría a ser el más recomendable a ser utilizado para estimar la resistencia a la compresión. Por otro lado, cabe recalcar que en ningún momento los métodos antes mencionados, pueden reemplazar al ensayo estándar de compresión de probetas cilíndricas sino que se busca una correlación entre ambos métodos, la cual tenga un grado de confiabilidad alto y permita complementar y mejorar los resultados obtenidos.

La presente investigación, a través de los resultados, evidencia que las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, descritas en el ACI 228.1R-03, resultan ser sencillas y rápidas de realizar; además de que el daño que le proporcionan a la estructura es mínimo o nulo, asimismo, existen diferentes factores internos y externos propios de cada método, los cuales influyen en los valores obtenidos. Por ello los diversos autores estudian la correlación que existe entre estos métodos y el ensayo de compresión de probetas cilíndricas con la finalidad de determinar distintas funciones que permitan estimar la resistencia del concreto con un cierto grado de confiabilidad; encontrando de esta manera que la técnica de madurez es la más recomendable a ser utilizada debido a su alto grado de confiabilidad promedio obtenido, concordando con Rudeli & Santilli (2017), en su estudio “Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón”, quienes, al emplear distintos métodos para medir la resistencia del concreto a edades tempranas con el fin de determinar tiempos mínimos de

desencofrado de elementos verticales; encontraron que, si el usuario de la metodología para determinar tiempos mínimos de desencofrado desea desencofrar a resistencias menores que 3 MPa entonces es recomendado el uso de esclerómetro de baja resistencia para la construcción de las curvas de caracterización, mientras que si se desea desencofrar a resistencias mayores por razones de seguridad u otras que pudiesen tener que ver con el proyecto, es recomendable el método de madurez mediante la utilización de probetas cilíndricas de dimensiones normales de 15 x 30 cm, además de que este último presentara un grado de confiabilidad del 97.68% en cuanto a su correlación con el ensayo estándar de compresión de probetas cilíndricas; teniendo relación con Aguilar, Rodríguez & Sermeño (2009), a través de su estudio “Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio”, quienes observaron que, el método de madurez se basa en que la resistencia del concreto deriva de la hidratación del cemento, lo cual genera calor; y si el calor de hidratación se mide puede entonces estimarse la resistencia del concreto; concluyendo que, el método de madurez puede ser aplicado con mucha confiabilidad en viviendas, edificaciones, puentes, etc., ya que el grado de madurez permite que los moldes sean removidos sin que la estructura sufra daños; adicionalmente en cuanto a su correlación con el ensayo estándar de compresión de probetas cilíndricas, esta técnica presentó un grado de confiabilidad de 98.65%; presentando conformidad con Vélez (2019), a través de su investigación denominada “Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría”, quien señala que resulta de gran ayuda contar con distintos métodos no destructivos que nos permitan conocer, de una manera rápida y sencilla, la resistencia del concreto, llegando a demostrar que los ensayos de dureza superficial (número de rebote) y la resistencia a la compresión se

pueden correlacionar teniendo un alto grado de confiabilidad (desde un 82.6% en algunos casos, hasta un 97.37%) comparado con el método tradicional que solo muestra un ábaco referencial; además indica que edad del concreto y el tipo de piedra afectan directamente al resultado de la dureza superficial y en consecuencia al resultado de la resistencia del concreto, pero aún así, el método es aplicable ya que presenta un alto grado de confiabilidad, sin embargo sostiene que no se debería dejar de hacer cualquier otro método destructivo que indique la verdadera resistencia del concreto.

Para la realización del presente estudio, se presentaron una serie de limitaciones como por ejemplo, algunas investigaciones que guardaban una alta relación con el tema desarrollado, estaban con acceso restringido. Otra limitación que se tuvo fue de que no todos los estudios contaban con una estructura adecuada que permita una mayor comprensión de lo que se quiere expresar, haciendo así dificultosa la extracción de la información mediante los instrumentos de recolección de datos; además, algunas no presentaron el grado de confiabilidad de la correlación de los métodos utilizados con el ensayo estándar de rotura de probetas, y si lo hacían era de forma tal que fue necesaria la realización de ciertos cálculos y gráficas con los datos obtenidos de dichos ensayos, para la obtención de este valor y poder así ajustar todos los estudios a ese parámetro para su posterior comparación.

En resumen, este estudio fue elaborado en base a un procedimiento el cual inició por la búsqueda de información navegando a través de sitios web ya conocidos y confiables, seguido del registro de las investigaciones encontradas, mediante la elección de un total de 20 como tamaño muestral; después se realizó un análisis documental con la finalidad de rescatar la información de la muestra, ello con ayuda de dos instrumentos importantes como la ficha resumen y la matriz de categorización;

luego se procedió con la extracción de resultados que guardaban relación con la variable de estudio, los mismos que fueron representados haciendo uso de la estadística descriptiva con la finalidad de facilitar el entendimiento de lo que se quiere expresar; finalmente, se logró cumplir con los objetivos planteados y verificar la hipótesis a través de los resultados propios del presente estudio, lo que dio lugar a la redacción de la discusión y luego a las conclusiones respectivas. Todo este procedimiento se desarrolló poniendo énfasis en las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03; donde se encontró que los diferentes métodos descritos en la norma antes mencionada, que ayudan a medir la resistencia a la compresión del concreto en campo, son de gran utilidad ya que proporcionan daños mínimos a la estructura y los resultados obtenidos mediante la correlación con el ensayo de compresión de probetas cilíndricas son aceptables debido al grado de confiabilidad alto, además se tiene que de los métodos considerados en los estudios que fueron tomados como tamaño muestral, el método de madurez fue el que obtuvo el grado de confiabilidad ( $R^2$ ) promedio más alto por lo que vendría a ser el más recomendado a ser utilizado según sostienen también ciertos autores de los antecedentes analizados.

Como implicancias para la presente, se tiene que los resultados se obtuvieron gracias al análisis de los estudios considerados como tamaño de muestra, ello en base a la normativa ACI, la cual permitió analizar la variable independiente que viene a ser la resistencia a la compresión del concreto, evaluada en base a las diferentes técnicas detalladas por la normativa antes mencionada.

## 4.2. Conclusiones

- Se logró realizar el análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, encontrando que, los diferentes métodos analizados que ayudan a medir la resistencia a la compresión en campo, presentan resultados aceptables, pues se evidencia altos grados de confiabilidad ( $R^2$ ) en cuanto a la correlación con el método estándar de rotura de probetas, resultando así el método de madurez como el más recomendable a ser utilizado debido a que presentó un 95.55% de confiabilidad promedio.
- Se logró dar a conocer cuáles son las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo descritas en el ACI 228.1R-03, siendo este número de rebote (ASTM C 805), resistencia a la penetración (ASTM C 803), Extracción o Pull-out (ASTM C 900), Ruptura o Break-off (ASTM C 1150), velocidad de pulso (ASTM C 597), madurez (ASTM C 1074) y cilindros moldeados en el lugar (ASTM C 873).
- Se logró recopilar estudios relacionados a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, los cuales fueron considerados dentro del tamaño de muestra; estos fueron rescatados de diferentes plataformas de búsqueda confiables, encontrando que el 65% del total pertenecen al ámbito nacional.
- Se logró identificar las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03, utilizadas por cada estudio; observando que las técnicas empleadas fueron la velocidad de pulso, madurez, número de rebote y extracción (Pull-out); en donde, de los 20 estudios

analizados, 13 utilizaron solo una técnica, 5 utilizaron dos técnicas y 2 utilizaron 3 técnicas, representando el 65%, 25% y 10% respectivamente.

- Se logró comparar las ventajas y desventajas propias de cada técnica de medición de la resistencia a la compresión del concreto en campo teniendo en cuenta el criterio de la norma ACI 228.1R-03, la cual proporciona orientación sobre el uso de los métodos descritos en ella.
- Se logró identificar la técnica de medición de la resistencia a la compresión en campo, bajo el criterio del ACI 228.1R-03 más recomendable a ser utilizada, la cual fue la técnica de madurez, debido a que presentó un mayor grado de confiabilidad promedio con un valor de 95.55%; seguido del 94.00% alcanzado por el método de número de rebote; del 92.54% alcanzado por el método de extracción (Pull-out) y del 91.05% alcanzado por el método de velocidad de pulso.

#### **4.3. Recomendaciones**

- Se recomienda a los involucrados en la construcción a emplear el método de madurez como una técnica para determinar la resistencia a la compresión en campo, puesto que fue la que sobresalió con un 95.55% de confiabilidad.
- Se recomienda realizar un análisis más exhaustivo en cuanto a las técnicas de medición de la resistencia a la compresión, ya que algunos métodos que describe la normativa ACI, son muy escasos en cuanto a su estudio por los diferentes autores consultados.
- Se recomienda a los estudiantes de ingeniería civil a continuar con la investigación teniendo en cuenta otras consideraciones de análisis, que permitan ampliar el conocimiento sobre esta característica principal del concreto que viene a ser la resistencia a la compresión.

