



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).
Vea una copia de esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio
de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Ronal Teovaldo Delgado Tongo

Sergio Aldair Arevalo Gonzalez

ASESOR:

Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto – Perú

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



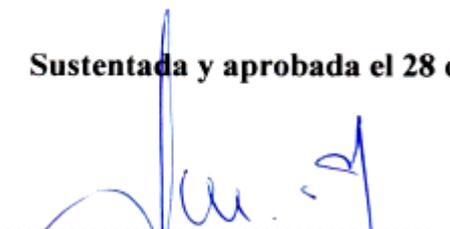
Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto

AUTORES:

Ronal Teovaldo Delgado Tongo

Sergio Aldair Arevalo Gonzalez

Sustentada y aprobada el 28 de diciembre del 2020, ante el honorable jurado:


.....
Ing. Jorge Isaacs Rioja Diaz
Presidente


.....
Ing. Ivan Gustavo Reátegui Acedo
Secretario


.....
Ing. Nestor Raúl Sandoval Salazar
Vocal


.....
Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina
Asesor

Declaratoria de autenticidad

Ronal Teovaldo Delgado Tongo, con DNI N° 70762851 y **Sergio Aldair Arevalo Gonzalez**, con DNI N° 46474350, egresados de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, con la tesis titulada: **Determinación de la resistencia a la compresión y el índice de rebote por medio de ensayos destructivos y no destructivos en Tarapoto.**

Declaramos bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de nuestra autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de nuestro accionar, sometiéndonos a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 28 de diciembre del 2020.



Bach. Ronal Teovaldo Delgado Tongo

DNI N° 70762851



Bach. Sergio Aldair Arevalo Gonzalez

DNI N° 46474350

Declaración jurada

Ronal Teovaldo Delgado Tongo, con DNI N° 70762851, Domiciliados en el Jirón Jr. 20 de Abril Cdra. 14 S/N - Moyobamba y **Sergio Aldair Arevalo Gonzalez**, con DNI N° 46474350, Domiciliado en el Jr. Oriente N°297 - Tarapoto, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **Declaramos bajo juramento que**, todos los documentos, datos e información en la presente tesis, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 28 de diciembre del 2020.



.....
Bach. Ronal Teovaldo Delgado Tongo
DNI N° 70762851



.....
Bach. Sergio Aldair Arevalo Gonzalez
DNI N° 46474350

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres:	Delgado Tongo Ronal Teovaldo		
Código de alumno :	093142	Teléfono:	
Correo electrónico :	ronal267@hotmail.com	DNI:	70762851

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de:	Ingeniería Civil y Arquitectura
Escuela Profesional de:	Ingeniería Civil

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título :	"DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y EL INDICE DE REBOTE POR MEDIO DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS ENTARAPOTO"
Año de publicación:	2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**


.....
Firma y huella del Autor



8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

02/09/2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.

.....
Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: AREVALO GONZALEZ, SERGIO ALDAIR	
Código de alumno : 073120	Teléfono: 942834440
Correo electrónico : sergarev31@gmail.com	DNI: 46474350

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de: INGENIERIA CIVIL

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	()
Trabajo de suficiencia profesional	()		

4. Datos del Trabajo de investigación

Título : "DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y EL INDICE DE REBOTE POR MEDIO DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS EN TARAPOTO"
Año de publicación: 2020

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	(X)	Embargo	()
Acceso restringido **	()		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI “**Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA**”.



Firma y huella del Autor

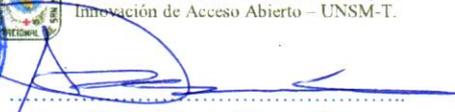
8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

02/09/2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - T.
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e
Innovación de Acceso Abierto - UNSM-T.



Ing. M. Sc. Alfredo Ramos Perea
Responsable

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

Dedicatoria

Dedicatoria de Ronal Teovaldo Delgado Tongo

El presente proyecto de tesis está dedicado a mi padre el señor Teovaldo Demostenes Delgado Rivera y mi madre la señora Noemí Tongo Vásquez por haberme forjado como la persona que soy, por el apoyo incondicional que siempre me brindan, y porque Muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

A mis hermanos Heber Denis Delgado Tongo y Jhonny Frank Delgado Tongo por que estuvieron motivándome y ayudándome hasta donde sus alcances los permitían.

Gracias Familia.

Dedicatoria de Sergio Aldair Arévalo González

El presente proyecto de tesis está dedicado:

A mis padres Teddy y Maritza, por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida.

A mi familia Arévalo Navarro y González Saavedra, por su cariño y por estar conmigo en todo momento.

A mi familia Franchesca y Enzo Milán, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día; un gesto que lo llevaré por siempre de corazón

Agradecimiento

A Dios:

Por ser el que cuida de mi cada día y por qué bajo su bendición podemos presentar el presente proyecto de tesis.

A mi Alma Mater:

Universidad Nacional de San Martín, por ser la casa donde aprendí a formarme como profesional y donde pasé por muchas buenas experiencias.

A los Docentes de la FIC:

Por las enseñanzas impartidas en el aula, y porque son los encargados de formarnos como buen profesional.

Índice de contenido

	Pág.
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento	vii
Índice	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Resumen	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	1
CAPÍTULO I	2
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.5. Aspectos generales del estudio.....	4
1.5.1. Ubicación geográfica.....	4
1.5.2. Clima	5
1.5.3. Temperatura.....	5
1.5.4. Sismicidad	5
CAPÍTULO II.....	7
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Bases teóricas	12
2.2.1. Descripción del concreto.....	12
2.2.1.1. Selección del material	12
2.2.1.2. Cemento Pórtland.....	12
2.2.1.3. Otros materiales cementantes.....	13
2.2.1.4. Agua de Mezclado	14

2.2.1.5. Agregado Grueso	14
2.2.1.6. Agregado fino	16
2.2.1.7. Aditivos Químicos	17
2.2.1.8. Relación de Agua-Material cementante	18
2.2.1.9. Trabajabilidad	18
2.2.1.10. Edad de la prueba	19
2.2.2. Mediciones de la Resistencia	19
2.2.2.1. Método de prueba	19
2.2.2.2. Tamaño de espécimen	20
2.2.2.3. Tipo de moldes	20
2.2.2.4. Cabeceo de los especímenes	20
2.2.3. Propiedades del concreto en estado fresco	23
2.2.3.1. Determinación de la densidad. (ASTM C138)	23
2.2.3.2. Contenido de aire incluido (ASTM C138)	23
2.2.3.3. Pruebas para medir las características de Auto compactibilidad	23
2.2.4. Características mecánicas del hormigón	26
2.2.4.1. Resistencia a la compresión	26
2.2.4.2. Resistencia a la flexión	28
2.2.4.3. Resistencia a la tracción por compresión diametral	30
2.2.4.4. Módulo de Elasticidad	32
2.2.5. El concreto	34
2.2.5.1. Principales propiedades del concreto	35
2.2.5.2. Trabajabilidad del concreto	35
2.2.5.3. Resistencia mecánica	36
2.2.5.4. Los agregados para el concreto	37
2.2.5.5. Pasta de cemento	37
2.2.5.6. Cemento - agregado	38
2.2.5.7. El concreto como material compuesto	39
2.2.5.8. Comportamiento compuesto del concreto	40
2.2.5.9. Módulo de elasticidad del concreto	42
2.2.5.10. Relación de Poisson del concreto	43
2.2.5.11. Métodos destructivos	43
2.2.5.12. Ensayo a compresión de probetas cilíndricas	44
2.3. Definición de términos básicos	45

CAPÍTULO III	50
MATERIAL Y MÉTODOS	50
3.1. Materiales	50
3.1.1. Recursos humanos	50
3.1.2. Recursos materiales	50
3.1.3. Recursos de equipos	50
3.1.4. Otros recursos	50
3.2. Metodología.....	51
3.2.1. Universo y Muestra	51
3.2.2. Sistema de variables	51
3.2.3. Diseño de la investigación.....	51
3.2.4. Diseño de instrumentos	52
3.2.5. Revisión de métodos.....	52
3.2.6. Prueba del martillo de rebote (ASTM C 805)	54
3.2.7. Prueba de resistencia a la penetración (ASTM C 803).....	57
3.2.8. Prueba de extracción (ASTM C 900)	59
3.2.9. Prueba de ruptura (ASTM C 1150)	62
3.2.10. Velocidad de pulsos ultrasónicos (ASTM C 597)	64
3.2.11. Cilindros moldeados in situ. (ASTM C 873).....	66
3.2.12. Métodos combinados.....	67
3.2.13. Resumen	68
CAPÍTULO IV	70
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
4.1. Resultados.....	70
4.2. Análisis y discusión de resultados.....	74
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
ANEXOS	88

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1: Precipitación Total Mensual – Estación Tarapoto.	5
Tabla 2: Ensayos destructivos y no destructivos	8
Tabla 3: Obtención de r^2 con modelos de regresión estadística	9
Tabla 4: Parámetros del concreto autocompactante	22
Tabla 5: Definiciones para el concreto	34
Tabla 6: Módulo de elasticidad de concretos de diferentes resistencias de acuerdo con la British Code of Practice CP 110:1972 para el uso estructural del concreto.....	43
Tabla 7: Factores de corrección en el $f'c$ por carbonatación	46

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Regionalización Sísmica	6
Figura 2. Cemento Portland Tipo I.....	13
Figura 3. Microsílice	14
Figura 4. Filler Calizo	14
Figura 5. Agua.....	14
Figura 6. Piedra 12 mm	15
Figura 7. Arena fina.	16
Figura 8. Aditivo Viscocrete 2100.....	18
Figura 9. Moldes de Acero.....	20
Figura 10. Almohadillas de neopreno	21
Figura 11. Neopreno en los anillos de retención	21
Figura 12. Cilindro, Anillo de retención y neopreno	22
Figura 13. Ensayo para determinar la Densidad.....	23
Figura 14. Ensayo para determinar el Aire incluido	23
Figura 15. Cono y base.....	25
Figura 16. Diámetro final de la extensión. Ensayo de extensión de flujo	24
Figura 17. Caja en L	25
Figura 18. Ensayo del embudo-V	25
Figura 19. Anillo de barras	26
Figura 20. Prensa “ELE” 2000 kN	27
Figura 21. Ensayo de Compresión.....	27
Figura 22. Equipo utilizado prensa “ELE” 3000 kN	28
Figura 23. Ensayo Resistencia a la Flexión	29
Figura 24. Viga ensayada a flexión	29
Figura 25. Aspecto de la viga de ensayada a flexión	29
Figura 26. Ensayo Resistencia a la Compresión Diametral.....	30
Figura 27. Patina de apoyo suplementaria	31
Figura 28. Prensa - Ensayo de Tracción por Compresión Diametral.....	31
Figura 29. Deformímetro empleado para determinar el módulo de elasticidad	32
Figura 30. Cilindros de 150 x 300 para Modulo de Elasticidad	33
Figura 31. Colocación del cilindro a ensayarse con el deformímetro	33

Figura 32. Cilindro con el deformímetro.....	34
Figura 33. Máquina de ensayo de compresión uniaxial	45
Figura 34. Yunque de verificación de calibración del esclerómetro.....	47
Figura 35. Diagrama esquemático de valores de Resistencia.....	53
Figura 36. Representación de ensayo con el Martillo de Rebote	54
Figura 37. Mecanismo de funcionamiento del martillo de Rebote.....	55
Figura 38. Instrumentos para ensayo Prueba de Penetración.....	57
Figura 39. a, b y c. Mecanismos de ensayo prueba de Penetración.....	58
Figura 40. Representación Esquemática de la prueba a la Extracción.....	60
Figura 41. Equipo para la Prueba de Extracción	60
Figura 42. Esquema de funcionamiento del Ensayo de la Prueba de Ruptura.....	62
Figura 43. Se presenta el instrumento que toma los pulsos de Ultrasonido	65
Figura 44. Esquema del equipo de ensayo de pulsos ultrasónicos	66
Figura 45. Esquema de ensayo.....	66
Figura 46. Esquema de ensayo para cilindros moldeados in situ	67

Resumen

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 Kgls/Cm². El presente estudio evaluó la resistencia a compresión y el índice de rebote a diferentes edades de concretos y se determinó 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.

Palabras clave: Determinación, resistencia a la compresión, índice de rebote, ensayos destructivos, no destructivos.

Abstract

This research work is based on the use of destructive and non-destructive methods to find the rebound index in concrete of 210 Kgl / Cm². The present study evaluated the compressive strength and the rebound index at different ages of concrete and the correlation between them and the estimated error was determined, which is useful to producers and users of this material, since it can be applied in situations of claims, evaluations or arbitrations to individuals of similar characteristics and materials. We know that concrete is a heterogeneous material that depends on many variables, such as the quality of each of the materials that compose it, the proportions used and the mixing, transport, placement and curing operations, for this reason quality control (work and / or laboratory) that is implemented in each project will be decisive in the performance of the material in a fresh and hardened state. In the present study, the compressive strength (ASTM C-39) and the rebound index (ASTM C-805) were evaluated at different ages of concrete with similar proportions and workability and different air contents.

Key words: Design, compressive strength, rebound index, destructive, non-destructive testing.



Introducción

Los ensayos destructivos y no destructivos que se utilizan para encontrar la resistencia a la compresión del concreto nos permiten conocer si un concreto es suficientemente resistente para poder soportar ciertas cargas admisibles.

La resistencia las calculamos en forma clásica mediante el ensayo de rotura de probetas cilíndricas bajo a compresión simple, empleando una carga uniaxial a una velocidad de carga constante, la cual otorga un resultado que se toma como indicador de la resistencia a la compresión de los elementos de concreto.

En esta investigación utilizaremos el ensayo de ultrasonido para establecer la velocidad de los pulsos de ultrasonido que viajan en un espécimen de concreto endurecido guarda una relación directa con la resistencia a la compresión axial en el mismo concreto.

El índice esclerométrico es el valor resultante del ensayo no destructivo de dureza superficial, el cual consiste en determinar el nivel de compacidad de las partículas del concreto. La relación entre el índice esclerométrico y la resistencia del concreto ha sido tema de estudios por muchos años determinando un alto valor de correlación; sin embargo, sin analizar distintos factores que afecten la dureza del concreto; tales como: Relación agua – cemento, condición de humedad, carbonatación, edad del concreto, tamaño máximo de agregado y tipo de cemento.

En la presente investigación se realizará un análisis de correlación directa entre el índice de rebote esclerométrico e índice de rebote en el ensayo de ultrasonido en la resistencia a compresión del concreto, analizando también el comportamiento de la dureza superficial con agregado de piedra chancada a distintas edades de las muestras.

Los resultados obtenidos en laboratorio serán correlacionados mediante el método estadístico de regresión lineal de Pearson, graficando distintas líneas de tendencia (Exponencial, lineal, logarítmica, polinómica de tercer grado y potencial). Para al final quedarnos con la más adecuada con mayor índice de confianza de acuerdo a la edad del concreto y el tamaño del agregado grueso.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En toda construcción, hecha de concreto, se tienen que hacer pruebas de calidad al concreto para alcanzar una característica que satisfaga el requerimiento deseado. El ensayo más importante de control de calidad es el de la rotura de probetas, que mide la resistencia a compresión simple del concreto. Este proceso de rotura de probetas consiste en tomar muestras de la mezcla, según la norma ASTM, a la mitad del vaciado del concreto, ya que la parte central del volumen total del concreto es la más representativa, estas muestras se depositan en moldes cilíndricos de tamaños estándar, tales como 15 x 30 cm y/o 10 x 20 cm. Pueden utilizarse cilindros de otras dimensiones, siempre y cuando cumplan con la relación Longitud/Diámetro = 2, el número mínimo de muestras es de 2 para probetas de 15 cm de diámetro y 3 para probetas de 10 cm de diámetro. Estas probetas son moldeadas según un proceso normalizado. Al endurecer a los 7 y 28 días son ensayadas a compresión simple según el procedimiento normalizado empleando una carga uniaxial a una velocidad de carga especificada (0.25 ± 0.05 MPa/s). La resistencia a compresión del espécimen se calcula.

Como es conocido el material más usado en la construcción de viviendas es el concreto. Es así que resulta casi imposible encontrar una construcción en la que no esté presente en alguna parte de sus componentes estructurales el concreto.

Es conocido el ensayo de rotura que se hace en concreto humedecido teniendo en cuenta que es el material más utilizado en las construcciones es necesario un estricto control de calidad, siendo la resistencia del concreto la prueba más importante que se debe hacer dentro de los parámetros de calidad. Es por ello, que se hacen distintas pruebas de resistencia del concreto, siendo la más utilizada la prueba de resistencia a compresión de probetas cilíndricas.

Es importante conocer la resistencia del concreto cuando el mismo ya ha sido colocado y se encuentra en funciones para verificar la correlación entre los ensayos destructivos y no destructivos.

Durante el pasar del tiempo se han hecho distintos estudios para hallar la resistencia del concreto de una manera rápida, sencilla y de menor costo. Debido a eso, se hicieron pruebas no destructivas, las cuales te permitían conocer la calidad del concreto sin destruir o afectar la estructura interna de concreto; sin embargo, no median la resistencia del concreto. Es por ello que, distintos estudios han querido correlacionar los ensayos destructivos y los no destructivos llegando a grandes aproximaciones, como se observara a continuación en el desarrollo de la presente investigación.

Esta investigación se ejecutó en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Nacional de San Martín, siendo el primer y trabajo de investigación sobre resistencia de concreto y su correlación e índice de rebote con los ensayos destructivos y no destructivos.

Las pruebas pueden clasificarse de manera general en mecánicas destructivas y no destructivas las cuales pueden evaluar simultáneamente al mismo espécimen y de esa manera hacen posible un estudio del cambio en las propiedades con el tiempo. Los ensayos no destructivos también permiten evaluaciones del concreto en una estructura real. Diferentes trabajos con respecto al uso del esclerómetro y el ultrasonido se han presentado, muchos de ellos con resultados satisfactorios.

1.2. Formulación del problema

¿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?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la Resistencia a la Compresión del Concreto encontrando la correlación del Índice de Rebote mediante ensayos Destructivos y no Destructivos.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Elaborar y evaluar concretos con proporciones y trabajabilidad similares indicados en las normas ASTM.