---

## REFERENCIAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto (teoría y problemas)*. San Marcos
- Absalón, V. & Salas, R. (2008). *Influencia en el diseño de mezcla de agregados de diferente procedencia en el estado Mérida*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad de los Andes]. Repositorio institucional.
- ACI (2003). *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength*. (ACI 228.1R)
- Aguilar, O., Rodríguez, E. & Sermeño, M. (2009). *Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio*. [Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador].
- Aldana, L. & Pilco, E. (2020). *Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio institucional.
- Amat, D. & Valero, C. (2018). *Análisis comparativo y relación entre los métodos destructivos y no destructivos de la resistencia a compresión de concreto para la ciudad de Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional.
- Anahue, B. & Mallquittupa, A. (2017). *Índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido  $f'c=245$  kg/cm<sup>2</sup>, ciudad Cusco*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional.

- Bedoya, J. (2018). *Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional.
- Borja, M. (2018). *Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional.
- Castro-Garrido, M., López-Garzón, M., Alvarado, Y., Castaño, J. & Gasch, I. (2016). Aplicación del método de la madurez para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados. *Informes de la Construcción*, 68(541), e131. <https://doi.org/10.3989/ic.14.105>
- Cementos Argos, S.A. (s.f.). *Ensayos no destructivos en el concreto endurecido: un aporte a la evaluación, diagnóstico y solución*. 360 en concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/ensayos-no-destructivos-en-el-concreto-endurecido-un-aporte-a-la-evaluacion-diagnostico-y-solucion-1/>
- Céspedes, M. (2003). *Resistencia a la comprensión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1338>
- Corro, H. & Ramos, A. (2015). *Correlación entre el índice de madurez de una mezcla de concreto y su resistencia a la compresión*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio institucional. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/1143>

- Chavez, D. & Soncco, S. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico-Cusco 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Repositorio institucional.
- Delgado, R. & Arevalo, S. (2020). *Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional.
- Euco (2019). *Guía básica para el curado del concreto*. Euclid Group Toxement
- Flores, L. (2013). Metodología ACI para la reparación de daños y deterioros en el concreto. *Constructivo*, 2, pp. 154-157. <https://www.topconsult.com.pe/articulos>
- García, S. & Rodríguez, C. (2021). *Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría del pavimento rígido del jr. dos de mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos – 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Perú]. Repositorio institucional.
- Gomezjurado, J. (2010). *Tecnología del Concreto, Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas (3)*. Asocreto
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción (2)*. Colombia: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- Hannachi, S. (2014). Revisión de la velocidad del pulso ultrasónico-Evaluación de la compresión del hormigón fuerza en el sitio. *Revista Scientific Cooperations International Workshops on Engineering Branches*, 8, pp. 103-112. [http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file\\_artikel\\_abstrak/Isi\\_Artikel\\_713890653853.pdf](http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_713890653853.pdf)

- Hernández, A. & Gutiérrez, A. (2016). *Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña]. Repositorio institucional.
- Huarcaya, C. (2014). *Comportamiento del asentamiento en el concreto usando aditivo polifuncional Sikament 290N y aditivo super plastificante de alto desempeño Sika Viscoflow 20E*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio institucional, <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/432>
- Indecopi (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. (NTP 339.034).
- Martínez, J. (2018). *Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio institucional, <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/16059>
- Masías, D. (2021). *Estudio experimental para evaluar la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple*. Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Mendoza, V. (2008). *Evaluación de la calidad de agregados para concreto, en el departamento de Totonicapán*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.
- Mucha, A. (2018). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S. & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 2(33), pp. 161-172. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n2/0718-5073-ric-33-02-00161.pdf>
- Pacheco, L. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*. [Tesis de pregrado, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio institucional, <https://hdl.handle.net/20.500.12819/226>
- Porrero, J.; Ramos, J.; Grases, J. & Velazco, G. (2009). *Manual del Concreto Estructural. La librería del ingeniero*. Venezuela.
- Probacons (21 de diciembre de 2017). Concreto con aire incluido. *Brindamos soluciones*. <https://www.probacons.com>
- Reyes, J. & Rodríguez, Y. (2010). *Análisis de la resistencia a la compresión del concreto al adicionar limalla fina en un 3%, 4% y 5% respecto al peso de la mezcla*. [Tesis de pregrado, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga]. Repositorio institucional, <http://hdl.handle.net/20.500.11912/1360>
- Rojas, L. (2012). Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España].
- Rudeli, N. & Santilli, A. (2017). Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. *Obras y Proyectos*, 22, pp. 6-16. <https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n22/0718-2805-oyp-22-0006.pdf>
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Shandar
- Sánchez, F. & Tapia, R. (2015). *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la*

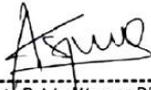
- compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego, Perú]. Repositorio institucional.
- Sánchez, I. (2017). *Control de calidad del concreto con baja relación agua-cemento por métodos destructivos y no destructivos.* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Chihuahua, México]. Repositorio institucional.
- Sepúlveda, A. (2016). Factores determinantes de la resistencia a compresión del concreto. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Siancas, D. (2020). *Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido.* Universidad Nacional de Piura, Perú.
- Soledad, C. (2010). La Internacionalización de la industria cementera en la zona del cordón industrial San Nicolás- Ramallo. Universidad Abierta Interamericana – Sede Rosario, Buenos Aires, Argentina.
- Structuralia (16 de junio de 2021). ¿Qué es la resistencia a la compresión?. La importancia de la resistencia a compresión del hormigón. <https://blog.structuralia.com>.
- Torre, A. & Aspilcueta, M. (2016). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por el método de madurez.* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Valencia, G. & Ibarra, M. (2013). *Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.* Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Vélez, G. (2019). *Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría.* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú]. Repositorio institucional.

## ANEXOS

### ANEXO N°1. Validación de instrumento por experto

#### Figura 7.

Matriz para evaluación de experto del instrumento de recolección de datos.

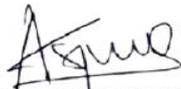
<b>MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS</b>				
<b>Título de la investigación:</b>	Análisis comparativo de las técnicas de medición de la resistencia a la compresión en campo bajo el criterio del ACI 228.1R-03, Trujillo 2022.			
<b>Línea de investigación:</b>	Tecnologías Emergentes			
<b>Apellidos y nombres del experto:</b>	Ing. Vásquez Díaz, Alberto Rubén			
<b>El instrumento de medición pertenece a la variable:</b>	Resistencia a la compresión del concreto.			
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	✓		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	✓		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	✓		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	✓		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	✓		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	✓		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	✓		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	✓		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	✓		
<b>Sugerencias:</b>				
<b>Firma del experto:</b>		 ----- Alberto Rubén Vásquez Díaz ING. CIVIL R. CIP. N° 166228 ----- Ing. Vásquez Díaz, Alberto Rubén		

Fuente Propia.

## ANEXO N°2. Formato de los instrumentos de recolección de datos

### Figura 8.

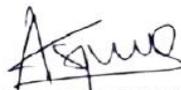
*Formato de la ficha resumen.*

<b>FICHA RESUMEN</b>	
<b>Título:</b>	
<b>Autor (es):</b>	
<b>Año:</b>	
<b>Resumen</b>	:
Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos	
 ----- Alberto Rubén Yásquez Díaz ING. CIVIL R. CIP. N° 166228	

Fuente Propia.

### Figura 9.

*Formato de la matriz de categorización.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>Título:</b>	
<b>Pregunta de Investigación:</b>	
<b>Objetivo:</b>	
<b>Conclusiones:</b>	
Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos	
 ----- Alberto Rubén Yásquez Díaz ING. CIVIL R. CIP. N° 166228	

Fuente Propia.

---

**ANEXO N°3. Fichas resumen****Tabla 20.***Ficha resumen de la investigación 01.*

---

**FICHA RESUMEN I-01**

---

**Título:** Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría del pavimento rígido del jr. dos de mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos – 2021.

**Autor (es):** García Murrieta, S. & Rodríguez Cachique, C.

**Año:** 2021

---

**Resumen:**

La presente investigación, tiene como objetivo la comparación de los resultados del ensayo destructivo usando diamantina y el no destructivo de Esclerometría, para determinar la resistencia a la compresión del concreto del pavimento rígido del Jirón Dos de mayo, cuadras 4 – 11 en la ciudad de Iquitos. La muestra estuvo conformada por veinticuatro especímenes con diamantina y veinticuatro rebotes correspondientes al lugar de donde se extrajeron los indicados especímenes, los cuales se obtuvieron de ocho cuadras, tres testigos por cuadra, dos de éstos se tomaron de las losas extremas de la cuadra y uno de la losa central. Se aplicó la estadística descriptiva para el procesamiento de la información; y, para la prueba de hipótesis se aplicó la estadística inferencial utilizándose el Coeficiente de Correlación de Pearson. Los resultados para la diamantina arrojaron una resistencia a la compresión de 174.29 kg/cm<sup>2</sup> y para el esclerómetro 340.55 kg/cm<sup>2</sup>; de lo cual se concluye la aplicabilidad del método no destructivo; además de que la correlación existente entre ambos métodos, estimada a través del Coeficiente de Correlación de Pearson es de 0.803, lo cual indica una Correlación Buena, con lo cual la hipótesis quedó contrastada positivamente.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 21.***Ficha resumen de la investigación 02.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-02</b>	
<b>Título:</b>	Estudio experimental para evaluar la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.
<b>Autor (es):</b>	Masías Alburquerque, D.
<b>Año:</b>	2021
<b>Resumen:</b>	<p>El presente trabajo de investigación tiene como finalidad evaluar los resultados de resistencia a la compresión entre un ensayo destructivo como la rotura de probetas y un ensayo no destructivo, como el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico. Para de esta manera, obtener un factor que permita estimar un valor confiable de resistencia a la compresión sin necesidad de arriesgar la estructura a ensayar. Se ha tomado en cuenta el procedimiento estipulado en las normas NTP 339.034-2015 y ASTM C597 para los ensayos de rotura de probetas y velocidad de pulso ultrasónico respectivamente. Todo esto, bajo las manos capacitadas del personal de Laboratorio de Ensayo de Materiales y Estructuras de la Universidad Nacional de Piura. Después de haber ensayado una totalidad de 90 probetas de concreto simple, las cuales fueron sometidas a los ensayos anteriormente mencionados en una dosificación de 175, 210 y 280 kg/cm; se ha encontrado un factor que confirma que ambos procedimientos presentan correlación positiva. Sin embargo, dicho factor tiene la finalidad de obtener un valor estimado, ya que por ningún motivo reemplazaría el valor obtenido del ensayo de rotura de probetas.</p>

---

Fuente: Propia.

**Tabla 22.***Ficha resumen de la investigación 03.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-03</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto.
<b>Autor (es):</b>	Delgado Tongo, R. & Arevalo Gonzales, S.
<b>Año:</b>	2020
<b>Resumen:</b>	<p>El presente trabajo de investigación se basa en la utilización de los métodos destructivos y no destructivos para encontrar el índice de rebote en concretos de 210 kg/cm<sup>2</sup>; mediante la evaluación de la resistencia a compresión y el índice de rebote a diferentes edades, determinando la correlación existente entre ellos y el error estimado, lo que es de utilidad a los productores y usuarios de este material, ya que puede ser aplicada en situaciones de reclamos, evaluaciones o arbitrajes a concretos de similares características y materiales. Sabemos que el concreto es un material heterogéneo que depende de muchas variables, como la calidad de cada uno de los materiales que lo componen, las proporciones utilizadas y las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado, por esta razón el control de calidad (obra y/o laboratorio) que se implemente en cada proyecto será decisivo en el desempeño que el material tenga en estado fresco y endurecido. En el presente estudio se evaluó la resistencia a compresión (ASTM C-39) y el índice de rebote (ASTM C-805) a diferentes edades de concretos con similares proporciones y trabajabilidad y contenidos de aire diferentes.</p>

---

Fuente: Propia.

**Tabla 23.***Ficha resumen de la investigación 04.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-04</b>	
<b>Título:</b>	Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020.
<b>Autor (es):</b>	Aldana Cutipa, L. & Pilco Mamani, E.
<b>Año:</b>	2020
<b>Resumen:</b>	<p>El objetivo de la presente investigación es encontrar el nivel de correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerómetro, pero sobre todo determinar el nivel de confianza con el que se deberían aceptar estos resultados. Para ello se ha evaluado los muros de contención de Ciudad Nueva, específicamente los muros de contención en la Calle Intiorko tramo Av. Los precursores - Pasaje Pomata, distrito Ciudad Nueva – Tacna en los cuales se realizaron la extracción de muestras mediante el equipo de diamantina, las cuales fueron evaluadas en el Laboratorio de Suelos y Pavimentos de la Universidad Privada, a su vez se realizó el ensayo no destructivo de esclerómetro con el fin de obtener la resistencia del concreto que presentan dichos muros y comparar la variación y eficacia de ambos ensayos. Se analizó la resistencia del concreto y se determinó los parámetros en los que oscila los valores de resistencia obtenidos por esclerómetro y por ruptura de cilindros de concreto con el fin de verificar si la resistencia especificada es la óptima para garantizar la seguridad de las personas que viven en la zona y si esta concuerda con la especificada en el expediente técnico del proyecto.</p>

---

Fuente: Propia.

**Tabla 24.***Ficha resumen de la investigación 05.*

---

**FICHA RESUMEN I-05**

---

<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido.
<b>Autor (es):</b>	Siancas Távara, D.
<b>Año:</b>	2020

---

La presente tesis tiene por finalidad realizar un diagnóstico aplicando 2 métodos de ensayos no destructivos y un ensayo destructivo como son: uso del esclerómetro, equipo ultrasonido y extracción de especímenes de concreto con diamantina. Para la aplicación de los ensayos se utilizará normas internacionales y nacionales según el siguiente detalle: ASTM C805, UNE-EN-12504-2 y NORMA ASTM C - 805 y NTP 339.181, las que norman el uso del esclerómetro, ASTM C597 – Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete que consigna la metodología y exigencias para aplicar el método del pulso ultrasónico y ASTM C42 M para el ensayo de diamantina. Se plantea resolver la necesidad de saber la resistencia a la compresión del concreto de la infraestructura. Los ensayos serán aplicados a la infraestructura de los mismos elementos estructurales, lo que permitirá establecer si existe una correlación en los datos obtenidos, y al ser analizados permitirá determinar la calidad del concreto en función a uno de sus parámetros mecánicos más representativos, como es la resistencia a la compresión del concreto.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 25.***Ficha resumen de la investigación 06.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-06</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría.
<b>Autor (es):</b>	Vélez Gallardo, G.
<b>Año:</b>	2019
<b>Resumen:</b>	<p>Debido al crecimiento continuo que se tiene cada año del consumo del concreto como primer material de construcción, resulta de gran ayuda contar con distintos métodos no destructivos que nos permitan conocer, de una manera rápida y sencilla, la resistencia del concreto. Uno de los métodos no destructivos es el índice esclerométrico, que consiste en determinar nivel de compacidad de las partículas del concreto. Durante años se han hecho distintos estudios para correlacionar el índice esclerométrico y la resistencia del concreto, hallando altos niveles de relación; sin embargo, dichos estudios no toman en cuenta la edad del concreto ni el tipo de piedra que se utiliza en la mezcla, siendo parámetros que no resultan ajenos al ensayo de esclerometría. Por ello, la siguiente investigación propone el ensayo de dureza superficial (esclerometría) como un método confiable para la determinación de la resistencia del concreto analizando distintas muestras de acuerdo a su edad y tamaño máximo nominal. Estos factores serán analizados y serán almacenados en una base de datos en la que serán separados según su característica, generando distintos gráficos de regresión lineal para así aumentar el índice de confianza de correlación de Pearson.</p>

---

Fuente: Propia.

**Tabla 26.**

*Ficha resumen de la investigación 07.*

<b>FICHA RESUMEN I-07</b>	
<b>Título:</b>	Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico-Cusco 2019.
<b>Autor (es):</b>	Chavez Cusi, D. & Soncco Romero, S.
<b>Año:</b>	2019
<b>Resumen:</b>	<p>Debido al crecimiento continuo del consumo de concreto en el rubro de la construcción, resulta de ayuda acceder a métodos de evaluación in situ que, de manera sencilla y rápida, permitan caracterizar estructuras de concreto en función a las propiedades físicas y mecánicas como las de resistencias; por ello la presente tesis de investigación propone un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto simple (CS) y concreto autocompactable (CAC); en función del ensayo de pulso ultrasónico, asociando un grado de confiabilidad. La finalidad es realizar un control de calidad permanente in situ, que permita la continuidad correcta de labores y/o evitar retrabajos probablemente costosos, generando ahorros para la industria de la construcción. El trabajo desarrollado se da inicio en laboratorio con la preparación, muestreo y control de diseños patrón de CS y CAC, a partir de los cuales se establecieron variables de estudio como: la relación Agua/Cemento y el tamaño del agregado, luego se procedió al realizar la producción de la población total de los especímenes de: CS y CAC respectivamente, considerando que el rango de resistencias a compresión es similar en cada uno de los especímenes de cada tipo de concreto. Se procedió a realizar una comparación de los resultados obtenidos de ensayos en estado endurecido: con la medición de las propiedades físicas en función de Velocidad de Pulso Ultrasónico, obteniendo datos confiables por: exploración por líneas y área así también en la propiedad mecánica con la medición de calidad de resistencia con maquina a compresión y velocidad de pulso ultrasónico; finalmente se establecieron relaciones y se realizó un análisis de confiabilidad con el fin de determinar ecuaciones de tendencia que ajusten al comportamiento del: CS y CAC.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 27.***Ficha resumen de la investigación 08.*