2. Evaluar la resistencia a compresión de concreto por medio del método de ensayo destructivo (ASTM C-39).
3. Verificar experimentalmente el comportamiento del ensayo del martillo de rebote en la estimación de la resistencia a compresión. en laboratorio a diferentes edades.
4. Verificar experimentalmente el comportamiento del ensayo de ultrasonido en la estimación de la resistencia a compresión. en laboratorio a diferentes edades.
5. Aplicar conceptos estadísticos, que permitan analizar de manera confiable los resultados obtenidos entre los dos métodos.

1.4. Justificación de la investigación

En la actualidad, frente a la problemática que se presenta en el área de investigación, dado que no existen estudios, ni información detallada sobre el tipo de correlaciones de ensayos destructivos y no destructivos y el índice de rebote en la resistencia del concreto. Es importante indicar que por primera vez se está haciendo en el Laboratorio este tipo de investigación.

1.4. Aspectos generales del estudio

1.5.1. Ubicación geográfica

El distrito peruano de Tarapoto es uno de los catorce distritos que conforman la Provincia de San Martín en el Departamento de San Martín, perteneciente a la Región de San Martín en el Perú.:

Departamento:	San Martín
Provincia:	San Martín
Distrito:	Tarapoto
Longitud:	76°27'57'' Oeste
Latitud:	6°29'40'' Sur
Altitud:	295 msnm

1.5.2. Clima

La información meteorológica brindada por el SENAMHI, (SENAMHI, 2016), nos indica que la zona de estudio cuenta con una estación meteorológica llamada: “Estación Tarapoto”, perteneciente a dicha institución. Los datos que se presentarán a continuación corresponden a dicha estación.

Según la información meteorológica otorgada por el SENAMHI, (SENAMHI, 2016), la precipitación máxima mensual registrada en el año 2016 en la estación meteorológica de Tarapoto, fue de 185.32 mm y la precipitación mínima mensual de 56.58mm.

Las más fuertes precipitaciones se registran en los meses de marzo, mayo y noviembre, y en los meses que disminuye la precipitación son: Abril, julio y diciembre.

Tabla 1

Precipitación Total Mensual – Estación Tarapoto

PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL EN (mm.)						
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
2016	115.7	90.8	168.2	56.58	136.7	126.9
Año	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
2016	69.7	122.6	71.1	122.9	185.32	59.8

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

1.5.3. Temperatura

Según la información meteorológica otorgada por el SENAMHI, (SENAMHI, 2016), el clima predominante es tropical, cálido húmedo de selva alta. La información registrada en la estación meteorológica de Tarapoto, nos dice que la temperatura máxima mensual es de 33.9.0°C y la mínima mensual de 22.1°C. Los meses comprendidos entre octubre y marzo son los más calurosos. En general, a partir de las 16-17hrs la temperatura del lugar comienza a descender.

1.5.4. Sismicidad

El artículo versión online del peligro asociado a los sismos en el Perú del INDECI, (<http://www.indeci.gob.pe/objetos/microsite/oq==/nzm=/fil20140926131431.pdf> - 2016),

nos indica que, de acuerdo a la Información Sismológica, los dos últimos sismos en la Región de San Martín se dieron en los años 1990, 1991 y 2005. La zona de estudio es considerada un área de riesgo moderado.

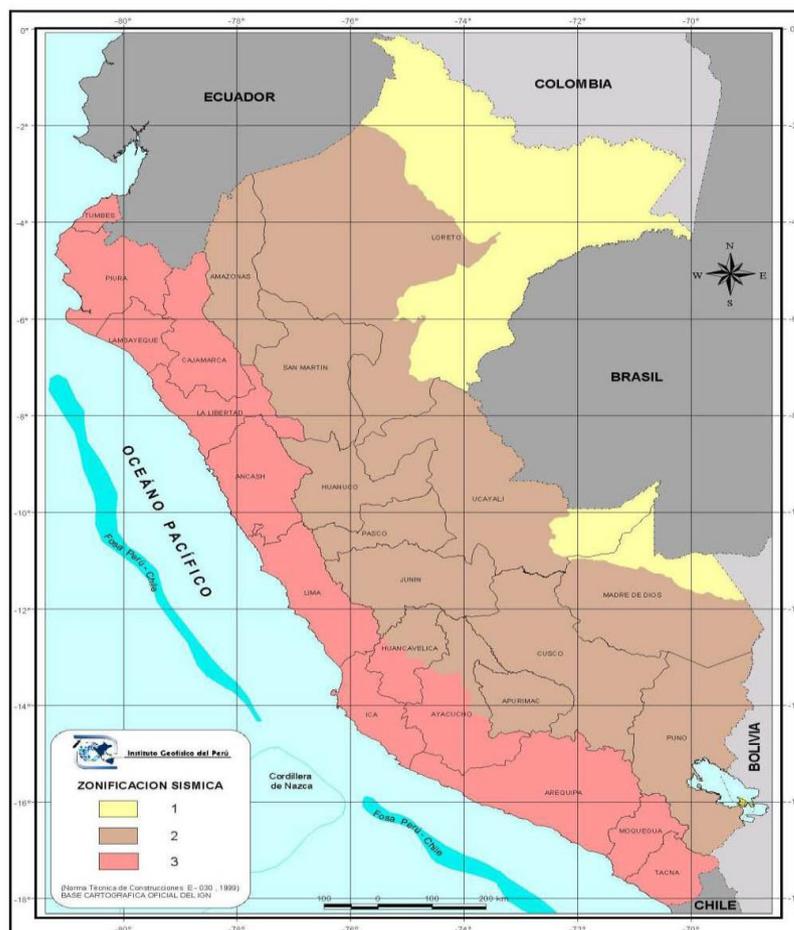


Figura 1. Regionalización Sísmica. (Fuente: IGP, 1999)

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Para la elaboración del presente proyecto se ha revisado material bibliográfico y trabajos anteriores, los cuales son los siguientes:

Antecedentes Internacionales

En Ecuador se elaboró una tesis en, en la que se muestra resultados obtenidos para medir la relación entre ensayos destructivos y no destructivos, logrando correlaciones altas¹ (ver gráfico 1), lo que significa que hay una alta similitud en la tendencia de los resultados. Además, la gráfica que presentan muestra el resultado de los ensayos de correlación específicamente de los ensayos de dureza superficial versus la resistencia a compresión.

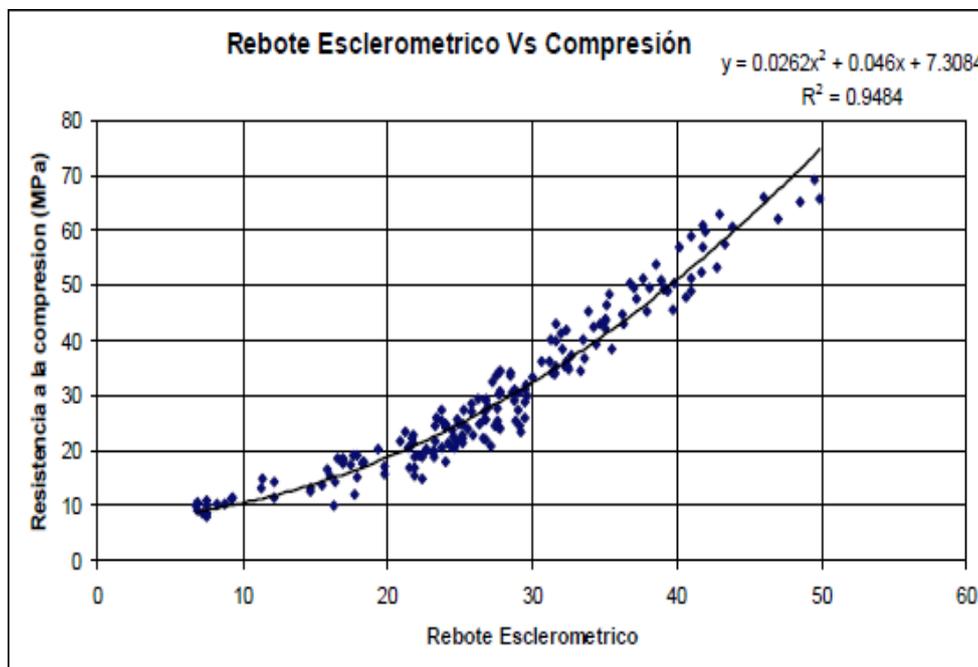


Gráfico 1. Rebote esclerométrico vs compresión. (Fuente: Crespo, Leon et al. (2009).

Tabla 2*Ensayos destructivos y no destructivos*

ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS	r ²
COMPRESIÓN VS. FLEXIÓN	0.9164
COMPRESIÓN VS. TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	0.9303
FLEXIÓN VS. TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	0.9253
REBOTE VS COMPRESIÓN	0.9324
REBOTE VS FLEXIÓN	0.9229
REBOTE VS TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	0.9160
ULTRASONIDO VS. COMPRESIÓN	0.9052
ULTRASONIDO VS. FLEXIÓN	0.9163
ULTRASONIDO VS. TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	0.9081
COMPRESIÓN VS. MODULO DE ELASTICIDAD	0.9037

Fuente: Crespo, Leon et al. (2009). Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones de alta resistencia con agregados calcáreos. Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral

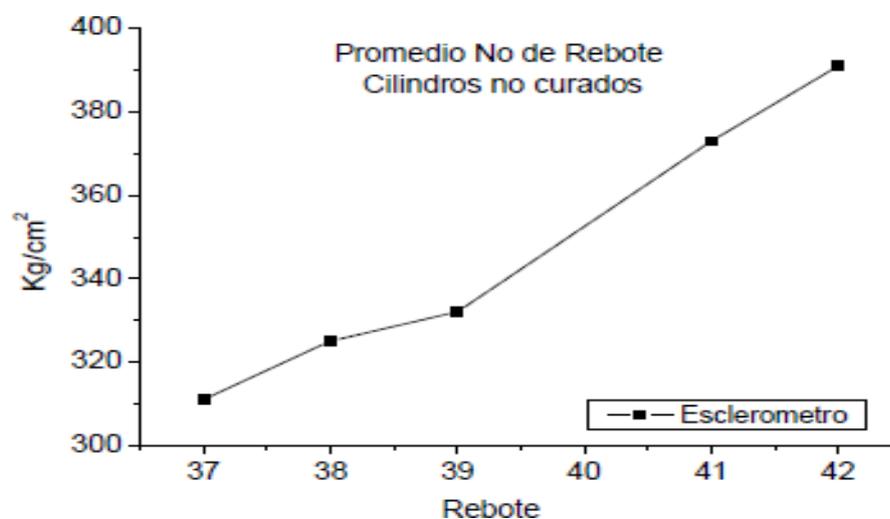


Gráfico 2. Promedio de índice de rebote vs Resistencia del concreto en cilindros no curados. (Fuente: Remigio Rojas Reyes 2010).

Por otro lado, Remilio Rojas (2010) muestra distintas gráficas en la que relaciona el índice de rebote y la resistencia del concreto. En la gráfica 2 se observa que se realizó un estudio con probetas que fueron curadas vs el número de rebote. Por otro lado, se observa la gráfica 3 en la que se observa que las probetas estudiadas si tuvieron un proceso de curación antes de ser estudiadas, (Rojas, R. 2010). Como se observa, las probetas que fueron curadas tienen a tener una mejor línea de tendencia a comparación de las probetas que no fueron curadas.

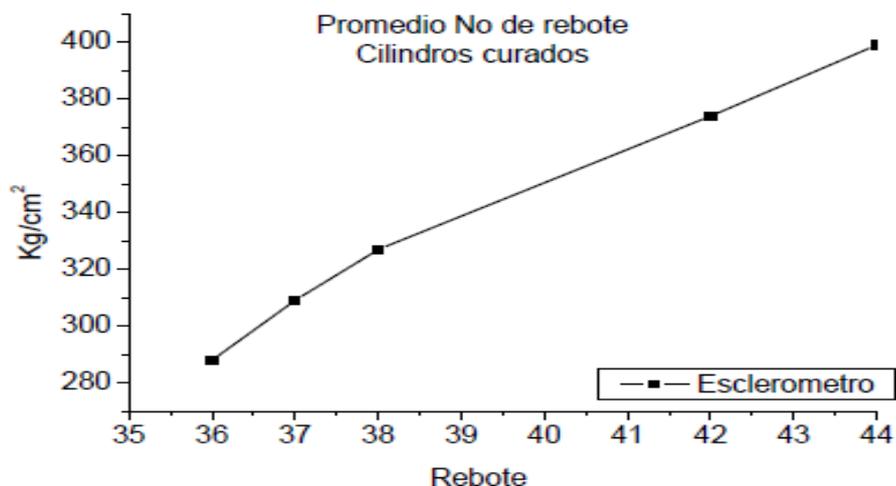


Gráfico 3. Promedio de índice de rebote vs Resistencia del concreto en cilindros curados. (Fuente: Remigio Rojas Reyes 2010).

En el Perú, se ha investigado la relación de la dureza del concreto con su resistencia mediante la Esclerometría, (García, R. 2016). Llegando a la conclusión que se pueden correlacionar dichos ensayos para determinar la resistencia del concreto en el sitio. Además, se hizo una investigación en el año 2013 elaborada por Gabriela Valencia Elguera y Miguel Ibarra Navarro con el título “Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple” en la que nos muestran una gráfica que correlaciona el pulso ultrasónico y la resistencia del concreto. (Ver gráfico 4).

Tabla 3

Obtención de r^2 con modelos de regresión estadística

Código	Selección de Datos de Laboratorio	Obtención de r^2 con modelos de regresión estadística				
		Exponencial	Lineal	Logarítmica	Potencial	Cúbica
A	Huso 57 - 7 días	0.9464	0.8593	0.8522	0.9417	1.0000
B	Huso 57 - 28 días	0.9805	0.9998	1.0000	0.9853	1.0000
C	Huso 67 - 7 días	0.9951	0.9935	0.9900	0.9974	1.0000
D	Huso 67 - 28 días	0.9923	0.9977	0.9963	0.9945	1.0000
E	Huso 57 - 7 y 28 días	0.9469	0.9230	0.9176	0.9507	0.9557
F	Huso 67 - 7 y 28 días	0.9208	0.8923	0.8808	0.9169	0.9398
G	Huso 57 y 67 - 7 días	0.7963	0.7571	0.7556	0.7979	0.7623
H	Huso 57 y 67 - 28 días	0.8158	0.8277	0.8341	0.8266	0.8645
I	Huso 57 y 67 - 7 y 28 días	0.8088	0.7855	0.7812	0.8125	0.8048

Fuente: Valencia, Gabriela et al (2013).

Además, en dicha investigación elaboran una tabla con los valores obtenidos en laboratorio donde muestran los valores de confiabilidad de sus resultados de acuerdo al HUSO del concreto y la edad de las muestras. (Ver Tabla 2)

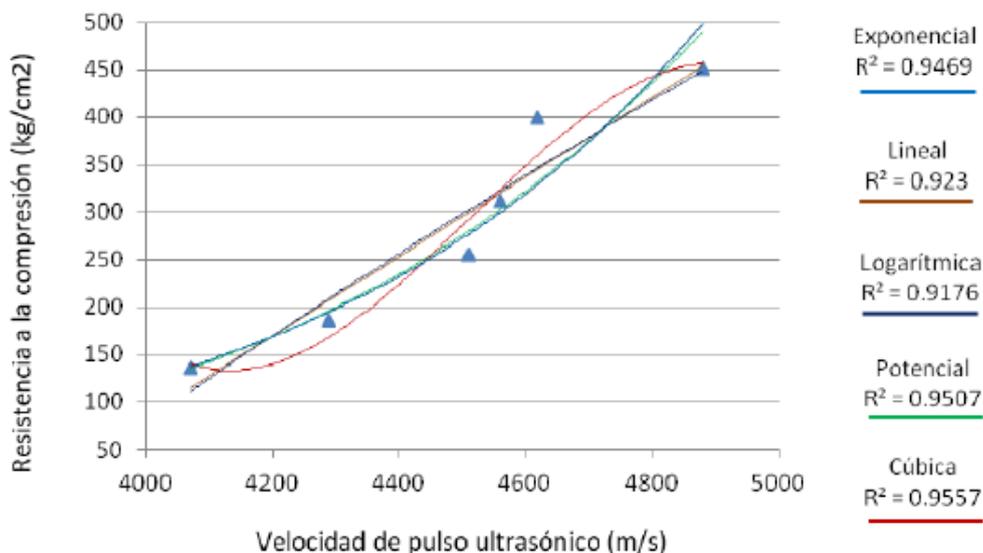


Gráfico 4. Curvas de ajuste de tendencia y confiabilidad. (Fuente: Valencia, Gabriela et al. 2013).

Remigio Rojas Reyes (2012) en su tesis: “Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros a edades tempranas mediante el empleo del esclerómetro”, en la ciudad de Xalapa, Veracruz –México.

Los ensayos esclerométricos permiten conocer la evolución de la resistencia de una manera económica y en poco tiempo, además de conocer la homogeneidad y calidad del concreto sin deteriorar la estructura, lo cual trae ciertas ventajas con respecto a los ensayos que se usan normalmente para conocer la resistencia a compresión del concreto y que de acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que el seguimiento de la evolución de la resistencia a edades tempranas mediante el esclerómetro digital es confiable.

Karla Pamela Crespo León y Natividad Leonor García Troncoso (2009), en su tesis “Correlaciones entre ensayos destructivos y no destructivos para hormigones de alta resistencia con agregados calcáreos”, en la ciudad de Guayaquil –Ecuador.

Se relacionaron por medio de ensayos no destructivos (esclerometría y ultrasonido) tres tipos de ensayos destructivos que permitieron interpretar de manera acertada la resistencia del hormigón. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que las correlaciones entre ensayos mecánicos nos dan una idea muy precisa que ellos están

perfectamente ligados entre sí, y que muchas de sus propiedades son influenciadas por los mismos factores como curado, compactación, densidad, entre otros; el número de rebotes de martillo esclerométrico es una prueba sencilla de realizar, pero sus resultados dependen de muchos factores, no tan solo de la resistencia del hormigón. Este método tiene un bajo coeficiente de variación. Sin embargo, esto no significa que las predicciones de resistencia son necesariamente confiables; Así mismo el ultrasonido tiene una buena correlación con la mayoría de los ensayos, pero esta se puede ver influenciada por muchos factores, que en definitiva requieren de un buen criterio para que las correlaciones obtenidas puedan ser utilizadas con objetividad y veracidad.

Antecedentes nacionales

Magno Olivares Abad (2013), en su tesis “Evaluación de la durabilidad de estructuras de concreto armado utilizando equipos y métodos de ensayos no destructivos”, en la ciudad de Lima – Perú.

Con el equipo del esclerómetro se pudo concluir que es uno de los métodos más fáciles y prácticos para poder estimar la uniformidad de resistencia del concreto endurecido y así poder determinar la ubicación de la extracción de diamantinas o testigos.

En la prueba de velocidad de pulso ultrasónico con la aplicación del equipo del V- Meter Mark IV, se determinó la homogeneidad del concreto (homogeneidad y calidad relativa).

La permeabilidad medida con el equipo del Poroscope Plus, ayuda a determinar la calidad del recubrimiento en función de la permeabilidad, indicando la calidad protectora y en que categoría se encuentra.

La medición de potencial de corrosión con el equipo del Concreto Corrosión Mapping System, es un método de estimación sencilla usada para medir la diferencia de potencial eléctrico del acero de refuerzo de la estructura de concreto armado respecto a un electrodo de referencia saturado en cobre sulfato de cobre.

Mediante la aplicación de un conjunto amplio de técnicas no-destructivas de ensayo y análisis pudo determinarse que la estructura de concreto armado de la estructura tomada como aplicación presentaba, problemas de corrosión de armaduras causados, en principio, por la suma de distintos factores tales como, defectos constructivos (escaso o inexistente

recubrimiento de concreto), acumulación de agua en sus cimientos, humedad ambiental y la edad de la estructura. Conocidas las causas y el grado de avance del deterioro pudieron reconocerse métodos de reparación adecuados a la severidad del problema tratado.

Otra investigación realizada en el Perú es la de Katherine Liseth Zambrano Rojas cuyo tema es “Comparación de los ensayos de diamantina y esclerometría de la pavimentación de los jirones Japón, Portugal y Brasil – Cajamarca”. Llegando a la conclusión que los valores de resistencia a compresión del concreto provenientes de los ensayos de esclerometría son 19.39% mayores que los valores obtenidos de los ensayos a compresión de concreto extraídos con diamantina; por ello, recomienda utilizar el ensayo de diamantina por ser más preciso y confiable que el ensayo de esclerometría, y, además, se debería extraer especímenes de concreto con diamantina en el mismo lugar donde se realicen los ensayos de esclerometría.

Antecedentes locales:

Como lo hemos establecido no existen Investigación referentes a este tipo en la localidad en ninguna de las Universidades Publica y Privadas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Descripción del concreto

2.2.1.1. Selección del material

La producción efectiva de concreto de alta resistencia se logra seleccionando, controlando, y proporcionando cuidadosamente todos los materiales. A fin de lograr concretos de alta resistencia, se debe seleccionar las proporciones óptimas, considerando las características del cemento, microsílíce, la calidad del agregado, la proporción de la pasta, la interacción agregado-pasta, el tipo de aditivo y la forma de dosificación, y el mezclado. Al evaluar el cemento, microsílíce, el aditivo químico y el agregado, procedente de varias fuentes potenciales en proporciones variables, se podrá indicar la combinación óptima de los materiales.

2.2.1.2. Cemento Pórtland

La selección apropiada del tipo y de la fuente de cemento es uno de los pasos más importantes en la producción de concreto de alta resistencia. El ASTM C 917 puede ser útil al considerar la fuente de cemento. Las variaciones en la composición química y

de las propiedades físicas del cemento afectan la resistencia a compresión del concreto más que las variaciones en cualquier otro material tomado individualmente. Para cualquier conjunto dado de materiales, existe un contenido de cemento óptimo más allá de cual no se logra ningún incremento adicional, o si acaso un pequeño incremento de la resistencia, al incrementar el contenido de cemento.



Figura 2. Cemento Portland Tipo I

2.2.1.3. Otros materiales cementantes

Se han considerado materiales cementantes finalmente divididos distintos al cemento Pórtland, que consisten principalmente de ceniza volante, escoria de alto horno molida o humo de sílice (microsílice). En la producción de concreto de alta resistencia, debido al alto contenido de materiales cementantes requerido y a una baja relación $w/(c+p)$. Estos materiales pueden ayudar a controlar la elevación de la temperatura en el concreto a edades tempranas y pueden reducir la demanda de agua para una trabajabilidad dada. Sin embargo, la ganancia de resistencia temprana del concreto puede reducirse.

El ASTM 618 especifica los requisitos para cenizas volantes Clase F y Clase C, y para puzolanas naturales calcinadas o crudas, Clase N, para usarse en el concreto. Las propiedades de la ceniza volante pueden variar considerablemente en diferentes áreas y diferentes fuentes dentro de una misma área.

Las cenizas volantes preferidas para usarse en concreto de alta resistencia tienen una pérdida en la ignición no mayor del 3%, tienen un alto grado de finura, y proceden de una fuente con una uniformidad que cumple con los requisitos de ASTM C 618.

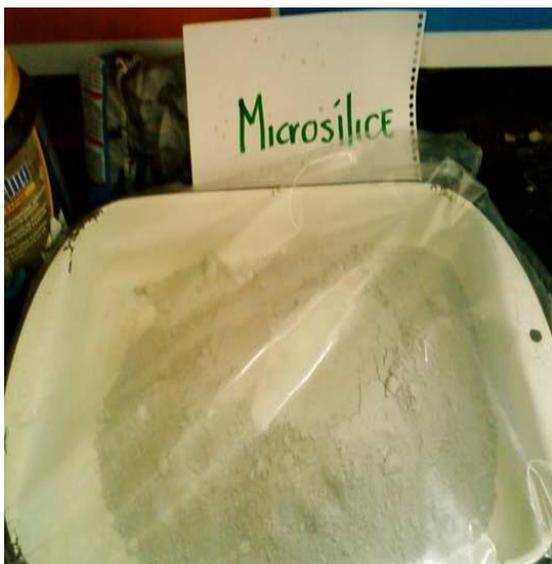


Figura 3. Microsilice



Figura 4. Filler Calizo

2.2.1.4. Agua de Mezclado

La aceptación del agua para concreto de alta resistencia no es la preocupación mayor si se usa agua potable. De otro modo, debe probarse el agua para verificar su conveniencia de acuerdo con el ASTM C 94.



Figura 5. Agua

2.2.1.5. Agregado Grueso

En el proporcionamiento de concreto de alta resistencia, los agregados requieren de especial consideración, ya que ocupan el volumen más grande que cualquier otro ingrediente en el concreto, e influyen significativamente en la resistencia y en otras propiedades del concreto.

Usualmente, los concretos de alta resistencia son producidos con agregados de peso normal. Sin embargo, existen reportes de concreto de alta resistencia producidos con agregados de peso ligero para concreto estructural y agregados pesados para concreto de alta densidad.

El agregado grueso influirá significativamente en la resistencia y en las propiedades estructurales del concreto. Por esta razón, debe escogerse un agregado grueso que sea suficientemente duro, libre de fisuras o de planos débiles, limpios y libres de recubrimientos superficiales. Las propiedades del agregado grueso también afectan las características de adherencia entre el agregado y el mortero y los requisitos de agua de mezclado. Se ha demostrado que los agregados de tamaño más pequeño proporcionan mayor resistencia potencial.

Para cada nivel de resistencia del concreto, existe un tamaño óptimo para el agregado grueso que producirá la mayor resistencia a compresión por kilogramo de cemento. Es común el agregado con un tamaño máximo nominal de 25 o 20 mm para producir resistencias del concreto de hasta 63.5 MPa; y de 12 o 9.5 mm por encima de 63.5 MPa. En general, el agregado de tamaño más pequeño produce la resistencia más alta para una relación $w/(c+p)$ dada. Sin embargo, son factibles resistencias a compresión que exceden 70 MPa usando un agregado de tamaño máximo nominal de 25 mm cuando la mezcla se diseña con aditivos químicos. La selección del Tamaño máximo del Agregado es una consideración importante cuando también son importantes la optimización del módulo de elasticidad, la fluencia y la contracción por secado.



Figura 6. Piedra 12 mm.

2.2.1.6. Agregado fino

La granulometría y la forma de la partícula del agregado fino son factores significativos en la producción de concreto de alta resistencia. La forma de la partícula y la textura de la superficie pueden tener un efecto tan grande en los requisitos del agua de mezclado y la resistencia a compresión del concreto como lo tienen con el agregado grueso.

Los agregados finos de la misma granulometría, pero con una diferencia de 1% en el contenido de vacíos puede dar como resultado una diferencia de 3.5 l por m³ en la demanda de agua. Puede encontrarse más información en el ACI 211.1.

La cantidad de la pasta requerida por unidad de volumen de una mezcla de concreto se reduce al tiempo que se incrementa el volumen relativo del agregado grueso con respecto al material fino. Debido a que la cantidad del material cementante contenido en el concreto de alta resistencia es grande, el volumen de los finos tiende a ser alto. Consecuentemente, el volumen de la arena debe mantenerse al mínimo necesario para lograr trabajabilidad y una buena compactación. De esta manera, será posible producir concretos de más alta resistencia para un contenido dado de material cementante.

Son preferibles los agregados finos con un módulo de finura (MF) en el rango de 2.5 a 3.2 para concretos de alta resistencia. Las mezclas de concreto hechas con un agregado fino que tenga un MF menor que 2.5 pueden ser "pegajosas" y dar como resultado una pobre trabajabilidad y un requerimiento de agua más alto. A veces es posible mezclar arenas de diferentes fuentes para mejorar su granulometría y su capacidad para producir resistencias más altas. Si se usan arenas manufacturadas, debe considerarse un posible incremento en la demanda de agua para la trabajabilidad. La forma de la partícula y el incremento del área superficial de las arenas manufacturadas en comparación con las arenas naturales pueden afectar en forma importante la demanda de agua.



Figura 7. Arena fina.

2.2.1.7. Aditivos Químicos

En la producción de concreto, la disminución de $w/(c+p)$ disminuyendo la cantidad del agua más que incrementando el contenido total de materiales cementantes, usualmente producirá resistencias a compresión más altas. Por esta razón, debe considerarse el uso de aditivos químicos al producir concreto de alta resistencia, ACI 212⁵ y ASTM C 494.

En nuestra tesis los volúmenes de dosificación de los aditivos químicos se basan en peso (kg.) de total del material cementante.

Si se usan aditivos en polvo, las cantidades de dosificación se toman con base en el peso seco. El uso de aditivos químicos puede mejorar y controlar la velocidad de endurecimiento y la pérdida de revenimiento, y dar como resultado la ganancia de resistencia acelerada, mejor durabilidad, y trabajabilidad mejorada.

Los aditivos reductores de agua de alto rango (RAAR) también son conocidos como superfluidificantes, y son más efectivos en mezclas de concreto que son ricas en cemento que otros materiales cementantes. Los RAAR ayudan a dispersar las partículas de cemento, y pueden reducir los requisitos de agua de mezclado hasta en un 30%, incrementando de este modo las resistencias a compresión del concreto. Generalmente los concretos de alta resistencia contienen un aditivo reductor de agua convencional o un aditivo retardante y reductor de agua y un RAAR.

La dosificación de los aditivos podrá ser muy probablemente diferente de la dosificación recomendada por el fabricante. Aunque sólo se tiene una información limitada, también se ha producido concreto de alta resistencia usando una combinación de aditivos químicos, tales como una dosificación alta de un reductor de agua de fraguado normal y un acelerador de fraguado.

El rendimiento de los aditivos está influido por los materiales cementantes usados específicamente en una mezcla. La dosificación óptima de un aditivo o una combinación de aditivos debe ser determinada por mezclas de prueba usando cantidades variables de aditivos. Los mejores resultados se obtienen, generalmente, cuando se agrega un RAAR después de que el cemento ha sido mojado en las operaciones de dosificación y mezclado. Rara vez se usan aditivos inclusores de aire en aplicaciones para edificios de concreto de alta resistencia cuando no existen preocupaciones por congelación y deshielo

fuera del periodo que dura la construcción. Si se requiere aire incluido debido a ambientes severos, se reducirá significativamente la resistencia a compresión del concreto.

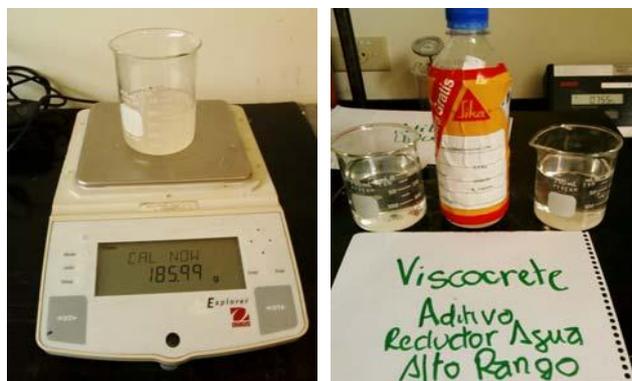


Figura 8. Aditivo Viscocrete 2100

2.2.1.8. Relación de Agua-Material cementante

Muchos investigadores han llegado a la conclusión de que la variable única más importante para lograr un concreto de alta resistencia es la relación agua-cemento (w/c) puesto que la mayoría de las mezclas de concreto de alta resistencia contiene otros materiales cementantes, debe considerarse una relación $w/(c+p)$ en lugar de la tradicional w/c . La $w/(c+p)$, al igual que la w/c , puede ser calculada con base en la masa. La masa del agua en RAAR debe ser incluida en la $w/(c+p)$.

Se ha encontrado que la relación que existe entre w/c y la resistencia a compresión, que ha sido identificada en los concretos de resistencia normal, es válida también para concretos de resistencia más alta. Se ha probado que el uso de aditivos químicos y otros materiales cementantes son generalmente esenciales para producir un concreto que pueda ser colocado con una relación w/c baja. Las $w/(c+p)$ para concretos de alta resistencia típicamente han variado desde 0.20 hasta 0.50.

2.2.1.9. Trabajabilidad

La trabajabilidad es aquella propiedad del concreto recién mezclado que determina la facilidad con la cual puede ser apropiadamente mezclado, colocado, consolidado, y acabado sin segregación.

Los concretos de alta resistencia deben ser colocados con el revenimiento más bajo que permita al concreto ser apropiadamente manejado y consolidado en la obra. Un

revenimiento de 5 a 10 cm. proporciona la trabajabilidad requerida para la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, deben considerarse previamente al diseño de las mezclas de concreto el espaciamiento del acero de refuerzo y los detalles de las cimbras.

Debido a los altos contenidos de agregado grueso y materiales cementantes y una baja relación $w/(c+p)$, los concretos de alta resistencia pueden ser difíciles de colocar. Sin embargo, los concretos de alta resistencia pueden ser colocados a revenimientos muy altos con RAAR sin problemas de segregación. Los concretos fluidos con revenimientos mayores a 20 cm. que incorporan RAAR, son muy efectivos para llenar los huecos entre el refuerzo apretadamente espaciado. En las situaciones de entrega, cuando la pérdida de revenimiento puede ser un problema, puede restablecerse exitosamente un revenimiento adecuado a la colocación dosificando nuevamente el concreto con RAAR. Una segunda dosificación de RAAR da como resultado resistencias incrementadas a casi todas las edades de prueba. Esta práctica ha sido ventajosa, especialmente al usar RAAR para colocación del concreto en clima caliente.

2.2.1.10. Edad de la prueba

La selección de las proporciones de una mezcla puede ser influenciada por la edad de la prueba. Los concretos de alta resistencia pueden ganar resistencia considerable después de la edad normalmente especificada de 28 días. Para obtener una ventaja de esta característica, muchas especificaciones para la resistencia a compresión han sido modificadas respecto al criterio típico de 28 días, para considerar edades de 56 días, 90 días o edades más grandes. Usualmente, las proporciones de los componentes cementantes han sido ajustadas para producir la resistencia deseada a la edad de prueba seleccionada.

2.2.2. Mediciones de la Resistencia

2.2.2.1. Método de prueba

Se siguen los métodos de prueba estándar ASTM o AASHTO, excepto cuando hay cambios indicados por las características del concreto de alta resistencia ACI 363R. La resistencia potencial para un conjunto dado de materiales puede ser establecida únicamente si los especímenes están hechos y ensayados bajo condiciones estándar. Deben probarse un mínimo de dos especímenes para cada edad y condición de prueba.

2.2.2.2. Tamaño de espécimen

Generalmente se especifican especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm. como el estándar para la evaluación de la resistencia del concreto de alta resistencia. Sin embargo, se han usado cilindros de 10 x 20 cm. para las mediciones de resistencia.

El tamaño del espécimen usado por el productor de concreto para determinar las proporciones de la mezcla debe ser compatible con la capacidad de carga de la máquina de pruebas y de acuerdo al tamaño del cilindro especificado por el diseñador para su aceptación. Las mediciones de la resistencia usando cilindros de 15 x 30 cm. no son intercambiables con aquellas obtenidas cuando se usan cilindros de 10 x 20 cm.

2.2.2.3. Tipo de moldes

El tipo del molde usado tendrá un efecto significativo en la resistencia medida a compresión. En general, los especímenes compañeros vaciados usando moldes de acero logran resistencias a compresión más consistentes que aquellos elaborados usando moldes de plástico.