---

**FICHA RESUMEN I-08**

---

**Título:** Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica.

**Autor (es):** Bedoya Espinoza, J.

**Año:** 2018

---

El objetivo de investigación fue medir la influencia del Método de Madurez en la resistencia del concreto para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Huancavelica. La población se conformó por 120 probetas de concreto. Se utilizó el método experimental, la técnica de observación y la ficha de observación. Como resultados se obtuvo que para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con agua una temperatura promedio de  $(9,95^\circ\text{C})$  y  $(10,63^\circ\text{C})$ , para el tipo de agregado grueso piedra triturada y canto rodado curados con aditivo una temperatura promedio de  $(11,73^\circ\text{C})$  y  $(11,17^\circ\text{C})$ , por otro la predominancia fue para el tipo de agregado grueso piedra triturada con una diferencia promedio de  $18,55 \text{ kg/cm}^2$  curados con aditivo y  $18 \text{ kg/cm}^2$  curados con agua. Se obtuvo mayor resistencia para el tipo de curado con aditivo, con una diferencia promedio de  $2,19 \text{ kg/cm}^2$  utilizando el agregado canto rodado y  $2,74 \text{ kg/cm}^2$  empleando el agregado piedra triturada. En conclusión, el método de madurez influye significativamente en la resistencia del concreto en la ciudad de Huancavelica.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 28.***Ficha resumen de la investigación 09.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-09</b>	
<b>Título:</b>	Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque.
<b>Autor (es):</b>	Borja Suárez, Manuel
<b>Año:</b>	2018
<b>Resumen:</b>	<p>El objetivo de la presente investigación es encontrar el nivel de correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría, pero sobre todo determinar el nivel de confianza con el que se deberían aceptar estos resultados. Para esto se han evaluado probetas provenientes de diferentes obras de construcción, indistintamente de sus características de diseño, y antes que sean ensayadas en la prensa, han sido sometidas a un examen con un esclerómetro digital siguiendo el procedimiento estipulado en la ASTM C805; así mismo, se han ensayado probetas con diseño controlado para diferentes <math>f'c</math>: 175, 210 y 280 kg/cm<sup>2</sup> y así poder comparar en qué casos se tiene una mejor correlación: entre las probetas provenientes al azar de diferente obras, o en las probetas de diseño controlado en laboratorio. Después de procesar todos los datos, se ha llegado a la conclusión que el ensayo de esclerometría si se puede utilizar para estimar la resistencia a la compresión del concreto pero bajo ciertas condiciones controladas y teniendo en cuenta un margen de error y confiabilidad: Para el caso de las muestra analizadas de diferentes obras sin diseño controlado, se ha encontrado una desviación estándar de 45 kg/cm<sup>2</sup>, (ligeramente alta); y para el caso de concretos de diseño controlado se obtuvo una correlación de <math>r^2 = 0.7406</math> (medianamente buena), así como una desviación estándar 13 kg/cm<sup>2</sup>. Finalmente y para estas muestras, se puede concluir que para un nivel de confiabilidad del 95% las medidas quedarán en un rango de <math>f'c \pm 25</math> kg/cm.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 29.***Ficha resumen de la investigación 10.*

---

**FICHA RESUMEN I-10**

---

**Título:** Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar.

**Autor (es):** Martínez Hernández, J.

**Año:** 2018

---

**Resumen:**

Actualmente la industria de la construcción se ha encargado de mejorar y adoptar técnicas que le permitan evaluar los sistemas constructivos con un mayor grado de rapidez que mejore y acelere las actividades críticas que suceden en todos los procesos de construcción tales como el descimbrado, el postensado y apertura al tráfico a usuarios que generalmente el parámetro que utilizan para tomar decisiones es el ensayo a compresión de cilindros realizados y curados de manera estándar que no representan las condiciones reales en las que está sometida la estructura. Es por eso por lo que se ha optado por implementar métodos que nos dictaminen tal parámetro sin generar un daño que pueda poner en riesgo la integridad de la estructura de una manera más rápida, eficiente y sobre todo confiable. Mencionado lo anterior, en la presente investigación se analizarán pruebas que determinen un parámetro de la resistencia a la compresión del concreto. Estas pruebas están destacadas dentro del rubro de las pruebas como: no destructivas y semidestructivas debido a que no le generan daño a una estructura y son unos de los métodos más importantes que nos brindan una solución y alternativa optima de obtener este parámetro. Para este trabajo de investigación se probaron cinco proporcionamientos a las edades de 3,7,14,21 y 28 días, estos diseños comprenden las resistencias desde 200 kg/cm<sup>2</sup> hasta los 500 kg/cm<sup>2</sup>, en el que las pruebas utilizadas para determinar la resistencia fueron a través de ensayos realizados a núcleos de concreto de 2 y 3 in extraídos de un molde de 20 x 20 x 60 cm, al mismo tiempo, se ejecutaron pruebas de extracción por un método de Pull-Out que lleva por nombre comercial LOK-TEST; este método nos permitió establecer correlaciones en las que los resultados encontrados demuestran que es una buena alternativa, técnica y económicamente viable para conocer este parámetro de manera confiable.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 30.***Ficha resumen de la investigación 11.*

---

<b>FICHA RESUMEN I-11</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.
<b>Autor (es):</b>	Mucha Mallaupoma, A.
<b>Año:</b>	2018
<b>Resumen:</b>	<p>La presente tesis tiene por finalidad elaborar una curva calibrada, en el equipo medidor de velocidad del ultrasonido, con datos de ensayos previos de velocidad de ultrasonido, uniformidad y resistencia en compresión; de la muestra o los testigos de concreto. Asimismo, se plantea resolver la necesidad de saber la resistencia a la compresión de la estructura de concreto, que está en servicio y así tener una información adicional a los resultados de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto. El tema elegido para la presente tesis es importante porque sabiendo la resistencia real del concreto de las estructuras de concreto se puede garantizar economía y seguridad a todos los proveedores y consumidores involucrados en la industria del concreto.</p>

---

Fuente: Propia.

**Tabla 31.***Ficha resumen de la investigación 12.*

---

**FICHA RESUMEN I-12**

---

**Título:** Control de calidad del concreto con baja relación agua-cemento por métodos destructivos y no destructivos.

**Autor (es):** Sánchez Villa, I.

**Año:** 2017

---

**Resumen:**

En la presente investigación tiene como objetivo estimar la resistencia a la compresión simple (ASTM C 39, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”) del concreto elaborado con relaciones agua-cemento bajas utilizando el método de madurez (ASTM C1074, “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”). Además se evalúa el error de estimar la resistencia del concreto expuesto al medio ambiente utilizando curvas de calibración elaboradas en condiciones estándar. En lo que las vías terrestres se refiere, con frecuencia, es necesario abrir lo más pronto posible el paso a la circulación en aeropistas, autopistas, calles, entre otros; dando paso a menores costos de operación; por esta razón, se pretende tener todos los elementos para evitar en lo posible cualquier tipo de situación, como la mencionada al hacer uso de los conocimientos que se pretenden acrecentar en este trabajo, para tener mayor certidumbre de cómo actuar cuando se presenten situaciones de toma de decisiones y proceder de la mejor manera.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 32.**

*Ficha resumen de la investigación 13.*

---

**FICHA RESUMEN I-13**

---

**Título:** Índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido  $f^c=245$  kg/cm<sup>2</sup>, ciudad Cusco 2016.

**Autor (es):** Anahue, B. & Mallquittupa, A.

**Año:** 2017

**Resumen:**

El objetivo de la investigación fue determinar la relación del índice de madurez del concreto a diferentes edades con la resistencia mecánica de una estructura de pavimento rígido, donde se estudió la evolución de la resistencia mecánica en función del historial de temperatura interna del concreto, calculándose el índice de madurez del concreto para posteriormente estimar las resistencias mecánicas en el pavimento rígido in situ. El procedimiento constó en elaborar el índice de madurez en laboratorio; relacionando el historial de temperatura interna del concreto en especímenes de cilindros y vigas de concreto, con valores de resistencia mecánica a compresión, flexión y módulo de elasticidad para diferentes edades durante 70 días y posteriormente estudiar el índice de madurez de la estructura in situ por 50 días. Para ello se tuvo un estudio pre y post ejecución con un control de calidad global, realizando una caracterización de los componentes del concreto, control de parámetros de calidad en estado fresco y endurecido para el diseño de mezcla  $f^c=245$  kg/cm<sup>2</sup> y relación de agua/cemento de 0.65. La tecnología moderna utilizada fue el Equipo de Madurez, que almacenó datos del historial de temperatura con un intervalo de un minuto durante 70 días en los especímenes de concreto en laboratorio y 50 días en la estructura de pavimento rígido in situ. Los resultados demostraron que los índices de madurez son aplicables cuando la estructura sigue las condiciones de curado óptimo, de lo contrario el método de madurez es inexacto para la estimación de resistencias, especialmente a mayores edades. Se concluye que el índice de madurez estima las resistencias mecánicas a compresión del concreto in situ mediante una función exponencial basado en el historial de temperatura y que la precisión de la resistencia estimada es dependiente del control de calidad global pre y post ejecución de la unidad de la estructura.

Fuente: Propia.

**Tabla 33.***Ficha resumen de la investigación 14.*

---

**FICHA RESUMEN I-14**

---

**Título:** Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón.

**Autor (es):** Rudeli, N. & Santilli, A.

**Año:** 2017

---

**Resumen:**

En este artículo se presenta un estudio profundo de diferentes métodos para medir resistencia del hormigón a tempranas edades. Se busca determinar el instrumento de medición de resistencia que proporcione el mejor ajuste a las curvas de resistencia – maduración con el fin de determinar tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón. Fueron estudiados los ensayos de compresión de probetas cilíndricas de dimensiones normales de 15 x 30 cm, compresión de probetas cilíndricas de dimensiones reducidas de 10 x 20 cm, penetrómetro de hormigón y esclerómetro pendular de baja resistencia. Se utilizaron dos dosificaciones diferentes de hormigón y fueron verificados más de 500 puntos de las curvas. Se concluye que la utilización del esclerómetro pendular es recomendado en caso de que el usuario desee desencofrar a resistencias menores que 3 MPa. En caso de que se desee desencofrar a resistencias por encima de este valor se recomienda el uso del método de madurez empleando probetas cilíndricas de dimensiones normales.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 34.***Ficha resumen de la investigación 15.*

---

**FICHA RESUMEN I-15**

---

**Título:** Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido.

**Autor (es):** Hernández de la Cruz, A. & Gutiérrez Martínez, A.

**Año:** 2016

---

**Resumen:**

Gracias al incremento incesante del consumo de hormigón como material de construcción, resulta de mucha envergadura contar con técnicas de estimación no destructivas que, de forma fácil y efectiva, hagan posible la caracterización de una estructura de concreto en lo relacionado a resistencia a compresión; en vista de ello este trabajo de investigación plantea el ensayo de ultrasonido para la predicción de dicha medida, haciendo hincapié en una modelación matemática de aproximación que asocie la resistencia a compresión con la velocidad de pulso ultrasónico, con un grado de confianza admisible. El objetivo es llevar a cabo una inspección de la calidad de forma permanente in situ, que admita la continuación correcta de las labores y así impedir trabajar doblemente lo que sería posiblemente costoso, en síntesis, generar ganancias para el sector construcción. El trabajo práctico efectuado comienza en los laboratorios con la elaboración, muestreo y control de tres diseños patrón de hormigón, para los cuales se ponen de manifiesto algunas variables de investigación: la relación agua/cemento o resistencia y el tiempo de curado. Con los datos de velocidad de pulso ultrasónico y de resistencia a compresión, conseguidos de pruebas en estado endurecido, se forman relaciones y se lleva a cabo un análisis de confianza, a fin de establecer ecuaciones de correspondencia que se acoplen a la conducta de los hormigones. En conclusión, se estiman los intervalos de error al iterar apreciaciones de la resistencia a compresión con las ecuaciones encontradas, analizando en qué proporción se muestran los casos de sobrevaloración o subvaloración.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 35.***Ficha resumen de la investigación 16.*

---

**FICHA RESUMEN I-16**

---

**Título:** Aplicación del método de la madurez para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados.

**Autor (es):** Castro, M., López, M., Alvarado, Y., Castaño, J. & Gasch, I.

**Año:** 2016

---

**Resumen:**

El presente artículo propone una metodología para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados. Para esto, se realiza un estudio de madurez de hormigones usados en este tipo de construcción. Con el fin de construir la curva de madurez en laboratorio se implementa la metodología descrita en la ASTM C1074, calculando la energía de activación por los tres métodos propuestos y midiendo el historial térmico de las mezclas a una temperatura controlada. Por último, se realiza la instrumentación en obra de una placa donde se estima la edad de descimbrado. Se ha observado que el tiempo de fraguado final no es un parámetro recomendable para descimbrar las placas, como lo recomiendan las productoras de hormigón en Colombia. La edad de descimbrado obtenida es mayor a la del tiempo de fraguado final, habiendo una diferencia de hasta 11 horas en el caso más crítico.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 36.***Ficha resumen de la investigación 17.*

---

**FICHA RESUMEN I-17**

---

**Título:** Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por el método de madurez.

**Autor (es):** Torre Carrillo, A. & Aspilcueta Asencios, M.

**Año:** 2016

---

**Resumen:**

En las estructuras de concreto es de suma importancia conocer el desarrollo de la resistencia a la compresión. Convencionalmente, se hace uso del método descrito en las normas ASTM C39/C39M – NTP 339.034 “Método de Ensayo Normalizado para la Determinación de la Resistencia a la Compresión del Concreto en muestras cilíndricas”. Sin embargo, los resultados obtenidos utilizando este método siempre difieren de la resistencia en la estructura, lo cual motiva al uso de métodos indirectos para poder evaluar la resistencia in situ. Entre los métodos indirectos se encuentra la madurez del concreto, descrito en las normas ASTM C1074–NTP339.217 “Método de ensayo normalizado para la estimación de la resistencia del concreto por el método de madurez”. Este método fue desarrollado por investigadores británicos McIntosh (1949), Nurse (1949) y Saul (1951) los cuales proponían que a partir del conocimiento de la temperatura interna del concreto se podía estimar la resistencia a la compresión. Debido a eso, el método de madurez fue implementado en diversos proyectos los cuales reportaron que la principal ventaja fue la optimización del tiempo en operaciones constructivas. En esta investigación se compararon las resistencias estimadas por el método de madurez y el método convencional obteniéndose correlaciones del orden de 0.97, mientras que para el caso de la resistencia in situ se obtuvo resultados similares a los conseguidos en proyectos extranjeros.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 37.**

*Ficha resumen de la investigación 18.*

---

**FICHA RESUMEN I-18**

---

**Título:** Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.

**Autor (es):** Valencia Elguera, G. & Ibarra Navarro, M.

**Año:** 2013

**Resumen:**

Debido al crecimiento continuo del consumo de concreto como material de construcción, resulta de ayuda contar con métodos de evaluación no destructivos que, de manera sencilla y rápida, permitan caracterizar una estructura de concreto en términos de resistencia a compresión; en función de ello la presente investigación propone el ensayo de ultrasonido para la estimación de dicho parámetro, basándose en un modelo de aproximación que correlacione la resistencia a compresión con la velocidad de pulso ultrasónico, con un grado de confiabilidad asociado. La idea es realizar un control de calidad permanente in situ, que permita la continuidad correcta de labores y/o evitar retrabajos probablemente costosos, en resumen, generar ahorros para la industria de la construcción. El trabajo experimental desarrollado comienza en laboratorio con la preparación, muestreo y control de seis diseños patrón de concreto, para los cuales se establece algunas variables de estudio: la relación agua/cemento y el tamaño del agregado. La siguiente etapa importante se realiza a escala industrial, para ello se hace una selección, muestreo y control de las mezclas de producción que son de mayor consumo en el entorno de la construcción de Lima, considerando que el rango de resistencias a compresión es similar al del trabajo en laboratorio. Con los resultados de velocidad de pulso ultrasónico y de resistencia a compresión, obtenidos de ensayos en estado endurecido para ambas etapas (laboratorio y escala industrial), se establecen relaciones y se realiza un análisis de confiabilidad, a fin de determinar ecuaciones de tendencia que se ajusten al comportamiento de los concretos. Finalmente, identificando la relación agua/cemento y el Huso del agregado, se evalúan los márgenes de error al simular estimaciones de la resistencia a compresión con las ecuaciones establecidas, observando en qué medida se presentan los casos de sobreestimación o subestimación.

Fuente: Propia.

**Tabla 38.***Ficha resumen de la investigación 19.*

---

**FICHA RESUMEN I-19**

---

**Título:** Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes.

**Autor (es):** Rojas Henao, Lina Marcela

**Año:** 2012

---

**Resumen:**

La presente tesis doctoral tiene como objetivo principal verificar si el comportamiento de estos ensayos aplicados a un HAC es similar al mostrado en el HVT. Esta investigación se centra principalmente en la predicción de la resistencia a compresión in situ de un HAC mediante los resultados de los ensayos de resistencia a compresión de probetas testigo, de índice de rebote y de velocidad de ultrasonidos. Diferentes aspectos relacionados con esta predicción han sido estudiados, entre ellos, el tipo de ajuste adecuado y la influencia de algunas variables de ensayo modelizada a través de factores de corrección que afectan el resultado de la resistencia de las probetas testigo. Para ello se han fabricado 30 bloques en HAC de dimensiones 50 x 50 x 100 cm junto con tres probetas cilíndricas de 15 x 30 cm y dos probetas cúbicas de 15 x 15 cm por cada bloque. Ambos conjuntos de probetas han sido hormigonadas con la misma amasada de los bloques. En términos generales, se han realizado 360 ensayos de rotura de probetas testigo, 180 de índice de rebote, 180 de velocidad de ultrasonidos y 150 de rotura de probetas moldeadas. Asimismo el rango de resistencias alcanzado tiene por extremos 20 MPa y 80 MPa. Por otra parte, los resultados de resistencia a compresión del HAC investigado han sido utilizados para obtener factores de conversión que relacionan la resistencia de las probetas cilíndricas de 15 x 30 cm con la de las probetas cúbicas de 15 x 15 cm. Las conclusiones obtenidas han permitido establecer que variables como la dirección de hormigonado y algunos factores de corrección utilizados en la predicción de la resistencia in situ inciden de forma muy diferente en los HAC y en los HVT.

---

Fuente: Propia.