Figura 9. Moldes de Acero

2.2.2.4. Cabeceo de los especímenes.

Previamente a la prueba de un cilindro, las bases usualmente son cabeceadas para procurar una transmisión uniforme de la fuerza desde la platina de la máquina de pruebas hacia el cuerpo del espécimen. El mortero de azufre es el material de cabeceo más ampliamente usado, y cuando se prepara apropiadamente, es económico, conveniente y desarrolla una resistencia relativamente alta en un corto periodo de tiempo. El espesor de

la capa de cabeceo debe ser tan delgado como sea práctico, en el rango de 1.6 a 3 mm para especímenes de concreto de alta resistencia. Se usa un material de cabeceo de azufre de alta resistencia, disponible comercialmente, para determinar resistencias del concreto que exceden 70 MPa, con un grosor del mortero de azufre mantenido aproximadamente en 3 mm. Cuando se usa un material de cabeceo de azufre en especímenes de concreto de alta resistencia, es importante que se corrijan las condiciones irregulares de los extremos previamente al cabeceado. Las condiciones irregulares de las bases y los huecos de aire entre la cabeza y las superficies de las bases del cilindro pueden afectar adversamente la resistencia medida a compresión. Algunos tecnólogos del concreto prefieren moldear o esmerilar los extremos del espécimen a las tolerancias de ASTM C 39⁸ cuando las resistencias a compresión son mayores que 70 MPa. Nosotras hemos usado para el cabeceo de los núcleos un mortero compuesto de Cemento, arena, agua, Superplastificante (Sikament N100), Acelerante (Sigunit) y Microsílice, y con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga usamos tapas de almohadilla de neopreno ASTM C1231⁹. Los requerimientos de dureza en durometro para las almohadillas de neopreno varían desde 50 a 70 dependiendo del nivel de resistencia sometido a ensayo, en nuestro caso hemos usado de una dureza de 70. Las almohadillas se deben sustituir se presentan desgaste excesivo.



Figura 10. Almohadillas de neopreno



Figura 11. Neopreno en los anillos de retención



Figura 12. Cilindro, Anillo de retención y neopreno

Tales características se consiguen con la fluidez, viscosidad y cohesión apropiadas en las mezclas de estos hormigones. La alta fluidez proporciona la facilidad de fluir en el encofrado y el relleno del mismo, y la viscosidad y cohesión moderadas evitan la segregación de sus componentes garantizando una deformabilidad uniforme en el proceso de colocación. En este sentido, la facilidad o habilidad para el relleno y el paso entre las armaduras son parámetros esenciales en la definición de las prestaciones de estos hormigones.

El diseño y la caracterización de estos hormigones llevan asociado el desarrollo de procedimientos de ensayo encaminados a validar la capacidad de fluir del hormigón, dentro de unos rangos de cohesión de la mezcla que permitan su colocación sin segregación y con un efecto de auto compactación; estos procedimientos de ensayo se apartan de los procedimientos clásicos de caracterización del comportamiento en fresco del hormigón, siendo actualmente una parte de los mismos procedimientos aún no normalizados.

El ACI 237R en la tabla 4, resume los parámetros para el proporcionamiento de mezclas de pruebas para el diseño del hormigón Autocompactante que se resumen a continuación.

Tabla 4

Parámetros del concreto autocompactante

Volumen absoluto del agregado grueso en la mezcla	28-32%
Fracción de pasta (calculada del volumen total de la mezcla)	34-40%
Fracción de mortero calculada del volumen total de la mezcla)	68-72%
Relación agua / material cementante	0.32 a 0.45
Cantidad de cemento	386 a 475 kg/m ³

2.2.3. Propiedades del concreto en estado fresco

2.2.3.1. Determinación de la densidad. (ASTM C138)

Se utiliza un molde rígido que se rellena y compacta. Se determina la masa de hormigón restando, de la masa total, la del molde. Dividiendo por el volumen del molde se obtiene la densidad. Los valores medidos de peso unitario para hormigones de alta resistencia son ligeramente mayores que los de hormigón normal, siendo realizados, sin embargo, con los mismos materiales.



Figura 13. Ensayo para determinar la Densidad

2.2.3.2. Contenido de aire incluido (ASTM C138)

Consiste en determinar la deformación elástica que experimenta el hormigón fresco bajo una presión dada y en condiciones definidas, y compararla con la de un volumen conocido de aire sometido a la misma presión.



Figura 14. Ensayo para determinar el Aire incluido

2.2.3.3. Pruebas para medir las características de Auto compactibilidad.

El ensayo de extensión de flujo consiste en verter el hormigón en el cono de Abrams sin compactar, y levantar lentamente el cono de modo que el hormigón se extienda formando casi un círculo. En este ensayo la altura del asentamiento no constituye una medida representativa para evaluar las mezclas de tales hormigones,

siendo el diámetro de la extensión alcanzada por el hormigón una de las medidas representativas del ensayo. Los requisitos para la extensión de flujo son un diámetro final de 60-75 cm y un tiempo de 5 ± 2 segundos para alcanzar un diámetro de 50 cm (denominado como T50)¹¹



Figura 15. Cono y base. (Fuente: Cono de Abrams).



Figura 16. Diámetro final de la extensión. Ensayo de extensión de flujo

El ensayo de La caja en L, denominada en inglés como, L-Box consiste en llenar el depósito y dejar fluir el concreto hacia el canal a través de las armaduras. Se determinan el tiempo que tarda el hormigón en llegar a una distancia de 200 mm (T20) y de 400 mm (T40), y las alturas H1 y H2 que se alcanzan en ambos extremos de la parte horizontal, con la mezcla ya en reposo. La razón $H2/H1$ se define como el coeficiente de bloqueo.

La prueba permite determinar valores que cuantifican el bloqueo y estimar la fluidez del hormigón tras pasar por los obstáculos.



Figura 17. Caja en L

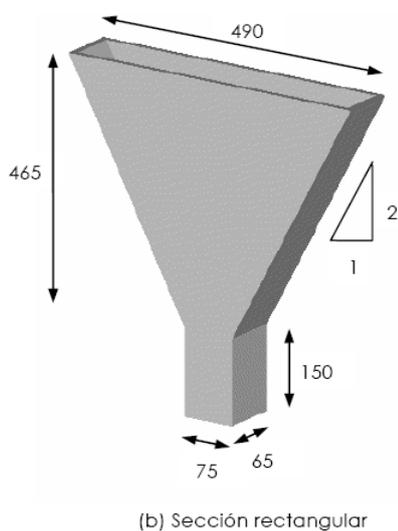


Figura 18. Ensayo del embudo-V

El ensayo del embudo-V consiste en medir el tiempo en que un cierto volumen (aproximadamente 10 litros) de hormigón tarda en fluir a través de un embudo que se conecta a un canal de salida o descarga. Para las dimensiones consideradas en la figura, el tiempo de flujo recomendado para un HAC es de 10+3 segundos. El anillo de barras, denominado a menudo anillo japonés, o J-Ring en inglés, es un aparato que se utiliza en combinación con otros ensayos, como son el de extensión de flujo o embudo-V, a efectos de evaluar conjuntamente las habilidades de fluir y de pasar entre barras de armadura. El procedimiento consiste en realizar el ensayo con el que se combine, pero dejando después fluir el hormigón horizontalmente sobre una superficie plana de manera que tenga que atravesar las barras del anillo para extenderse. El

aparato consiste en un anillo de 300 mm de diámetro, en el cual se disponen barras verticales de armadura de 100 o 120 mm de altura, con una apropiada separación entre ellas. Normalmente, se considera adecuado el uso de un espacio entre las barras igual o superior a tres veces el tamaño máximo del árido.

Una vez cesa el flujo, se miden las alturas de hormigón justo dentro y fuera del anillo para evaluar el bloqueo. Ocasionalmente, también puede medirse el diámetro final de extensión, como la media de dos diámetros perpendiculares.

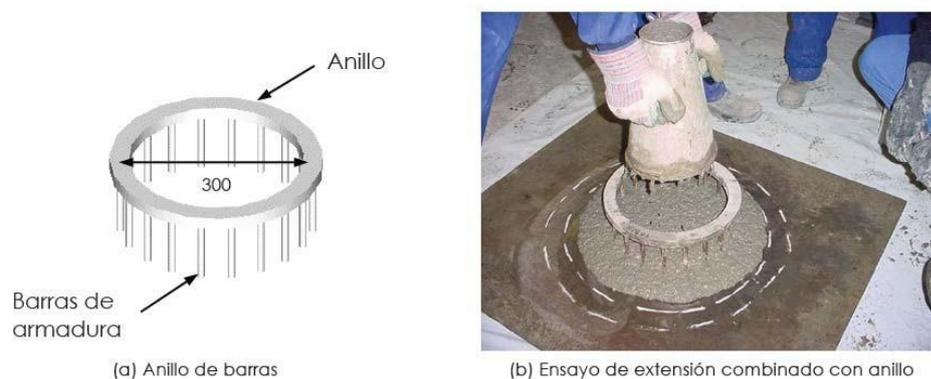


Figura 19. Anillo de barras

2.2.4. Características mecánicas del hormigón

Los ensayos que evalúan las características mecánicas del hormigón vienen regularizados por las normas ASTM, en sus distintos puntos.

2.2.4.1. Resistencia a la compresión

a. Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39/C39M-03).

La más común de todas las pruebas sobre el hormigón endurecido es la prueba de resistencia a la compresión, en parte porque muchas de las características deseables del hormigón están relacionadas cualitativamente con su resistencia, pero fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del hormigón en el diseño estructural.

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de éste. Los instrumentos usados son:

-Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe ser de un tipo tal que tenga suficiente capacidad de carga y debe operar mecánicamente y aplicar la carga de una manera continua y no en forma intermitente, y sin choques. La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 2000, aplicándose una velocidad de carga de 2,4 kN./seg. para cilindros de hormigón de 100 x 200 mm. y de 5 kN./seg. para cilindros de hormigón de 150 x 300 mm.



Figura 20. Prensa “ELE” 2000 kN.

b. Procedimiento.

El ensayo de compresión de muestras curadas en agua debe hacerse inmediatamente después de que éstas han sido removidas del lugar de curado. La muestra se debe mantener húmeda utilizando cualquier método, durante el período transcurrido desde su remoción del lugar de curado hasta cuando es ensayada. Debe ensayarse en condición húmeda.

Colocar la muestra sobre la plataforma de la máquina de ensayo. Aplíquese la carga continuamente sin golpes bruscos, hasta que la muestra falle y regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo.



Figura 21. Ensayo de Compresión

2.2.4.2. Resistencia a la flexión

a. Ensayo de resistencia a la flexión (ASTM C78-02).

En estas pruebas, una simple viga de hormigón (sin refuerzo) se sujeta a flexión usando carga en dos puntos situados simétricamente hasta que ocurre la falla. Puesto que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la prueba es llamada prueba de carga en los tercios medios.

El esfuerzo a tracción máximo teórico alcanzado en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como módulo de rotura-Máquina de ensayo. El método de carga en los tercios de la luz deberá utilizarse en la realización de ensayos de flexión, empleando bloques de carga, los cuales asegurarán que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara del espécimen y sin excentricidad.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 3000, aplicándose una velocidad de carga de 1,13 kN./seg. para vigas de hormigón de 150 x 150 x 500 mm.



Figura 22. Equipo utilizado prensa “ELE” 3000 kN.

b. Procedimiento.

Céntrese el sistema de carga en relación con la fuerza aplicada. Póngase los bloques de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios, entre los soportes.



Figura 23. Ensayo Resistencia a la Flexión

Aplíquese la carga en forma continua que incremente constantemente el esfuerzo de la fibra extrema, hasta que ocurra la rotura. Regístrese la carga máxima soportada por el espécimen durante el ensayo y calcúlese el módulo de rotura.



Figura 24. Viga ensayada a flexión



Figura 25. Aspecto de la viga de ensayada a flexión

2.2.4.3. Resistencia a la tracción por compresión diametral

a. Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral (ASTM C496)

En esta prueba, se coloca un cilindro de hormigón, del tipo utilizado para pruebas de compresión, con su eje horizontal entre las platinas de una máquina de pruebas, y se aumenta la carga hasta que ocurra la falla por tensión indirecta en forma de separación a lo largo del diámetro vertical.



Figura 26. Ensayo Resistencia a la Compresión Diametral

-Máquina de ensayo. Debe ser de similares características a las mencionadas anteriormente para el ensayo de compresión.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 2000, aplicándose una velocidad de carga de 0,94 kN./seg. para cilindros de hormigón de 100 x 200 mm.

-Platina de apoyo suplementaria. Si el diámetro o la mayor dimensión de las placas de apoyo, inferior y superior son menores que la longitud del cilindro para ensayo, debe usarse una platina suplementaria de acero maquinado.

-Listones de apoyo. Deben ser dos tiras de cartón o dos listones de madera triplay, de 3 mm. de espesor y 25 mm. de ancho.



Figura 27. Patina de apoyo suplementaria.

b. Procedimiento.

Se coloca un listón de apoyo a lo largo del centro de la parte inferior de la platina de apoyo. Se pone el cilindro sobre el listón, de tal manera que el punto de tangencia de las dos bases esté concentrado sobre la lámina de apoyo. Se coloca el segundo listón longitudinalmente sobre el cilindro, centrándolo en forma similar al anterior. Se aplica la carga al cilindro en forma continua evitando impactos, a velocidad constante mientras se rompe el cilindro. Se anota la carga máxima de la máquina en el momento de la rotura.



Figura 28. Prensa - Ensayo de Tracción por Compresión Diametral

2.2.4.4. Módulo de Elasticidad

a. Ensayo de módulo de elasticidad (ASTM 469-02)

Siendo el hormigón un material usado en todo tipo de estructuras incluyendo pavimentos interesa conocer sus comportamientos elástico y plástico. La relación entre esfuerzos y deformaciones es de vital importancia.

La curva esfuerzo – deformación para hormigones se obtiene al aplicar cargas que generan esfuerzos, el ASTM C 469-02 considera como Módulo de Elasticidad (Estático) el que corresponde a un esfuerzo igual al 40% de la carga de rotura o carga última.

-Máquina de ensayo. Debe ser de similares características a las mencionadas anteriormente.

La prensa utilizada en este ensayo pertenece a la marca ELE ADR 2000 para cilindros de hormigón de 150 x 300 mm.

-Dispositivo medidor de deformación. El deformímetro usado deberá estar situado en forma que su movimiento de deformación ocurra a lo largo del eje longitudinal del cilindro y deberá estar ajustado concéntricamente alrededor de la periferia del espécimen,



Figura 29. Deformímetro empleado para determinar el módulo de elasticidad.

b. Procedimiento.

Para determinar el módulo de elasticidad los especímenes requieren tener una edad de 28 días para ser ensayados. Se deberá tener una pareja de especímenes, el primero deberá ser ensayado a compresión simple a la edad de 28 días para determinar la

carga máxima, el segundo espécimen se deberá cargar con el 40% de la carga máxima determinada en el primer espécimen.

Antes de proceder a ensayar el segundo espécimen éste debe ser cargado tres veces con el 40% de la carga máxima determinada con la finalidad de relajar el hormigón, una vez hecho esto se procede a cargar el hormigón hasta el 40% de la carga máxima repartida en intervalos iguales, registrando la respectiva deformación para cada uno de dichos intervalos. Se determina el módulo de elasticidad y la curva esfuerzo – deformación.



Figura 30. Cilindros de 150 x 300 para Modulo de Elasticidad



Figura 31. Colocación del cilindro a ensayarse con el deformímetro



Figura 32. Cilindro con el deformímetro

2.2.5. El concreto.

El concreto es un material compuesto (tabla 1.1) formado por partículas de material granular grueso (agregados minerales o relleno) embebidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) que llena los espacios vacíos entre las partículas y burbujas manteniéndolas juntas.

Tabla 5

Definiciones para el concreto.

CONCRETO	= Rellenador	+ Ligante
Concreto de cemento Pórtland	= Agregado (fino + grueso)	+ Pasta de cemento
Mortero	= Agregado fino	+ Pasta
Pasta	= Cemento	+ Agua

Los agregados pueden ser obtenidos de diferentes tipos de materiales, sin embargo, principalmente hacemos uso de los materiales naturales, comúnmente rocas. Estos son esencialmente materiales inertes los cuales, por conveniencia, son separados en una fracción gruesa y en una fracción fina.

Similarmente el cemento puede ser formulado a partir de diferentes composiciones químicas. Cemento es un nombre genérico que puede ser aplicado a cualquier material ligante. Por lo tanto, deben ser utilizados descriptores para calificar al cemento cuando nos referimos a un cemento específico.

2.2.5.1. Principales propiedades del concreto

Podemos mencionar como principales propiedades del concreto fresco:

- Trabajabilidad
- Consistencia
- Compacidad
- Segregación
- Exudación
- Contracción
- Peso unitario
- Contenido de aire

En el estado endurecido el concreto presenta las siguientes propiedades:

- Resistencia mecánica
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Estabilidad volumétrica
- Elasticidad, etc.

A continuación, trataremos básicamente las que conciernen directamente en el tema de estudio:

2.2.5.2. Trabajabilidad del concreto

La principal propiedad del concreto en estado fresco es la que se designa como “Trabajabilidad” y que de acuerdo con el Comité ACI 116, es “aquella propiedad del mortero o del concreto recién mezclado que determina la facilidad y homogeneidad con que puede ser mezclado, transportado, colocado, compactado y acabado”. Ante la vaguedad de esta definición, y el hecho de que el concepto es muy amplio e involucra aspectos del concreto fresco relacionado con todas las operaciones que se realizan con este, no se ha llegado a establecer un procedimiento único y confiable para medir la Trabajabilidad de las mezclas de concreto.

Por ello ha sido necesario acudir a otras propiedades del concreto fresco como el revenimiento o “slump”, que es una característica propia de cada mezcla de concreto,

que se evalúa directamente, con relativa facilidad y exactitud, y que permite juzgar su habilidad para comenzar a fluir exclusivamente por fuerzas de gravedad.

2.2.5.3. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica del concreto endurecido ha sido tradicionalmente la propiedad más identificada con su comportamiento como material de construcción.

En términos generales, la resistencia mecánica, que potencialmente puede desarrollar el concreto, depende de la resistencia individual de los agregados y de la pasta de cemento endurecida, así como, de la adherencia que se produce en ambos materiales. En la práctica, habría que añadir a estos factores el grado de densificación logrado en la mezcla ya que, como ocurre con otros materiales, la proporción de vacíos en el concreto endurecido tiene un efecto decisivo en su resistencia.

Cuando las partículas de los agregados son duras y resistentes, la resistencia mecánica del concreto tiende a ser gobernada por la resistencia de la pasta de cemento y/o por la adherencia de esta con los agregados. Por lo contrario, si los agregados son débiles, la resistencia intrínseca de estos se convierte en una limitación para la obtención de altas resistencias, lo cual no quiere decir que el concreto no pueda ser más resistente que las partículas individuales de los agregados.

La adquisición de la resistencia mecánica de la pasta de cemento conforme endurece es una consecuencia inmediata del proceso de hidratación de los granos de cemento.

Considerando el trabajo conjunto de los agregados y la pasta de cemento en el concreto endurecido puede suponerse que, si las resistencias individuales de los agregados y de la pasta no son restrictivas, la resistencia última del concreto debe depender sensiblemente de la adherencia entre ambos componentes. Sin embargo, ésta es una situación cambiante con la edad, pues, aunque tanto la resistencia de la pasta como la adherencia progresan con la hidratación del cemento, su evolución no necesariamente es igual, y así, hay evidencia de que en el concreto a edad temprana la resistencia por adherencia suele ser menor que la resistencia de la pasta, en tanto que a edades avanzadas tiende a ocurrir lo contrario.

En los concretos de baja resistencia (menos de 200 Kg/cm²), a la edad de servicio (más de 28 días) es frecuente que la resistencia propia de la pasta sea el factor predominante,

mientras que en los niveles altos (más de 500 Kg/cm²) tiende a predominar la adherencia pasta / agregado como factor determinante de la resistencia del concreto. En los niveles intermedios que son los más usuales en las estructuras ordinarias, la resistencia del concreto puede ser limitada indistintamente por la resistencia de la pasta, la adherencia pasta /agregado, o una combinación de ambas, dependiendo significativamente de las características de forma, textura superficial y tamaño máximo de los agregados.

2.2.5.4. Los agregados para el concreto

Se define a los agregados como materiales inertes, granulares y debidamente graduados, que son aglomerados por la pasta del cemento para formar la estructura resistente del concreto. Pueden ser arena, grava o piedra triturada, ocupando siempre la mayor parte del volumen del concreto.

Como los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua.

A los agregados suele denominárseles inertes porque no participan en las reacciones químicas entre el cemento y el agua, sin embargo, debido al volumen con el que participan en la preparación del concreto (aproximadamente ocupan las tres cuartas partes del volumen del mismo), la calidad de los mismos es de suma importancia.

La presencia de los agregados en el concreto obedece a dos razones fundamentales: la economía, ya que casi siempre estos materiales son más económicos que el cemento.

2.2.5.5. Pasta de cemento

La pasta de cemento puede ser definida como el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación, comprende cuatro elementos fundamentales:

- El gel, nombre con el que se denomina al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento.
- Los poros incluidos en ella.

- El cemento hidratado, si lo hay.
- Los cristales de Hidróxido de calcio, o cal libre que pueden haberse formado durante la hidratación del cemento.

2.2.5.6. Cemento - agregado

La fuerza del concreto depende de la fuerza de la pasta de cemento, de la fuerza del agregado grueso, y de la fuerza de la interfase pasta de cemento - agregado. Hay evidencia considerable para indicar que esta interfase es la región más débil del concreto; por lo general, los incidentes ocurren en la interfase cemento - agregado antes que en cada uno individualmente.

El gel, el cual podemos definir como la parte sólida de la pasta, desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto, especialmente en su resistencia mecánicas y su módulo de elasticidad. Las razones de su resistencia aún no están claramente comprendidas, pero se acepta que intervienen dos clases de adherencia cohesivas: atracción física y atracción cohesiva.

La atracción cohesiva es del tipo Van der Waal entre superficie de sólidos separados únicamente por microscópicos poros de gel. Esta adherencia es debida a la gran energía disponible en la superficie de las partículas de gel. Es una característica distintiva de éste el que sus fuerzas internas son pequeñas en comparación con sus fuerzas superficiales.

La adherencia química es igual una causa importante de cohesión. Dado que el gel tiene capacidad de esponjamiento limitada, debido a que sus partículas no pueden ser dispersadas por adición de agua, es evidente que ellas están unidas por fuerzas químicas, siendo la ligazón de tipo iónico y covalente.

Es importante también mencionar que la dimensión y la textura de la superficie del agregado grueso son importantes, puesto que puede existir una cantidad considerable de anclaje mecánico entre el mortero y el agregado grueso; las fuerzas de flexión y extensibles de los concretos hechos con agregados ásperos pueden estar hasta 30% más alto, que aquellos que se prepararon con agregados lisos.

La región del enlace es peligrosa porque las grietas existen invariables en la interfase pasta de cemento–agregado, las cuales se interconectan uniformemente, para un concreto continuamente curado con agua y antes de la aplicación de cualquier carga externa.

Estas grietas son debido al sangrado, segregación y a los cambios de volumen de la pasta de cemento durante la colocación y la hidratación. Cuando ocurre el curado ordinario, que es acompañado por el secado, las partículas de los agregados tienden a refrenar la contracción debido a su módulo elástico más alto. Esto induce corte o cizalla y fuerzas extensibles en la interfase, que crecen con el aumento de tamaño de partícula, y que causan que se quiebre adicionalmente, si exceden la fuerza en el enlace. Bajo carga la diferencia entre los módulos elásticos del agregado y la pasta de cemento tienden a producir más fácilmente las fisuras.

2.2.5.7. El concreto como material compuesto

Ha sido muy conocido que las propiedades de materiales multifásicos pueden ser muy superiores a las características de las fases individuales tomadas por separado, particularmente cuando estos vienen de las fases débiles o quebradizas.

Quizás la más antigua información escrita de un material compuesto, ocurre en el éxodo cuando se habla de ladrillos de arcilla reforzados con paja.

Hoy, sabemos que ni la roca, ni la pasta del cemento pura han determinado los materiales de construcción útiles, la roca porque es demasiado quebradiza, y el cemento porque se quiebra en la sequedad. Sin embargo, juntos se combinan para formar quizás el más versátil de todos los materiales de construcción.

Podemos definir un material compuesto como la combinación tridimensional de por lo menos dos materiales químicamente y mecánicamente distintos con una interfase definida que separa los componentes. Este material polifásico tendrá diversas características de sus componentes originales.

A un nivel macroscópico, el concreto consiste en porciones de agregado grueso embutidos en una matriz de mortero; en una escala algo más fina, el mortero en sí mismo consiste en partículas de arena embutidas en una matriz de pasta hidratada de cemento.

A una escala microscópica, la pasta hidratada de cemento consiste en C-S-H y Hidróxido de Calcio, conteniendo una red extensa de los poros capilares, que pueden encontrarse secos o llenos de agua, más algunos granos de cemento inmóvil no hidratado.

En una escala más fina, sub. - microscópica inmóvil, el C-S-H es una mezcla de partículas mal cristalizadas de una variedad de tamaños y composiciones químicas, rodeado por un sistema más o menos continuo de poros de gel, que también se pueden encontrar secos, llenos parcial o totalmente de agua.

Finalmente, los agregados mismos son generalmente materiales compuestos, consistiendo en una mezcla de diversos minerales con una porosidad bien definida.

La estructura interna del concreto es muy compleja. Sin embargo, si hacemos algunas simplificaciones, podremos entonces construir un modelo matemático que permita que determinemos el lazo entre la estructura del concreto y sus características físicas.

Esencialmente se puede modelar la pasta endurecida de cemento como un compuesto que consiste en C-S-H homogéneo y Hidróxido de Calcio, conteniendo un sistema continuo de poros capilares; (se pueden ignorar los detalles de la estructura C-S-H). Similarmente podemos modelar el concreto como un material bifásico, con las partículas de los agregados embutidas en una matriz de pasta del cemento.

Es decir, para los propósitos de este modelo, se asume que la fase del agregado y la fase de la pasta son cada uno homogéneas e isotópicas. La experiencia ha mostrado que este modelo puede proporcionar aproximaciones muy buenas al comportamiento mecánico del concreto, si las características de los dos componentes se conocen.

2.2.5.8. Comportamiento compuesto del concreto.

Antes de aplicar este modelo al concreto, es importante primero considerar el comportamiento del compuesto en general más detalladamente. Para describir un sistema con una o más fases de dispersión (partículas) embutidas en una matriz continua, deben ser considerados los siguientes parámetros:

Distribución de tamaño de las partículas.

Concentración y distribución de las partículas.
 Orientación de las partículas.
 Distribución espacial (o topología) de las partículas.
 Composición de la fase dispersa.
 Composición de la fase continua.
 Enlace entre las fases continuas y las dispersas.

Simplemente describiendo la geometría del sistema en términos de estos parámetros sería muy difícil. Además, puede ser difícil determinar si una fase es continua o dispersa. Por lo tanto, puede ser provechoso considerar dos arreglos para las dos fases, los sistemas: en paralelo y en serie.

Estos sistemas, y otros como ellos, se pueden utilizar para calcular los parámetros elásticos del sistema compuesto, si se conocen los parámetros elásticos de las fases individuales.

El sistema en paralelo, en el cual las dos fases se sujetan a las tensiones uniformes, proporciona la solución del límite superior para el parámetro elástico de interés.

El sistema en serie, en el cual las fases se sujetan a las tensiones uniformes, proporciona la solución de un límite más bajo para el parámetro elástico de interés.

Usando estos dos modelos para calcular el módulo de elasticidad de los sistemas, se puede mostrar lo siguiente:

Para el modelo en paralelo:

$$E_s = E_1 V_1 + E_2 V_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Para el modelo en serie: } \frac{V_1 V_2}{E_s E_1 E_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

E_s = Módulo de elasticidad del sistema.

$E_1 E_2$ = Módulo de elasticidad de los dos componentes.

$V_1 V_2$ = Volumen de las fracciones de los dos componentes.

2.2.5.9. Módulo de elasticidad del concreto

Estos modelos de sistemas compuestos simples anteriormente vistos se han aplicado al concreto. Las ecuaciones (1) y (2) se pueden describir como:

$$\frac{E_c = E_p V_p + E_a V_a}{E_c} \dots\dots\dots(3)$$

$$V_p, V_a \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del concreto.

E_p, E_a = Módulo de la elasticidad de la pasta y del agregado, respectivamente.

V_p, V_a = Fracciones del volumen de la pasta y del agregado, respectivamente.

Sin embargo, se ha sugerido que un material compuesto como el concreto que consiste en partículas de agregados dispersadas en una matriz de pasta de cemento, puede tener dos estructuras fundamental diversas.

Los concretos hechos con agregados naturales (es decir, partículas duras en una matriz suave) se comportan más de cerca al modelo de un enlace más bajo, es decir Sistema en Serie (esfuerzo uniforme) por otra parte, los concretos hechos con los agregados ligeros (es decir, partículas suaves en una matriz dura) se conforman más de cerca al modelo del enlace superior, es decir Sistema en Paralelo (tensión uniforme)

De hecho, ningún modelo es absolutamente correcto, puesto que el concreto bajo carga no exhibe esfuerzo uniforme ni tensión uniforme. Para los concretos hechos con agregados naturales, el modelo de esfuerzos uniformes, subestima la E_c alrededor de 10%; el modelo de tensión sobrestima la E_c a una mayor cantidad.

Tabla 6

Módulo de elasticidad de concretos de diferentes resistencias de acuerdo con la British Code of Practice CP 110:1972 para el uso estructural del concreto.

Promedio de la resistencia a la compresión de cubos en la obra		Valor	promedio del Módulo de Elásticidad
Kg/cm^2	Mpa	$10^5 Kg/cm^2$	Gpa
211	20	2.5	25
246	25	2.7	26
316	30	2.9	28
422	40	3.2	31
527	50	3.4	34
598	60	3.7	36

2.2.5.10. Relación de Poisson del concreto

La relación entre la deformación lateral que acompaña una deformación axial aplicada y la deformación final se utiliza en el diseño y análisis de muchos tipos de estructuras. La relación de Poisson del concreto varía en un rango de 0.11 a 0.21 (generalmente de 0.15 a 0.20) cuando se determina por medición de la deformación, tanto para el concreto normal como para el concreto ligero, aunque puede ser que este último enlace valores cercanos a la parte superior del rango. Una determinación dinámica proporciona valores más altos, con un promedio del orden de 0.24.

Para este último método se requiere la medición de la velocidad de pulso, V , y también la de la frecuencia fundamental de resonancia de la vibración longitudinal de una viga de longitud l . La relación de Poisson, ν , se puede calcular por medio de la expresión.

No se cuenta con información confiable respecto a la variación de la relación de Poisson con relación a la edad, resistencia u otras propiedades del concreto pero generalmente se piensa que la relación de Poisson es menor en el concreto de alta resistencia.

2.2.5.11. Métodos destructivos

Los métodos destructivos son realizados sobre testigos de concreto que permiten determinar ciertas propiedades de la muestra, produciendo en ellos una alteración irreversible de su geométrica dimensional y/o de su composición química. Se tiene, por

ejemplo:

- Ensayo de resistencia a compresión
- Ensayo a tracción indirecta
- Ensayo de extracción de núcleos
- Ensayo de humedad
- Ensayo a flexo compresión
- Ensayo de permeabilidad
- Ensayo de resistencia a la abrasión
- Ensayo del grado de carbonatación

De los cuales, los más representativos para calcular la resistencia del concreto son el ensayo a compresión y el ensayo de extracción de núcleos.

2.2.5.12. Ensayo a compresión de probetas cilíndricas

El método de ensayo consiste en aplicar una carga axial en compresión a los moldes cilíndricos o corazones en una velocidad tal que esté dentro del rango especificado antes que la falla ocurra. El esfuerzo a la compresión de la muestra está calculado por el cociente de la máxima carga obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal de la muestra.

El diámetro de una medición individual de una muestra no deberá variar en más de 2% con respecto a otra medición individual de la misma muestra. Además, las probetas que no tengan superficies de contacto uniforme o que presenten alguna inclinación deberán ser eliminadas.

El equipo que se utiliza para hacer las mediciones deberá tener una adecuada capacidad de carga. Asimismo, deberá aplicar la carga de forma continua, a una velocidad constante. Los cabezales de aplicación de carga deben ser bloques de aceros de cara dura, resistentes y paralelos. Uno de los bloques estará acoplado a una superficie esférica, que le permita acomodarse a la parte superior de la muestra. El bloque que se ubica en la parte inferior de la probeta deberá estar apoyado en una base rígida. El equipo de medición debe ser una máquina de ensayo de compresión uniaxial, tal como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Máquina de ensayo de compresión uniaxial. (Fuente: propia)

El procedimiento consiste en medir dos veces el diámetro de la probeta a ensayaren el tramo central y con mediciones perpendiculares entre sí. Con el promedio obtenido de estas mediciones se podrá calcular el área de la sección transversal del espécimen. A continuación, se colocará la probeta en la máquina de ensayo. Previamente, se verificará que las superficies de contacto, tanto de la probeta como de la máquina de ensayo se encuentren limpias. Además, es importante asegurar que no existan excentricidades en las probetas ensayadas, lo cual se logra alineando los ejes de la probeta con el eje de carga de la máquina compresora. Finalmente se aplicará la carga a una velocidad constante de modo que los esfuerzos aumenten en una ratio de 0.25 ± 0.05 MPa/s, hasta alcanzar el fallo de la probeta. Es importante también registrar el tipo de falla de la probeta para tener una noción de que la prueba se realizó correctamente.

2.3. Definición de términos básicos.

Carbonatación: Es un fenómeno químico natural en el cual el concreto disminuye su PH por la presencia del dióxido de carbono del medio ambiente. Esto si bien es cierto no debilita considerablemente al concreto, pero si afecta al acero que pierde su estado pasivo, debido a la variación del PH que lo rodea, y queda expuesto a la corrosión.

Para medir la carbonatación se aplica la fenolftaleína sobre el concreto a ensayar y se observan los cambios de color en su superficie. Si el concreto se colorea violeta significa que tiene un PH aceptable (mayor a 12), pero si su color no varía indica que está

carbonatado y es probable que su PH sea inferior a 8.

La carbonatación forma una capa endurecida en la superficie que podría causar una significativa sobreestimación (posiblemente de hasta un 50%) de la resistencia a la compresión del hormigón subyacente, por lo que se recomienda que antes del ensayo se debe retirar toda la capa carbonatada.

La resistencia a la compresión del concreto se ve afectada por la profundidad de carbonatación para lo cual se tendrán que aplicar los siguientes factores y corrección:

Tabla 7

Factores de corrección en el $f'c$ por carbonatación

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0,5	0,97
1	0,94
1,5	0,90
2	0,87
2,5	0,84
3	0,80
3,5	0,78
4	0,74
4,5	0,72
5	0,68
5,5	0,65
6 o mayor	0,62

Ensayo a la compresión: Este método consiste en aplicar una carga axial de compresión sobre un cilindro moldeado de concreto a una velocidad normalizada que se encuentra dentro de un rango (0.20 a 0.25 Mpa/s o 2.03 a 2.55 Kg/cm²/s), hasta que ocurra la falla Este ensayo esta normalizado en la NTP 339.034 (2008) “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”.

Esclerometría: Es el nombre que recibe el ensayo en el cual se utiliza el esclerómetro para evaluar la resistencia del concreto. Aunque no es un método excesivamente fiable, su uso está muy extendido a nivel mundial ya que proporciona valores aproximados y se emplea principalmente como método de comprobación para verificar la homogeneidad en la resistencia de un concreto endurecido.

Esclerómetro: El esclerómetro es un instrumento de medición consistente en un martillo de acero, con un resorte de carga, que al ser liberado impacta sobre un émbolo

de acero en contacto con la superficie del concreto endurecido. El martillo de rebote debe moverse a una velocidad constante y reproducible. La distancia de rebote del martillo de acero, luego del impacto, es medida sobre una escala lineal adherida al marco del instrumento. Por lo general el esclerómetro se utiliza para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto endurecido; sin embargo también se utiliza para evaluar la uniformidad del concreto in situ, delinear zonas de hormigón deteriorado o de baja calidad, habiéndose convertido en el instrumento más utilizado a nivel mundial para el control no destructivo del concreto. Los fabricantes recomiendan que aproximadamente cada 2,000 impactos se debe verificar la sensibilidad del esclerómetro, para lo cual se utiliza un yunque de calibración de acero de alta resistencia con dureza mínima de 62 ± 2 HRC6, de una masa de (16 + kg y un diámetro aproximado de 150 mm.)



Figura 34. Yunque de verificación de calibración del esclerómetro

Esclerómetro digital: Tienen los mismos principios de funcionamiento que el esclerómetro convencional, pero además incorpora una pantalla digital en la que se muestran directamente los resultados. Además, están diseñados para descartar valores erráticos, mostrar la desviación estándar y corregir directamente la dirección de impacto, traduciendo directamente el valor medio R a las unidades convencionales de resistencia (kg/cm^2), asigna un número a la medida, e incluso puede transferir todos los datos a documentos digitales a través de un PC. Un ensayo de evaluación realizado por el BAM en Berlín ha demostrado que el Esclerómetro Digital Silver Schmidt presenta menos dispersión que el martillo clásico mecánico.