**Tabla 39.***Ficha resumen de la investigación 20.*

---

**FICHA RESUMEN I-20**

---

**Título:** Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio.

**Autor (es):** Aguilar Beltrán, O., Rodríguez Mejía, E. & Sermeño Monge, M.

**Año:** 2009

---

**Resumen:**

Las nuevas tecnologías en los procesos constructivos demandan mejoras e innovaciones en los ensayos de control de calidad de las obras. En el caso específico de las casas coladas en el sitio, un sistema ampliamente utilizado en nuestro país, no se cuenta con un control de la resistencia de la vivienda al momento de retirar los moldes, es por eso, que surge la necesidad de investigar un método que nos ayude a conocer la resistencia de una estructura a edades tempranas. El método de madurez del concreto se ajusta a esta necesidad, por lo que en este trabajo de graduación se explicará los fundamentos y la aplicación del método a un sistema de paredes coladas en el sitio y así poder determinar el estado del concreto al momento del retiro de moldes. El método se basa en que la resistencia del concreto deriva de la hidratación del cemento, este proceso genera calor; si el calor de hidratación se mide puede estimarse la resistencia del concreto. Se concluye que, el método de madurez puede ser aplicado con mucha confiabilidad en viviendas, edificaciones, puentes, etc., ya que el grado de madurez permite que los moldes sean removidos sin que la estructura sufra daños.

---

Fuente: Propia.

## ANEXO N°4. Matrices de categorización

**Tabla 40.**

*Matriz de categorización de la investigación 01.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-01</b>	
<b>Título:</b>	Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría del pavimento rígido del jr. dos de mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos – 2021.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Cuál es la comparación de los ensayos de Diamantina y Esclerometría del Pavimento rígido del Jr. Dos de Mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos - 2021?
<b>Objetivo:</b>	Comparar los valores de resistencia a la compresión uniaxial del concreto provenientes de los ensayos de Diamantina y Esclerometría del Pavimento rígido del Jr. Dos de Mayo, de las cuadras 4 – 11, Iquitos - 2021.
<b>Conclusiones:</b>	Se pudo concluir que considerando una resistencia a la compresión de diseño 210 kg/cm <sup>2</sup> , resulta que los ensayos de diamantina sólo han llegado al 83%, mientras que los ensayos de esclerometría alcanzaron el 162%. Como factor de resistencia se tiene que el Valor de los ensayos de diamantina equivale 0.51 el valor de la esclerometría. Además, del análisis estadístico realizado, el coeficiente de correlación de Pearson es de 0.803, esto quiere decir que existe una <b>CORRELACIÓN BUENA</b> . Finalmente, de los resultados de resistencia a compresión con esclerómetro y diamantina se afirma que, éstos están directamente relacionados, esto es, si los valores de uno aumentan, del mismo modo los valores del otro, con lo que se demuestra la hipótesis de investigación.

Fuente: Propia.

**Tabla 41.**

*Matriz de categorización de la investigación 02.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-02</b>	
<b>Título:</b>	Estudio experimental para evaluar la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Cuál es la correlación de resultados de resistencia, entre los ensayos de rotura y velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple?
<b>Objetivo:</b>	Evaluar la correlación del valor de resistencia a la compresión entre el ensayo de rotura de probetas y el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (basándonos en el valor del VPU) en determinadas dosificaciones de concreto.
<b>Conclusiones:</b>	
<p>Luego de analizar los resultados obtenidos se concluye que es factible estimar un valor para la resistencia a la compresión a partir de la velocidad de pulso ultrasónico. El rango de valor de la resistencia a la compresión estimada, está dentro del rango del <math>\pm 5\%</math> aproximadamente, esto siempre y cuando se sigan los procedimientos y estándares normados. El valor de la resistencia a la compresión estimada, no reemplaza el valor del ensayo de rotura de probeta normada en NTP 339.034. Sin embargo, el valor obtenido a raíz del factor encontrado, permite saber el valor con cierta precisión. Uno de los factores que afectan la correlación en esta investigación es el tipo de cemento y el diseño de mezcla establecido para un determinado uso. La correlación encontrada es positiva ya que existe una alta relación entre las variables de los valores de la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico. Por otro lado, se tiene que, a medida que aumente el valor de la velocidad de pulso ultrasónico, aumentará también la resistencia a la compresión.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 42.**

*Matriz de categorización de la investigación 03.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-03</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Será posible encontrar la correlación del índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en el diseño de la resistencia a la compresión del concreto?
<b>Objetivo:</b>	Determinar la resistencia a la compresión del concreto encontrando la correlación del índice de rebote mediante ensayos destructivos y no destructivos.
<b>Conclusiones:</b>	
<p>En base a los objetivos planteados y de acuerdo al estudio experimental desarrollado, se llegó a concluir que el ensayo de ultrasonido en el concreto resulta ser una prueba sencilla y rápida de realizar, sin embargo, sus resultados están influenciados por varios factores internos (propios del material) y externos (propios de las condiciones de ensayo).</p> <p>Para la mayoría de los casos estudiados (selección de datos), este método de ensayo no destructivo demostró tener altos coeficientes de determinación (<math>r^2</math>), que confirman una marcada dependencia entre la estimación de la resistencia con esclerómetro y la velocidad de pulso ultrasónico, lo cual valida la primera hipótesis de la presente investigación. considerando los resultados de laboratorio los valores de <math>r</math> están comprendidos en un rango de: 0.83 a 0.98.</p> <p>Por otro lado, aunque la experiencia pone en evidencia que el ensayo no destructivo estudiado constituye una herramienta útil para estimar la calidad del concreto endurecido (con cierto grado de confiabilidad), en ningún caso va a reemplazar al ensayo de resistencia a compresión.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 43.**

*Matriz de categorización de la investigación 04.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-04</b>	
<b>Título:</b>	Análisis comparativo de la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿En qué condición se encuentra la resistencia del concreto en muros de contención por esclerómetro y rotura de cilindros en el distrito de Ciudad Nueva, Tacna-2020?
<b>Objetivo:</b>	Analizar y comparar la resistencia de muestras concreto en muros de contención en el distrito de Ciudad Nueva por esclerómetro y rotura de cilindros.
<b>Conclusiones:</b>	
<p>Luego de analizar el muro de contención de la Calle Intiorko tramo Av. Los precursores-Pasaje Pomata distrito de Ciudad Nueva Provincia de Tacna se determinó la resistencia del concreto utilizando el ensayo de esclerómetro donde obtuvo una resistencia de 291.45 kg/cm<sup>2</sup> este valor posee correlación con la resistencia determinada con el ensayo de perforación diamantina el cual tuvo un valor de 275.4 kg/cm<sup>2</sup>. De acuerdo a la resistencia determinada por los ensayos de esclerómetro y testigos circulares de concreto extraídos con equipo de diamantina podemos determinar que el concreto es de una calidad buena a muy buena y el rango en los que oscila la resistencia del concreto entre el ensayo con esclerómetro y el ensayo de testigos circulares de concreto está comprendido entre 291.45 kg/cm<sup>2</sup> a 275.4 kg/cm<sup>2</sup>, que nos demuestran que el uso del método no destructivo del esclerómetro no posee una precisión tan cercana como el ensayo de testigos circulares de concreto pero es una opción viable al momento de analizar estructuras.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 44.**

*Matriz de categorización de la investigación 05.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-05</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿De qué manera se puede realizar la “Determinación de la resistencia del concreto del pabellón 3A - de la I.E. 14787 Víctor Raúl Haya de la Torre, usando la diamantina, el esclerómetro y el equipo de ultrasonido” y como se puede establecer una correlación entre estos?
<b>Objetivo:</b>	Determinar la resistencia a la compresión del concreto y la homogeneidad en la infraestructura de concreto del pabellón 3A, usando los ensayos destructivos y no destructivos. Luego establecer una correlación entre estos resultados, para que de esta manera esté al alcance estos previos conocimientos para una persona común y así estén más preparados al momento de construir o reforzar sus viviendas o instituciones educativas.
<b>Conclusiones:</b>	
Después haber realizado los distintos ensayos, se concluye que los resultados obtenidos si tienen una fuerte correlacionan lineal positiva. Sin embargo, los métodos no destructivos presentan ventajas y desventajas, ya que en ocasiones presentan datos poco exactos acerca del estado de la variable a evaluar. Es decir que nos demuestra de forma clara, que la diferencia entre los ensayos mecánicos no es aceptable. Además, tanto en los resultados de los métodos destructivos y no destructivos la determinación de estos no van enlazados entre sí, y que sus propiedades en general varían por factores y es por ellos que no se aproximan a la resistencia establecida de 210kg/cm <sup>2</sup> .	

Fuente: Propia.

**Tabla 45.**

*Matriz de categorización de la investigación 06.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-06</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto mediante el método de esclerometría.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Determinar la resistencia del concreto haciendo uso del ensayo no destructivo de esclerometría, correlacionando el índice esclerométrico y la resistencia a la compresión simple, y a su vez analizar la influencia del tipo de piedra y/o la edad del concreto que existe sobre el índice esclerométrico, para así justificar el uso del esclerómetro como una herramienta confiable para determinar la resistencia del concreto.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que el método desarrollado es más confiable que el método tradicional por el gran grado de confiabilidad, mayor del 95%, debido a que se considera más factores como la edad del concreto y el tipo de piedra.</p> <p>Se demostró que los ensayos de dureza superficial y la resistencia a la compresión se pueden correlacionar teniendo un alto grado de confiabilidad (desde un 82.6% en algunos casos, hasta un 97.37%) comparado con el método tradicional que solo muestra un ábaco referencial.</p> <p>Se demostró que la edad del concreto y el tipo de piedra afectan directamente al resultado de la dureza superficial, y en consecuencia al resultado de la resistencia del concreto. Además, se evidencia que a mayores datos que se tengan de la muestra, mayor es el grado de confiabilidad, tan es el caso de los 22 valores tomados en obra de los cuales una gran cantidad están dentro del rango aceptable propuesto al inicio del estudio, ya que los valores no exceden del 15% de error; eso significa que el método es aplicable, ya que tiene un gran grado de confiabilidad. Sin embargo, no se debería dejar de hacer cualquier otro método destructivo que indique la verdadera resistencia del concreto.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 46.**

*Matriz de categorización de la investigación 07.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-07</b>	
<b>Título:</b>	Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de resistencia $f'c=210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable en función de la velocidad de pulso ultrasónico-Cusco 2019.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Cuál es la relación de la velocidad de pulso ultrasónico en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable (CAC)?
<b>Objetivo:</b>	Analizar la relación de la variación de velocidad de pulso ultrasónico en la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto simple (CS) de calidad $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> y concreto autocompactable (CAC).
<b>Conclusiones:</b>	
<p>Se concluye que la velocidad de pulso ultrasónico influye en la medición de las propiedades físicas y mecánicas, del concreto simple (CS) de calidad <math>f'c=210</math> kg/cm<sup>2</sup> y concreto autocompactable (CAC), obteniendo datos confiables en las propiedades físicas con la exploración por líneas y área así también en la propiedad mecánica con la calidad de resistencia.</p> <p>Se comprueba que la relación agua/cemento en la medición de velocidad de pulso ultrasónico; es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión; es decir para una misma edad se tiene mayor velocidad de pulso ultrasónico en un concreto simple (CS) con relación <math>a/c = 0.5</math> respecto de uno, con <math>a/c = 1.36</math>; esto se ha demostrado hasta valores de relación de <math>a/c=1.0</math> para concretos simples(CS).</p> <p>Se comprueba que la influencia de la velocidad de pulso ultrasónico es directamente proporcional a la resistencia a compresión, es decir para una misma edad se tiene mayor velocidad de pulso ultrasónico a mayor resistencia a compresión alcanzada.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 47.**
*Matriz de categorización de la investigación 08.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-08</b>	
<b>Título:</b>	Influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Huancavelica.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿De qué manera el método de madurez influirá en la resistencia del concreto para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Huancavelica?
<b>Objetivo:</b>	Determinar la influencia del método de madurez en la resistencia del concreto para un $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en la ciudad de Huancavelica.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que dependiendo del tipo de agregado grueso, se obtuvieron las mayores resistencias, donde la predominancia fue para el tipo de agregado grueso piedra triturada a comparación con el tipo de agregado grueso canto rodado, con una diferencia promedio de resistencia de <math>18,55\text{ kg/cm}^2</math> (8,83 %) curados con aditivo y <math>18\text{ kg/cm}^2</math> (8,57 %) curados con agua, con una significancia de 0,034 y 0,04 respectivamente. Por lo que se concluye que los tipos de agregado grueso influyen significativamente en la resistencia del concreto mediante el método de madurez.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 48.**

*Matriz de categorización de la investigación 09.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-09</b>	
<b>Título:</b>	Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Existirá un nivel de correlación aceptable entre el número de Rebote (R) obtenido mediante el ensayo no destructivo de esclerometría y la resistencia real a la compresión del concreto?
<b>Objetivo:</b>	Encontrar el nivel de correlación existente entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se pudo concluir que el ensayo de esclerometría debe realizarse en concretos endurecidos (mínimo 28 días), ya que un fraguado incompleto afecta considerablemente el resultado. Además, el esclerómetro solo detecta la dureza y la resistencia hasta los primeros 5 cm de profundidad de una estructura de concreto, limitante que debe tenerse en cuenta al momento de analizar las estructuras.</p> <p>Se ha logrado demostrar que existe una correlación lineal fuerte entre el número de rebote (Q) del concreto obtenido mediante el ensayo no destructivo de esclerometría vs. la resistencia real a la compresión, y que el ensayo de esclerometría se puede utilizar para estimar la resistencia a la compresión del concreto pero bajo ciertas condiciones controladas, siempre y cuando se indique el margen de error y el nivel de confiabilidad del ensayo.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 49.**

*Matriz de categorización de la investigación 10.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-10</b>	
<b>Título:</b>	Pruebas no destructivas y semi-destructivas para la verificación de la resistencia a la compresión del concreto en el lugar.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Pueden las pruebas semi-destructivas y no destructivas remplazar a los especímenes de concreto elaborados de manera estándar para mantener la verificación de la calidad del concreto con un nivel de confianza similar o mejor?
<b>Objetivo:</b>	Establecer correlaciones entre los métodos semi-destructivos (núcleos de concreto y pull-out “Lok-test”), métodos no destructivos (método de madurez) y el ensayo estándar a compresión, verificando resistencias típicas del concreto (200-500 kg/cm <sup>2</sup> ), así como analizar sus incertidumbres y estimar cuales métodos son los más apropiados para determinar esta propiedad mecánica del concreto.
<b>Conclusiones:</b>	Se concluye que la fuerza de extracción obtenida con la prueba Pull-out obtuvo alrededor de un 6% de variación, y las correlaciones obtenidas con los cilindros estándar son las que mejores resultados presentaron con un coeficiente de correlación de $R^2=0.96$ , lo que demuestra que esta prueba tiene una buena aproximación y buena correlación con los cilindros elaborados y curados en laboratorio. Además, la prueba Pull-out basada en los resultados encontrados, puede sin problema alguno sustituir a los cilindros sometidos a condiciones de laboratorio controladas; esto debido a la variación máxima de un 6%, lo que demuestra que los resultados son alentadores para practicas futuras en campo.

Fuente: Propia.

**Tabla 50.**

*Matriz de categorización de la investigación 11.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-11</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando la curva calibrada del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido y difundir esta técnica o procedimiento de evaluación no destructiva para determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando el equipo medidor de la velocidad de ultrasonido.
<b>Conclusiones:</b>	
<p>Se concluye que al hacer uso del equipo medidor de velocidad del ultrasonido, se puede determinar directamente la resistencia en compresión del concreto de las estructuras. Además, los valores determinados se pueden ver directamente en el equipo medidor y/o software del equipo medidor de velocidad de ultrasonido. Para garantizar la correcta calibración de las curvas, se analiza el factor de correlación que tiene el software el cual indica que siempre que el parámetro R2 está muy cerca de valor de uno, significa que la correlación se aproxima a lo deseado.</p> <p>Finalmente se evidenció que el uso de esta tecnología, la investigación y la interpretación puede ayudar al usuario consumidor, tenga de conocimiento que la infraestructura que ocupa o usa le garantiza seguridad y performance, ya que se puede evaluar el concreto de las estructuras de concreto in-situ, en tiempo real y las veces que crea conveniente.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 51.**

*Matriz de categorización de la investigación 12.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-12</b>	
<b>Título:</b>	Control de calidad del concreto con baja relación agua-cemento por métodos destructivos y no destructivos.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Estimar la resistencia a la compresión simple (ASTM C 39, “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”) del concreto elaborado con relaciones agua-cemento bajas utilizando el método de madurez (ASTM C1074, “Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method”).
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que, un buen estimador de la resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico es el método de madurez, el cual es de gran ayuda cuando se desea saber los valores de resistencia en campo.</p> <p>La evaluación del tiempo de fraguado se realizó para las 3 variaciones de la relación agua/cemento, en donde se obtuvieron diferencias entre el tiempo inicial de fraguado que van del orden de 344, 338 y 357 minutos para las relaciones agua-cemento 0.48, 0.46 y 0.44 respectivamente.</p> <p>Para el tiempo final de fraguado se tuvieron valores de 460, 470 y 519 minutos para las relaciones agua/cemento 0.48, 0.46 y 0.44 respectivamente. Los valores de tiempo de fraguado inicial y final, muestran que entre menor sea la relación agua-cemento de las mezclas, mayor es el tiempo en que se alcanza los valores de tiempo inicial y tiempo final de fraguado. Los resultados mostrados para la evaluación del tiempo de fraguado en esta investigación se concluyen que son adecuados para usarse en las aplicaciones convenientes para la construcción de pavimentos para carreteras con concreto hidráulico.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 52.**
*Matriz de categorización de la investigación 13.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-13</b>	
<b>Título:</b>	Índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido $f'c=245 \text{ kg/cm}^2$ , ciudad Cusco.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Es posible estudiar la relación del índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido $f'c= 245 \text{ kg/cm}^2$ ?
<b>Objetivo:</b>	Determinar la relación del índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido $f'c= 245 \text{ kg/cm}^2$ , en la ciudad del Cusco.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que la relación del índice de madurez a edades tempranas si influye en la resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido <math>f'c= 245 \text{ kg/cm}^2</math>, en la ciudad del Cusco. Además, se tiene que, es posible estimar en situaciones y tiempos reales el índice de madurez a edades tempranas y resistencia a compresión para diseño de mezcla de pavimento rígido. El índice de madurez a profundidades y lugares diferentes del pavimento varía, y el índice de madurez en el centro y a la mitad de la profundidad presentan una evolución de resistencia más rápida que los puntos instrumentados a otras profundidades.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 53.**
*Matriz de categorización de la investigación 14.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-14</b>	
<b>Título:</b>	Medición de resistencia a tempranas edades del hormigón: método que mejor se ajusta para la determinación de tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Determinar el instrumento de medición de resistencia que proporcione el mejor ajuste a las curvas de resistencia – maduración con el fin de determinar tiempos mínimos de desencofrado de elementos verticales de hormigón.
<b>Conclusiones:</b>	Luego de un estudio realizado para dos dosificaciones diferentes de hormigón vibrado, para cuatro métodos de medición de resistencia y verificaciones llevadas a cabo en más de 500 puntos, se puede concluir que si el usuario de la metodología para determinar tiempos mínimos de desencofrado desea desencofrar a resistencias menores que 3 MPa entonces es recomendado el uso de esclerómetro de baja resistencia para la construcción de las curvas de caracterización, mientras que si se desea desencofrar a resistencias mayores por razones de seguridad u otras que pudiesen tener que ver con el proyecto, es recomendable la utilización de probetas cilíndricas de dimensiones normales de 15 x 30 cm.