Existen dos modelos: Modelo N (Energía de impacto estándar). Para objetos de ensayo con un espesor mínimo de 100 mm y estar firmemente fijado en la estructura.

Modelo L (Baja energía de impacto), apropiado para objetos frágiles o estructuras de menos de 100 mm de espesor.

Las ventajas del esclerómetro digital son las siguientes:

- El valor del rebote (Q) es mostrado directamente en pantalla con una precisión de 0.5 unidades, lo que elimina el error de aproximación que se utiliza en los ábacos impresos del esclerómetro manual.
- El valor del rebote (Q) es independiente de la dirección del impacto, esto no ocurre con el esclerómetro manual, en el cual hay que aplicar algunos factores de corrección.
- Puede almacenar los valores de varios ensayos y resumirlos con estadísticas descriptivas.
- Permite utilizar otras curvas de correlación grabadas en función a las características de las mezclas de una región específica
- El punzón de impacto está hecho de una aleación aeroespacial adaptada a las propiedades elásticas del hormigón y equipado con un capuchón de acero templado que lo protege de daños por golpes

Número de rebote (R, Q): Es un valor adimensional que relaciona la dureza del concreto con su resistencia a la compresión de modo experimental. Estos valores oscilan entre 10 y 70 y se los correlaciona experimentalmente con el f'_c de una masa de concreto. Este valor se obtiene midiendo la velocidad de impacto y de rebote inmediatamente antes y después del impacto. En los esclerómetros digitales este valor de R ya no es necesario corregirlo en función al ángulo de inclinación.

Dependiendo del tipo de equipo, los esclerómetros tienen ecuaciones de correlación que son válidas para sus países de origen, lo que hace que estas no se puedan aplicar directamente en un ensayo determinado para alguna región.

Probetas: Las probetas son muestras de concreto que se utilizan para realizarle ensayos mecánicos. Por lo general se realizan en moldes metálicos cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura rígidos, indeformables y no absorbentes untados en aceite mineral que no ataque al cemento y evite su adherencia.

Si la relación entre la longitud de la probeta y su diámetro (L/D) es menor que 1.75 la resistencia a la compresión de la probeta se deberá corregir de acuerdo a la tabla indicada en la norma técnica

Resistencia a la compresión: Es la medida máxima de resistencia a carga axial del concreto generalmente expresada en Kg/cm^2 , y medida a los 28 días de curado. Se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo entre el área de la superficie de contacto. Este valor es usado como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado y colocación del concreto.

Slump: Es un método de evaluación para medir la consistencia del concreto y su capacidad de adaptarse con facilidad al encofrado que lo va a contener. Mide la trabajabilidad del concreto. Este ensayo fue ideado por el investigador norteamericano Abrams y consiste básicamente en rellenar un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, en tres capas apisonadas con 25 golpes de varilla pisón y, luego de retirar el molde, medir el asentamiento que experimenta la masa de concreto colocada en su interior. Esta medición se complementa con la observación de la forma de derrumbamiento del cono de hormigón.

Para obtener una interpretación uniforme presento un vocabulario en el que figuran términos que pueden tener varias acepciones en el lenguaje común, con el fin de que sean entendidos de acuerdo con la definición que se expone.

2.6. Hipótesis

Sera posible establecer una relación en la Resistencia del Concreto entre los ensayos destructivos y no destructivos con el Índice de Rebote.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Recursos humanos

- 02 Tesista.
- 01 Asesor de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la UNSM-T.
- 01 Técnico del laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos (FICA-UNSM).

3.1.2. Recursos materiales

- Esclerómetro.
- Equipo de Ultrasonido.
- Briquetas.
- Materiales para los ensayos de laboratorio.
- Materiales de impresión (papel bond A4, tinta para impresora).
- Libros y artículos científicos de consulta.
- Materiales de almacenamiento de datos (CD, USB).

3.1.3. Recursos de equipos

- Equipos para la obtención de muestras (palanas, poseadora, sapapicos).
- Cámara digital.
- Equipos para los ensayos de laboratorio.
- Laptop Toshiba.
- Impresora.

3.1.4. Otros recursos

- Software Microsoft Word versión 2013.
- Software Microsoft Excel versión 2013.
- Software Microsoft Power Point versión 2013.
- Software Autocad version 2017.
- Navegador de Internet (Google Chrome).
- Movilidad hacia la zona de estudio.

3.2. Metodología

3.2.1. Universo y Muestra

a. Universo o Población

El universo está conformado por las briquetsa a ensayarse.

b. Muestra

La muestra es el subconjunto, o parte del universo o población, el número de probetas a ensayarse será de 36.

3.2.2. Sistema de variables

Hernández, Fernández y Baptista afirman: Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse, se aplica a hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida.

a. Variable Independiente

El concreto conformado por cemento agregados y agua.

b. Variable Dependiente

Resisetncia del Concreto.

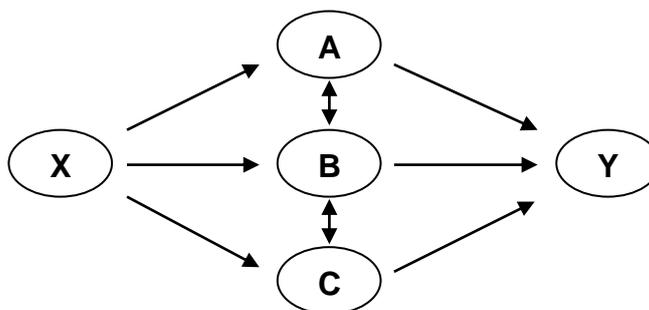
3.2.3. Diseño de la investigación

a. Tipo y nivel de investigación

La investigación a realizar es de tipo Descriptivo-Aplicada.

b. Diseño de investigación

El diseño de investigación es No Experimental-Transversal.



X: Concreto Elaborado en Laboratorio.

- A: Exploración de campo.
- B: Ensayos de laboratorio.
- C: Cálculo del Índice de Rebote.
- Y:

3.2.4. Diseño de instrumentos

a. Fuentes

- Para investigación documental se utilizó: textos, libros y revistas de la Biblioteca Especializada de la FICA y Biblioteca Central de la UNSM, libros y revistas especializadas particulares, proyecto de tesis e informes de ingeniería relacionados al tema y también se empleó la biblioteca virtual (INTERNET), normatividad y Reglamentos.
- Resultados obtenidos del laboratorio de Mecánica de Suelos de la FICA-UNSM.

b. Técnicas

- Se utilizó las técnicas de observación, para la exploración del terreno.
- Investigación de datos geológicos.
- Plano topográfico a curvas de nivel.
- Realización de calicatas (exploración de suelos).
- Ensayos de laboratorio.
- Análisis de datos, para el cálculo de la capacidad portante.

c. Instrumentos

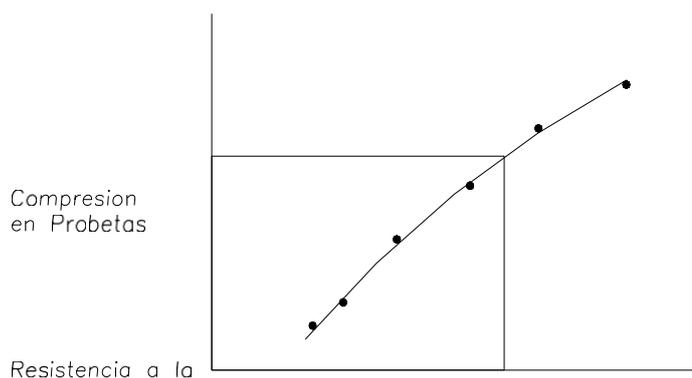
- Se utilizó diversos softwares para procesar la información y obtener los resultados finales.

3.2.5. Revisión de métodos

El objetivo de las pruebas in situ es estimar características del concreto en la estructura. La característica deseada es muy a menudo la fuerza compresiva. Para hacer una estimación de la fuerza, es necesario tener un lazo conocido entre el resultado de la prueba in situ y la fuerza del concreto. Para una construcción en ejecución, este lazo se establece generalmente empíricamente en el laboratorio.

Para la construcción existente, el lazo es establecido generalmente realizándose estas pruebas in situ en las localizaciones seleccionadas en la estructura y determinando la fuerza de los especímenes obtenidos de las perforaciones de localizaciones adyacentes.

La Figura. 2,1 es un diagrama esquemático de un lazo de la fuerza, en las cuales la fuerza compresiva del cilindro se traza en función del resultado de la prueba in situ. Este lazo sería utilizado para estimar la fuerza del concreto en una estructura basada en el valor del resultado de la prueba in situ obtenido de probar la estructura.



Valores tomados en Campo.

Figura 35. Diagrama esquemático de valores de Resistencia.

La exactitud de la predicción de la fuerza depende directamente del grado de correlación entre la fuerza del concreto y de la calidad medida por la prueba in situ.

El propósito de este capítulo es explicar los principios subyacentes del uso de estos métodos, e identificar los factores, con excepción de la fuerza del concreto, que pueden influenciar los resultados de la prueba. La información de fondo adicional sobre estos métodos está disponible en las siguientes referencias.

Malhotra (1976), de Bungey (1989), y de Malhotra y de Carino (1991).

Discutiremos los métodos siguientes:

- Prueba del martillo de rebote.
- Prueba de Resistencia a la penetración
- Prueba de la extracción.
- Prueba de la Ruptura

- Velocidad de pulsos ultrasónicos.
- Extracción de núcleos
- Cilindros moldeados en el lugar.

3.2.6. Prueba del martillo de rebote (ASTM C 805)

Se han hecho muchos intentos de crear pruebas no destructivas, pero muy pocas de ellas han sido realmente exitosas. Un método para el que se ha encontrado aplicación práctica dentro de un campo limitado es la prueba del martillo de rebote, desarrollada por Ernst Schmidt. También se conoce como la prueba de martillo de impacto o *Esclerómetro*.

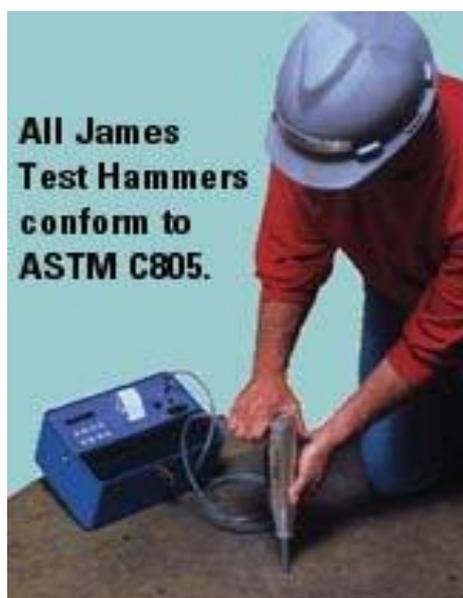


Figura 36. Representación de ensayo con el Martillo de Rebote.

La prueba está basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa. En la prueba del martillo de rebote, una masa impulsada por un resorte tiene una cantidad fija de energía que se le imprime al extender el resorte hasta una posición determinada; esto se logra presionando el émbolo contra la superficie del concreto que se quiere probar. Al liberarlo, la masa rebota del émbolo que aún está en contacto con el concreto y la distancia recorrida por la masa, expresada como porcentaje de la extensión inicial del resorte, es lo que se llama número de rebote y es señalado por un indicador que corre sobre una escala graduada. El número de rebote es una medida arbitraria, ya que depende de la energía almacenada en el resorte y del volumen de la masa.

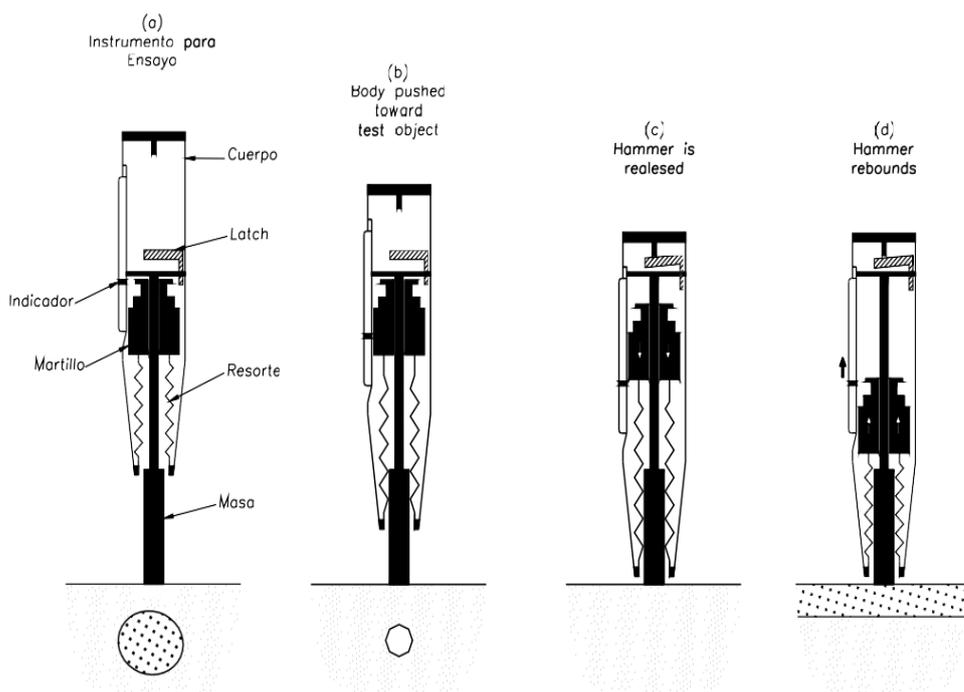


Figura 37. Mecanismo de funcionamiento del martillo de Rebote.

El martillo tiene que utilizarse sobre una superficie plana, de preferencia cimbrada; por lo tanto, no es posible probar concreto de textura abierta. Las superficies llanadas deben frotarse hasta que queden lisas. Cuando el concreto a prueba no forma parte de una masa mayor, debe sujetarse firmemente, pues los golpes durante la prueba pueden dar como resultado una disminución del número de rebote registrado.

La prueba es sensible a variaciones locales en el concreto; por ejemplo, una partícula grande de agregado inmediatamente debajo del émbolo daría como resultado un número de rebote anormalmente elevado; por el contrario, la presencia de un vacío en el mismo lugar daría un resultado demasiado bajo. Por esta razón, es recomendable tomar 10 o 12 lecturas bien distribuidas en el área puesta a prueba y considerar un valor promedio como representativo del concreto. El error estándar de la media es más elevado que cuando la resistencia se determina mediante la prueba de compresión, pero el ahorro en esfuerzo, tiempo y costo es considerable.

El émbolo siempre debe estar en posición normal respecto a la superficie del concreto a prueba, pero la posición del martillo respecto a la vertical afecta el número de rebote. Esto se debe a la acción de la gravedad sobre el recorrido de la masa en el martillo. Así pues, el número de rebote de un piso será menor que el de una viga peraltada, y las superficies inclinadas y verticales rendirán valores intermedios.

La prueba determina, en realidad, la dureza de la superficie del concreto y, aunque no existe una relación especial entre la dureza y resistencia del concreto, puede determinarse relaciones empíricas para concretos similares curados de tal manera, que tanto las superficies probadas con el martillo y las regiones centrales, cuya resistencia es lo importante, tengan la misma resistencia. Los cambios que afectan sólo a la superficie del concreto, tales como el grado de saturación en la superficie o la carbonización, serían engañosos en lo que respecta a las propiedades del concreto dentro de la estructura. (Gráfico 5.)

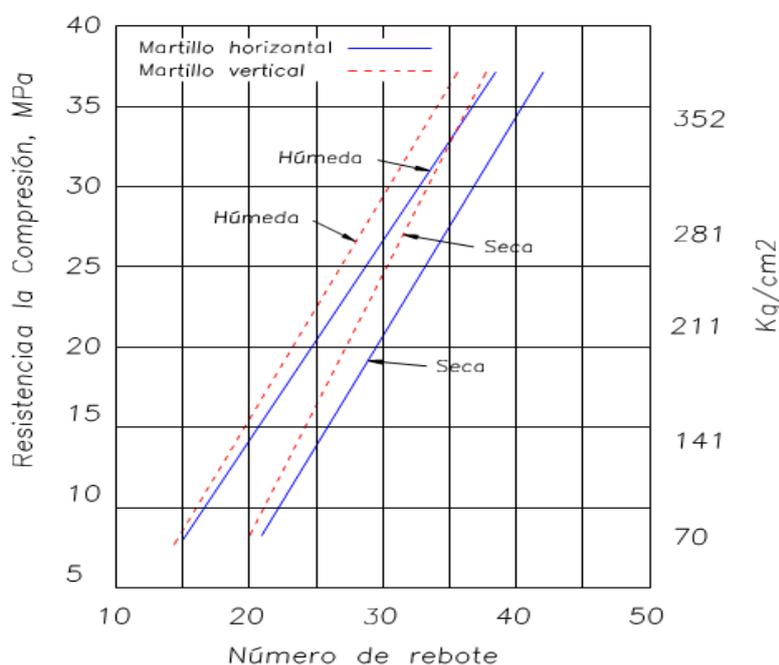


Gráfico 5. Relación entre la resistencia a la compresión de los cilindros y el número de rebote, para lecturas del martillo en posición horizontal y vertical, sobre una superficie de concreto húmeda y seca.

El tipo de agregado empleado afecta el número de rebote, (Gráfico 6) por lo que la relación entre el número de rebote y la resistencia deben determinarse experimentalmente para cada concreto utilizado en la obra.

Se puede observar, entonces, que la prueba es sólo de naturaleza comparativa, y que las aseveraciones de los fabricantes acerca de que el número de rebote puede convertirse directamente en un valor de la resistencia a la compresión no están justificadas.