Fuente: Propia.

**Tabla 54.**

*Matriz de categorización de la investigación 15.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-15</b>	
<b>Título:</b>	Evaluación de la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	¿Se podrá establecer una correlación entre la velocidad ultrasónica y el ensayo a compresión simple, para la valoración de la resistencia del concreto?
<b>Objetivo:</b>	Evaluar la resistencia a compresión del hormigón endurecido mediante la aplicación de técnicas de ultrasonido.
<b>Conclusiones:</b>	
<p>Se pudo concluir que, la correlación encontrada resultó ser una herramienta de verificación de gran exactitud, alcanzando un alto grado de confiabilidad con un <math>r^2=0.9501</math> y un error porcentual máximo de <math>\pm 10\%</math>. Se demuestra que existe una relación directamente proporcional entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a compresión simple del hormigón. Se confirma que cuanto mayor sea el tiempo de fraguado, mayor será la velocidad de ultrasonido. A pesar de que la práctica pone de manifiesto que la prueba no destructiva estudiada representa un instrumento muy útil para predecir la resistencia del concreto en estado endurecido con un alto grado de confiabilidad, en ningún caso puede reemplazar el ensayo de resistencia a compresión.</p>	

Fuente: Propia.

**Tabla 55.**

*Matriz de categorización de la investigación 16.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-16</b>	
<b>Título:</b>	Aplicación del método de la madurez para la estimación del plazo de descimbrado de forjados construidos con sistemas industrializados.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	El objetivo principal del presente trabajo es, por tanto, determinar tiempos de fraguado y resistencias a edades tempranas de hormigones industrializados por medio del método de la madurez con el fin de conocer la edad de descimbrado.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que, la validación de la curva de madurez tanto para muro como para placa fue exitosa, con respecto al cálculo de la resistencia obtenida por el método de la madurez vs la resistencia determinada por medio de ensayos de resistencia a compresión de probetas cilíndricas en obra.</p> <p>Una vez aplicado el método en la obra, se comprobó que a pesar de que la placa tiene un espesor relativamente pequeño (10 cm), se presenta un diferencial térmico importante cuando la temperatura es medida en diferentes profundidades de la placa; en el centro de la sección de la placa se presentan mayores temperaturas, lo cual representa una edad equivalente mayor. Por lo tanto, se puede inferir que el punto más crítico para la medición de la temperatura es en una profundidad de 2 cm, por lo cual se recomienda instrumentar a esta profundidad al ser la más crítica.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 56.**
*Matriz de categorización de la investigación 17.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-17</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto por el método de madurez.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Comparar las resistencias estimadas por el método de madurez y el método convencional.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Tras realizar un análisis comparativo entre los métodos descritos en la ASTM C 39, ASTM C 1074, ASTM C 805 y ASTM C 597, se aprecia que el método de madurez otorga estimaciones más apropiadas para edades menores a 28 días. La principal razón por la cual el método de madurez produce mejores estimaciones es debido a que este toma como fundamento que la resistencia a la compresión se debe principalmente al calor generado de las reacciones internas entre el cemento y el agua.</p> <p>Debido a las desviaciones estándares y coeficientes de correlación producidos por el método del número de rebote y velocidad de pulso, ambos métodos no serían los más apropiados para monitorear el desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto durante los primeros 28 días.</p> <p>En cuanto a la implementación del método de madurez en elementos del tipo losa postensada, se observó que este método otorga resultados similares a los entregados en proyectos extranjeros, es decir la optimización del tiempo en actividades constructivas.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 57.**

*Matriz de categorización de la investigación 18.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-18</b>	
<b>Título:</b>	Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Realizar un estudio que nos permita, con cierto grado de confiabilidad, hallar patrones de comportamiento entre los resultados del ensayo de ultrasonido y del ensayo de resistencia a compresión en elementos de concreto simple, evaluando las resistencias de diseño de los concretos más comerciales en nuestro medio.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que el ensayo de ultrasonido resulta ser una prueba sencilla y rápida de realizar, sin embargo sus resultados están influenciados por varios factores propios del material y de las condiciones de ensayo. Es así como, este método de ensayo no destructivo demostró tener altos coeficientes de determinación (<math>r^2</math>), que confirman una marcada dependencia entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico, lo cual valida la primera hipótesis de la presente investigación. Por otro lado, se evidencia que la influencia del TMN del agregado grueso en la velocidad de pulso ultrasónico se manifiesta directamente proporcional al tamaño del agregado, es decir, para un mismo valor de resistencia a compresión se tiene mayor velocidad de pulso ultrasónico en un concreto con Huso 57 (TMN 1") respecto de uno con Huso 67 (TMN 3/4"). Además, la influencia de la relación agua/cemento en la velocidad de pulso ultrasónico es inversamente proporcional, es decir para una misma edad se tiene mayor velocidad de pulso ultrasónico en un concreto con <math>a/c = 0.5</math> respecto de uno con <math>a/c = 0.9</math>. Finalmente, aunque la experiencia pone en evidencia que el ensayo no destructivo estudiado constituye una herramienta útil para estimar la calidad del concreto endurecido (con cierto grado de confiabilidad), en ningún caso va a reemplazar al ensayo de resistencia a compresión.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 58.**

*Matriz de categorización de la investigación 19.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-19</b>	
<b>Título:</b>	Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Verificar el comportamiento que presentan los ensayos de extracción y resistencia a compresión de probetas testigo y moldeadas, índice de rebote y velocidad de ultrasonidos, aplicados a un hormigón de nueva generación como lo es el hormigón autocompactante.
<b>Conclusiones:</b>	<p>Se concluye que, los mejores modelos de predicción de la resistencia a compresión se obtienen cuando la variable explicativa es la velocidad de ultrasonidos que cuando es el índice de rebote, tal y como lo demuestran los resultados de algunos estadísticos de comparación para los diferentes modelos analizados. Además, no es posible ser categóricos a la hora de señalar un único modelo como el que mejor predice la resistencia a compresión; esto explicaría la falta de consenso en análisis similares realizados a hormigones vibrados tradicionalmente, y lo que sí puede afirmarse es que son de aplicación los mismos modelos para ambos hormigones.</p> <p>Con los ensayos de velocidad de ultrasonidos realizados en el hormigón autocompactante de este estudio se han obtenido valores experimentales de los parámetros de precisión similares a los observados en el hormigón vibrado tradicionalmente, por diversos investigadores.</p>

Fuente: Propia.

**Tabla 59.**
*Matriz de categorización de la investigación 20.*

<b>MATRIZ DE CATEGORIZACIÓN</b>	
<b>I-20</b>	
<b>Título:</b>	Determinación de la resistencia del concreto a edades tempranas bajo la norma ASTM C 1074, en viviendas de concreto coladas en el sitio.
<b>Pregunta de Investigación:</b>	-
<b>Objetivo:</b>	Determinar por el método de la madurez del concreto (ASTM C 1074) la evolución de resistencia en una vivienda colada en el sitio, y a partir de los resultados obtenidos determinar en qué momento la estructura alcanza la resistencia adecuada para el retiro de los moldes.
<b>Conclusiones:</b>	Se concluye que, el método de madurez puede ser aplicado con mucha confiabilidad en viviendas, edificaciones, puentes, etc., ya que el grado de madurez permite que los moldes sean removidos sin que la estructura sufra daños; por ello, se determina que el momento óptimo para realizar el desmoldado en el sistema de paredes de concreto coladas en el sitio será aquel, en el cual el concreto presente un valor de madurez que este dentro del rango de 118 – 180.3 °C*hora, correspondiente a la etapa del fraguado inicial y final del concreto.

Fuente: Propia.