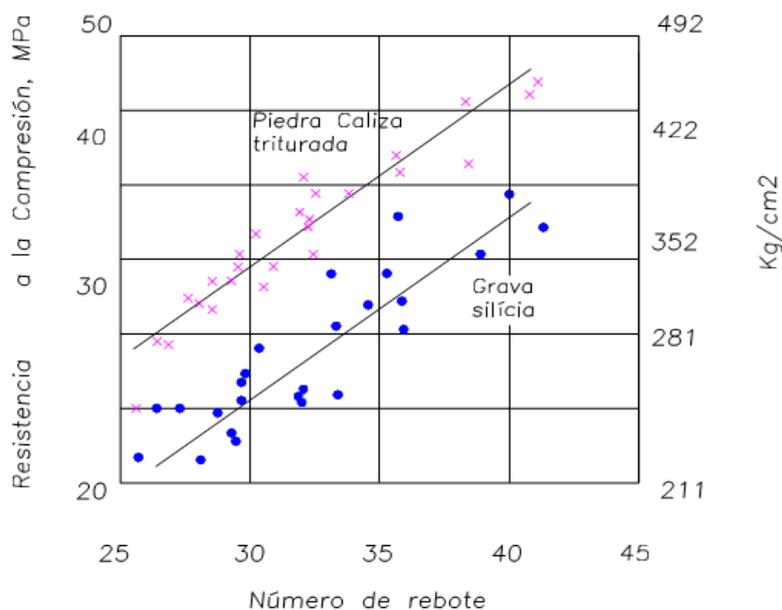


Gráfico 6: Relaciones entre a la resistencia a la compresión y el número de rebote en cilindros elaborados con distintos agregados. Las lecturas se han tomado en el costado de un cilindro con el martillo en posición horizontal.)

3.2.7. Prueba de resistencia a la penetración (ASTM C 803)

Una prueba conocida comercialmente como la prueba de la sonda de Windsor calcula la resistencia del concreto a partir de la profundidad de la penetración de una varilla metálica impulsada por una carga estipulada de pólvora. El principio en que se funda es que, para condiciones estándar de prueba, la penetración es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión del concreto, pero la relación depende de la dureza del agregado. Así pues, tiene que determinarse la dureza del agregado en la escala de Moh, pero esto no representa dificultad alguna.



Figura 38. Instrumentos para ensayo Prueba de Penetración.



Figura 39. a, b y c. Mecanismos de ensayo prueba de Penetración.

Existen gráficas de resistencia contra penetración (o longitud expuesta de la sonda) para agregados con dureza de 3 y 7 de la escala de Moh, pero, en la práctica, la resistencia a la penetración debe estar correlacionada con la resistencia a la compresión de muestras estándar para pruebas. En el gráfico 7, se muestra una relación común. Debe recordarse que la prueba mide básicamente la dureza y que no puede proporcionar valores de resistencia absolutos, aunque es muy útil para determinar la resistencia relativa, es decir para hacer comparaciones.

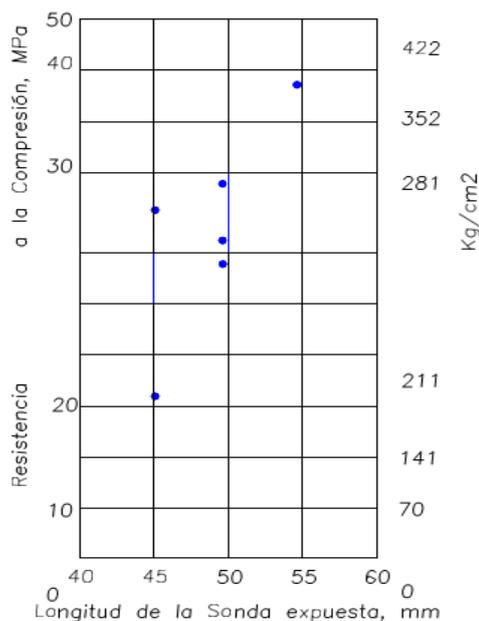


Gráfico 7. Relación entre la longitud expuesta de la sonda y la resistencia de cubos aserrados de 152 mm a la edad de 35 días.

Las sondas se introducen en grupos de tres, cercanos entre sí, y se emplea la penetración promedio para calcular la resistencia. La prueba de resistencia a la penetración puede considerarse casi no destructiva, ya que el daño causado al concreto por las sondas de 6.3 mm sólo es local, y queda la posibilidad de volver a ensayar en las áreas cercanas.

Aún no se dispone de la evaluación completa de la prueba, ya que no se ha aplicado extensamente, pero se dispone de un método de ASTM C 803. Es probable que la prueba de la resistencia a la penetración llegue a sustituir en menos en parte, a la prueba del martillo de rebote, a la que es superior en muchos aspectos, ya que la medición no sólo se lleva a cabo en la superficie del concreto, sino también a profundidad: de hecho, la sonda fractura el agregado y comprime el material dentro del cual se introduce.

3.2.8. Prueba de extracción (ASTM C 900)

Es una prueba que mide, mediante un ariete de tensión, la fuerza requerida para desprender una varilla de acero, con un extremo de mayor sección transversal previamente empotrada generalmente de 25 mm de diámetro (Figura 40). Durante la operación se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello está relacionada con la resistencia a la compresión del concreto original. La norma ASTM C 900 prescribe el método de prueba, pero aún no se dispone de información adecuada sobre la confiabilidad de la prueba.

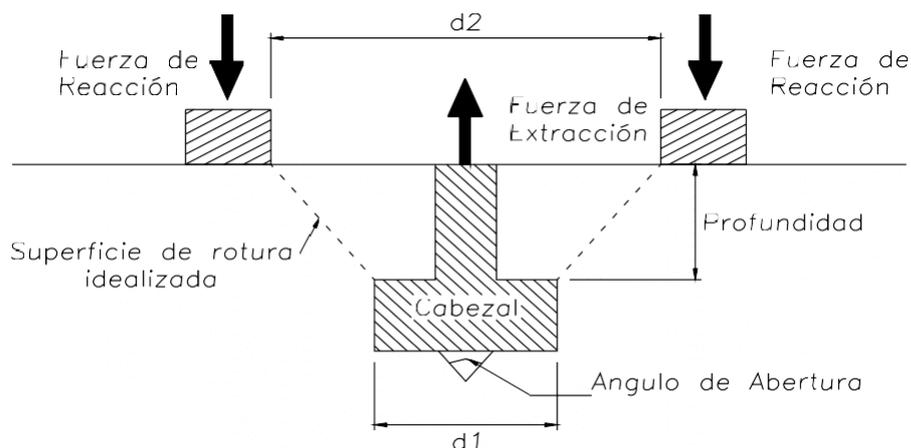


Figura 40. Representación Esquemática de la prueba a la Extracción



Figura 41: Equipo para la Prueba de Extracción.

No obstante, en Dinamarca, la prueba de extracción (conocida comercialmente como Lok-test) ha sido aplicada exitosamente.

Debido a su forma, la varilla de acero se arranca adherida a un trozo de concreto, éste último de forma troncocónica. La resistencia a la extracción se calcula como la relación de la fuerza de extracción con el área idealizada del cono truncado. En realidad, el concreto está sometido a tensión y a cortante, pero según Malhotra la resistencia a la extracción calculada se aproxima mucho a la resistencia al cortante del concreto.

La relación de la resistencia a la extracción con la resistencia a la compresión disminuye ligeramente al incrementarse el nivel de resistencia, pero para una resistencia dada, es

independiente de la edad (Gráfico 8).

No es necesario llevar la prueba de la extracción hasta su término; es posible que baste con aplicar una fuerza determinada a la varilla empotrada y, si no se desprende, suponer que existe la resistencia dada.

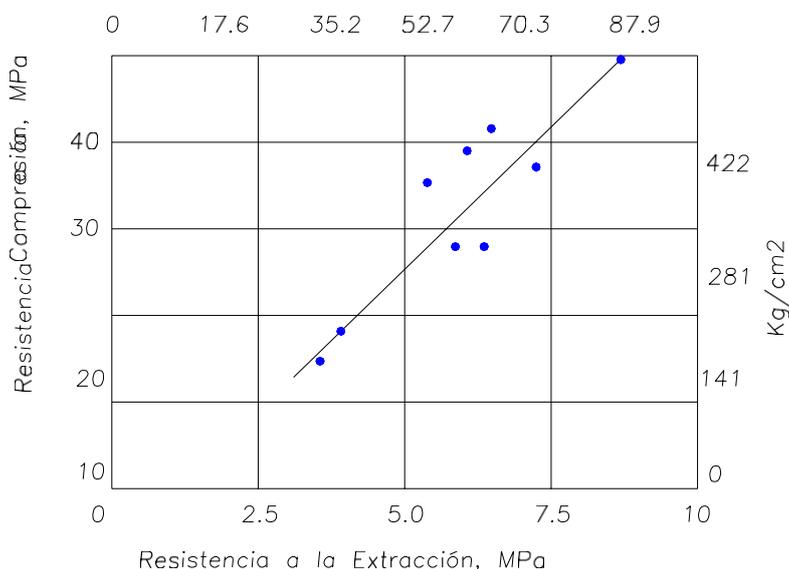


Gráfico 8. Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a extracción en cilindros estándar

De acuerdo con Malhotra la prueba de extracción es superior a la prueba del martillo de Schmidt y a la de resistencia a la penetración, pues la de extracción implica mayor volumen y mayor profundidad de concreto. El aspecto negativo es que hay la necesidad de reparar el concreto.

Además, las varillas para la prueba deben situarse antes del vaciado, por lo que la prueba debe ser planeada de antemano. Recientemente se ha intentado desarrollar una prueba de extracción empleando un elemento de acero fijado en un agujero taladrado en el concreto endurecido.

Están proliferando las pruebas que implican la remoción de un fragmento del concreto. En la prueba de desprendimiento es posible determinar la resistencia del concreto a la flexión en una sección transversal circular paralela a la superficie del concreto. La sección está formada por un tubo endurecido en el concreto fresco. Se utiliza un gato para aplicar una fuerza transversal al elemento que se va a romper.

Se ha obtenido una buena correlación con el módulo de ruptura, pero la resistencia al

desprendimiento es más elevada. *Se asegura que esta prueba es particularmente útil en concreto joven, pero la variabilidad es considerable. Asimismo, hay dificultades para introducir el tubo en la mezcla rígida.*

Un logro de los ingleses es una prueba de extracción en la que se emplea un ancla de cuña sometida a torsión; la torsión máxima parece estar relacionada con la resistencia a la compresión del concreto.

3.2.9. Prueba de ruptura (ASTM C 1150)

La prueba de Ruptura muestra las medidas de la fuerza requerida para cortar una base cilíndrica de una masa de concreto más grande (Johansen 1979). Se utilizan la fuerza medida y un lazo preestablecido de la fuerza para estimar la fuerza compresiva sobre el terreno. Los procedimientos estándares para usar este método se dan en ASTM C 1150. Un diagrama esquemático de la prueba de ruptura se muestra en la Figura 42. Para una nueva construcción, la base es formada insertando una funda plástica en la superficie del concreto fresco. Las fundas también se pueden asociar a las caras del encofrado y luego llenar durante la colocación del concreto.

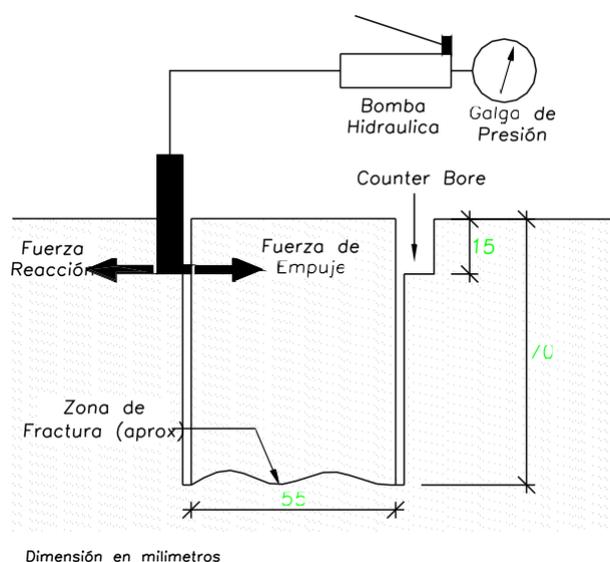


Figura 42. Esquema de funcionamiento del Ensayo de la Prueba de Ruptura.

Alternativamente, los especímenes de la prueba se pueden preparar en concreto endurecido usando un dígito binario especial de la base para cortar la base y el alesaje contrario. Así la prueba de ruptura puede ser utilizada para evaluar el concreto en la nueva y existente construcción.

Cuando debe ser estimada la fuerza compresiva sobre el terreno, se quita la funda, y un gato especial de carga se coloca en el alesaje contrario. Una bomba provee el líquido hidráulico al gato que aplica una fuerza horizontal a la tapa de la base según lo mostrado en la Figura 42. La reacción a la fuerza horizontal es proporcionada por un anillo que lleve contra el alesaje contrario.

La fuerza en la base es aumentada gradualmente funcionando la bomba hasta la ruptura del espécimen en su base. La presión del líquido hidráulico se mide a través de una galga de presión que tiene un indicador que logra mostrar la máxima presión alcanzada durante la prueba. La lectura máxima de la galga de presión en unidades de barras (1 barra = 0,1 MPa (14,5 Psi) se llama *Ruptura del Concreto*.

Para reducir la interferencia entre la funda, el tamaño máximo del agregado en el concreto se limita a una fracción del diámetro de la funda. Según ASTM C 1150, la prueba de ruptura no se recomienda para el concreto que tiene un agregado grueso con tamaño máximo nominal mayor de 1 pulg. (25 milímetros).

Hay evidencia de que la variabilidad de los resultados de la prueba de ruptura se ve influenciada por los aumentos en los tamaños de agregados más grandes. La inserción de la funda se debe realizar cuidadosamente para asegurar la buena compactación alrededor de la funda y de un mínimo de disturbio en la base del espécimen formado.

Algunos problemas han estado señalados en proteger las fundas de la flotación de las mezclas de concreto muy fluidas (Naik et al. 1987). Así como la prueba de la extracción, la prueba de la ruptura, hace referencia acerca de la aplicación de la fuerza y aduce que esta fuerza debe ser aplicada muy lentamente para tomar las características estáticas de la fuerza del concreto. La base se carga como voladizo, y el concreto en la base del espécimen está conforme a una combinación de flexión y del esquileo.

En el trabajo temprano de (Johansen 1979), los resultados de la prueba de ruptura fueron señalados como la fuerza de rompimiento, computada como la tensión flexional en la base del espécimen que correspondía a la última fuerza que se aplicó a la base. Este acercamiento requirió una curva de calibración para convertir lo leído en la galga de presión para una fuerza, y asumió que la distribución de la tensión se podría calcular por una fórmula de flexión simple.

En ASTM C 1150, la fuerza flexional no se computa, y el número de la ruptura (lectura de la galga de presión) se relaciona directamente con la fuerza compresiva. Este acercamiento simplifica análisis de datos, pero sigue siendo esencial calibrar el instrumento que será utilizado para ensayar la estructura, para asegurar que las lecturas de la galga correspondan a las fuerzas reales aplicadas a los especímenes.

Ha estado señalado que la fuerza de flexión computada basada en la prueba de ruptura es cerca de 30% mayor que el Módulo de Ruptura obtenido por la Prueba de la Viga Estándar (Johansen 1979; Yener y Chen 1985).

Se ha encontrado que las relaciones entre la fuerza de Ruptura y la fuerza a la compresión no son lineales (Johansen 1979, Barker y Ramírez 1988), por tanto, esto, está de acuerdo con la práctica que generalmente relaciona el Módulo de Ruptura del concreto con una potencia de la Fuerza a la compresión.

También se ha encontrado que el lazo entre la fuerza de ruptura y el módulo de ruptura puede ser más incierto que entre la fuerza de ruptura y la fuerza compresiva (Barker y Ramírez 1988).

La prueba de ruptura se ha utilizado con éxito en una variedad de proyectos de construcción en los países escandinavos, (Carlsson et al. 1984). Además de su uso para estimar la fuerza compresiva sobre el terreno, el método también se ha utilizado para evaluar la fuerza en enlace entre el concreto y los materiales de recubrimiento (Dahl- Jorgenson y Johansen 1984).

3.2.10. Velocidad de pulsos ultrasónicos (ASTM C 597)

Las pruebas tradicionales de resistencia del concreto se practican sobre especímenes especialmente preparados que, por su forma, no son verdaderamente representativos del concreto de la estructura real. Prueba de esto es que el grado de compactación del concreto de la estructura no se refleja en los resultados de la prueba de resistencia, y no es posible determinar si la resistencia potencial de la mezcla, como lo indica la prueba del cilindro o del cubo, se ha desarrollado en realidad. Ciertamente es posible cortar una muestra de la misma estructura, pero esto da necesariamente como resultado el daño al elemento afectado; además, este procedimiento es demasiado costoso para aplicarlo como método estándar.



Figura 43. Se presenta el instrumento que toma los pulsos de Ultrasonido.

Por estas razones, se ha intentado medir de manera no destructiva alguna propiedad física del concreto relacionada con su resistencia. Se ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el concreto. No existe ninguna relación especial entre esta velocidad y la resistencia del concreto, pero, en condiciones específicas, las dos cantidades se relacionan directamente.

El factor común es la densidad del concreto: un cambio en la densidad del concreto da como resultado un cambio de la velocidad de pulso. De manera similar en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente. Así pues, un descenso en la densidad causado por un incremento en la relación agua cemento debe disminuir tanto la resistencia la compresión como la velocidad de un pulso a través de éste.

La prueba ultrasónica de la velocidad del pulso, según lo prescrito en ASTM C 597, determina la velocidad de la propagación de un pulso de energía vibratoria a través de un miembro de concreto. El principio operacional del equipo moderno de prueba se ilustra en la Figura 44. Un transductor envía una onda de corta-duración, señal de alto voltaje a un transductor de recepción, haciendo el transductor vibrar en su frecuencia resonante. En el comienzo del pulso eléctrico, se enciende con un temporizador electrónico. Las vibraciones del transductor se transfieren al concreto a través de un líquido viscoso como acoplador.

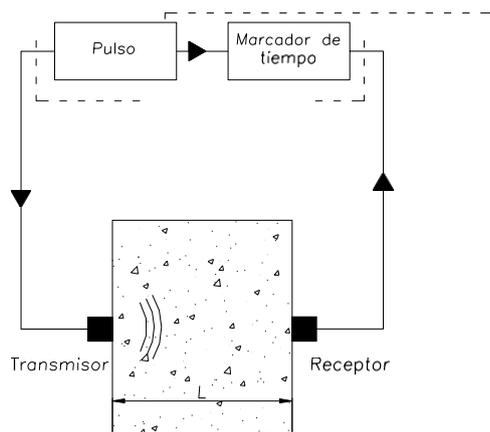


Figura 44: Esquema del equipo de ensayo de pulsos ultrasónicos.

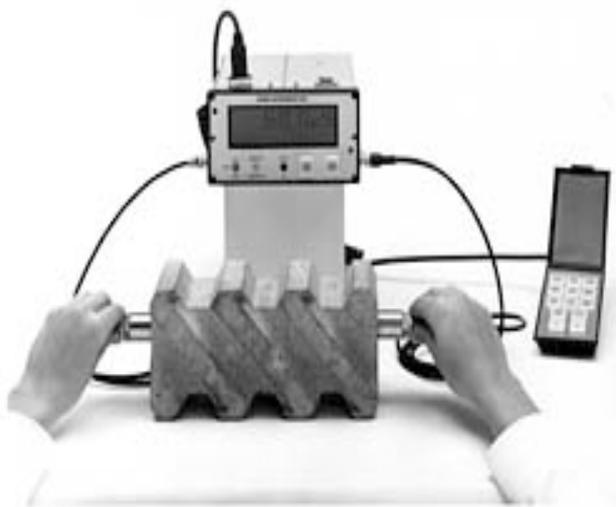


Figura 45. Esquema de ensayo.

El pulso vibratorio viaja a través del miembro y es detectado por un transductor de recepción juntado a la superficie opuesta del concreto. Cuando se recibe el pulso, el temporizador electrónico se da vuelta y se visualiza el tiempo transcurrido del recorrido.

La longitud de camino directa entre los transductores se divide por el tiempo del recorrido para obtener la velocidad del pulso a través del concreto. Es también posible medir la atenuación del pulso ultrasónico pues viaja del transmisor al receptor. (Teodoru 1988).

3.2.11. Cilindros moldeados in situ. (ASTM C 873)

Esta es una técnica para obtener especímenes cilíndricos de concretos de losas recientemente vaciadas sin la necesidad de perforar para obtener muestras. El método se

describe en ASTM C 873 e implica el usar un molde, según lo ilustrado en la figura 46. La funda externa se clava al encofrado y se realiza esto para utilizar un molde cilíndrico. La funda se puede ajustar según los diversos espesores de la losa. Se llena cuando se vacía el concreto en la losa, y el concreto en el molde se permite curar junto con la losa.

El objetivo de la técnica es obtener una muestra de prueba que se ha sujetado a la misma historia termal que el concreto en la estructura. Cuando se desea saber la fuerza sobre el terreno, el molde se quita de la funda y se elimina del cilindro de concreto. El cilindro se cápsula y se prueba en la compresión.

Para los casos en los cuales la relación de transformación del longitud-diámetro de los cilindros es menos de dos, las fuerzas compresivas medidas necesitan ser corregidas por los factores en ASTM C 42.

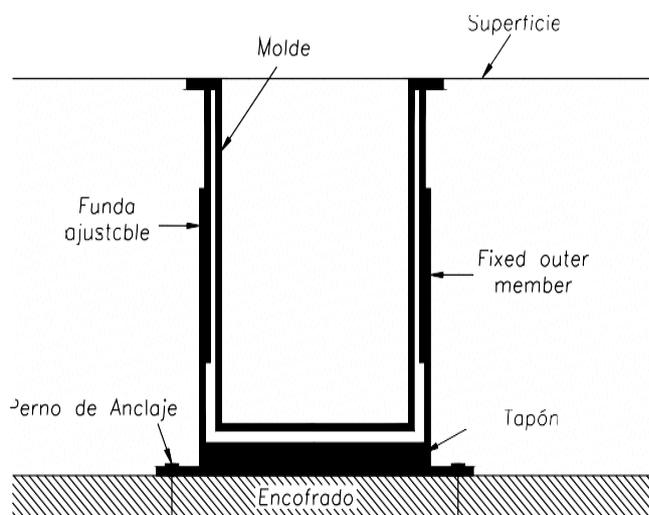


Figura 46. Esquema de ensayo para cilindros moldeados in situ.

3.2.12. Métodos combinados

El término “Método combinado” se refiere al uso de dos o más métodos sobre el terreno como una prueba para estimar la fuerza del concreto. Combinando resulta más de una prueba sobre el terreno, se puede establecer una correlación multi-variable para estimar la fuerza.

Los métodos combinados están señalados para aumentar la confiabilidad de la fuerza

estimada. El concepto subyacente es que, si los dos métodos son influenciados de diversas maneras por el mismo factor, su uso combinado da lugar a un efecto que cancela esto y que mejore la exactitud de la fuerza estimada.

Por ejemplo, un aumento en velocidad del pulso por los aumentos del contenido de agua, pero disminuye el número del rebote. Los métodos combinados fueron desarrollados y se han utilizado en Europa Oriental para evaluar la fuerza del concreto en las construcciones existentes o en los elementos prefabricados. (Facaoaru; Teodoru 1986, 1988).

Las combinaciones tales como velocidad del pulso y número de rebote (o velocidad del pulso, número del rebote, y atenuación del pulso) han sido reportados a dar lugar a lazos de fuerza con coeficientes de correlación más altos que cuando los métodos son utilizados individualmente. Sin embargo, las mejoras han sido por lo general, solamente marginales. (Tanigawa et al. 1984; Samarin y Dhir 1984; Samarin y Meynink 1984; Teodoru 1988).

Se acentúa que la combinación de métodos no es un extremo en sí mismo. Un método combinado se debe utilizar en esos casos donde está la manera más económica de obtener una estimación confiable de la fuerza del concreto (Leshchinsky 1991). En Norteamérica, el uso de métodos combinados ha despertado poco interés entre investigadores y médicos. Como resultado, no ha habido esfuerzos de desarrollar los estándares de ASTM para su uso.

3.2.13. Resumen

Se han repasado los métodos que se pueden utilizar para estimar la fuerza del concreto in situ. Mientras que se han propuesto otros procedimientos (véase Malhotra 1976; Bungey 1989; Malhotra y Carino 1991), la discusión se ha limitado a esas técnicas que se han estandarizado por los métodos de prueba de ASTM.

Tabla 8**Funcionamiento relativo acerca de las pruebas In Situ**

Método de Prueba	Código ASTM	Construcción Proyecto	Construcción Existente	Facilidad de uso
Prueba del Martillo de Rebote	C 805	+	+	++
Resistencia a la Penetración	C 803	+	+	++
Prueba de la Extracción.	C 900	++	++	+
Prueba de la Ruptura	C 1150	++	++	+
Velocidad del Pulso	C 597	++	+	+
Cilindros moldeados in-situ	C 873	++	N.A	+
Extracción de Núcleos	C 873	++	++	+

(N. A.) Método no aplicable a una construcción existente.

La tabla 8, resume el funcionamiento relativo acerca de las pruebas in situ discutidas en este capítulo en términos de la exactitud de la fuerza y de la facilidad de empleo. La tabla también indica los métodos que son aplicables a la nueva construcción y los que son aplicables a la construcción existente.

Generalmente, esos métodos que requieren el empotramiento de la dotación física se limitan para ser utilizados en la nueva construcción. Un método de prueba que tiene una entrada de " ++ " significa que el método es relativamente fácil de utilizar o que da lugar a estimaciones más exactas de fuerza, comparados con un método de prueba que tenía una entrada de " + ". En general, esas técnicas que implican la proyección de las localizaciones de la prueba y el empotramiento de la dotación física requieren más esfuerzo para utilizarse. Sin embargo, esos métodos también tienden a dar estimaciones más confiables de fuerza.

Estos métodos se basan en medir una característica del concreto que lleven un cierto lazo con la fuerza. La exactitud de estos métodos, en parte, es determinada por el grado de correlación entre la fuerza y la cantidad física medida por la prueba sobre el terreno. Para la evaluación apropiada de los resultados de la prueba, el utilizador debe estar enterado de esos factores con excepción de la fuerza del concreto que puede afectar los resultados de la prueba.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Se ha diseñado un concreto de $f'c$ 210 kg/cm² obteniendo para ello los siguientes resultados:

En Volumen:

a) Materiales

- Cemento Pacasmayo Extraforte Tipo I.

Peso Específico	=	3.11 grs/cm ³
Peso Unitario	=	1,500 kg/cm ³

- Agregado Fino

Procedencia, Arena Cantera Río Cumbaza

Peso Específico	=	2.61 grs/cm ³
Peso Unitario Suelto	=	1,591 Kg/m ³
Peso Unitario Varillado	=	1,697 Kg/m ³
% de Absorción	=	0.90 %
Módulo de Fineza	=	2.40 %
Humedad %	=	1.10 %

- Agregado Grueso

Procedencia Cantera **Río Huallaga (Grava Chancada)**

Tamaño Máximo – 1”

Peso Específico	=	2.67 grs./cm ³
Peso Unitario Suelto	=	1,490 Kg/m ³
Peso Unitario Varillado	=	1,567 Kg/m ³
% de Absorción	=	0.78 %
Humedad %	=	0.40 %

Diseño de mezcla de 210 Kg/cm² Resistencia a los 28 días

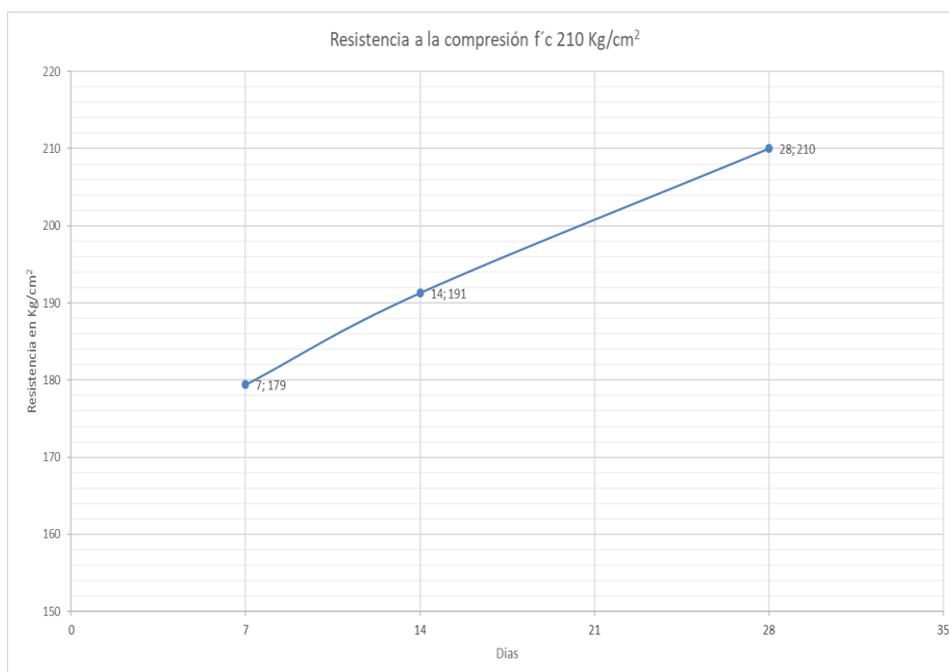
Slump requerido	=	3.7"
Tamaño máximo agregado	=	1"
Volumen unitario de agua	=	193
Relación a/c	=	0.70
Contenido de cemento	=	277 Kg/m ³
Porcentaje de aire	=	1.50%

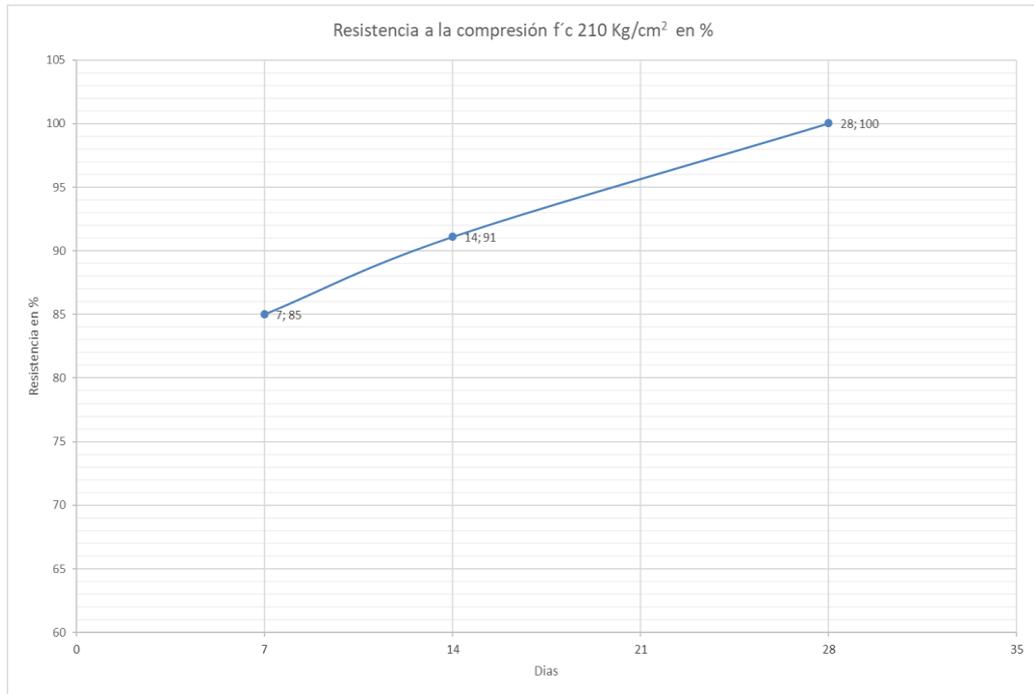
4.1.2. Cantidad de Materiales en Volumen (pies³ por saco) para un concreto de 210 kg/cm²

- Cemento	=	1	p ³ /saco*
- Agua	=	30.00	Lts/saco*
- Agregado Fino	=	2.80	p ³ /saco*
- Agregado Grueso	=	3.80	p ³ /saco*
- Relación en p ³ o bolsa	=	1.00: 2.00:2.70	

4.1.3. Con las proporciones de diseño se han obtenido la siguiente resistencia:

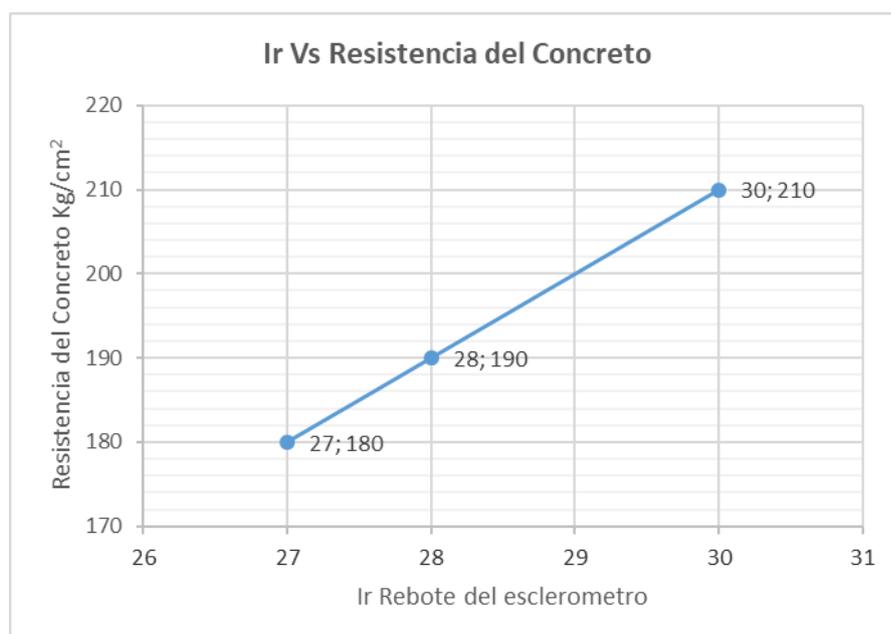
f'c diseño Kg/cm ²	Dias	Resistencia Kg/cm ²	%
210	7	179	85
	14	191	91
	28	210	100





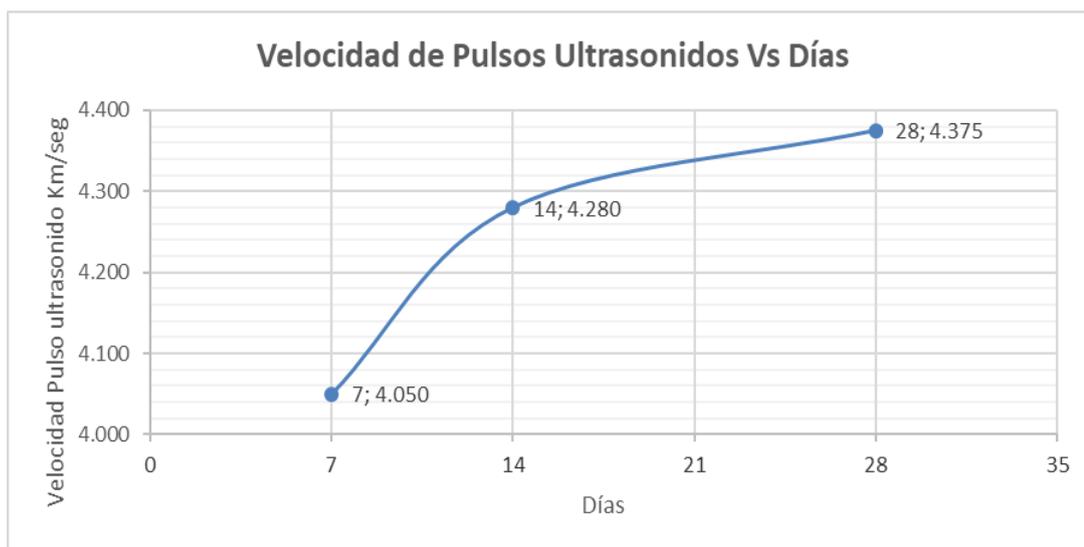
4.1.4. Con las proporciones de diseño se han obtenido la siguiente resistencia con El esclerómetro.

f'c diseño Kg/cm ²	Dias	Rebote Ir	Resistencia	
			Mpa	Kg/cm ²
210	7	27	18	180
	14	28	19	190
	28	30	21	210



4.1.5. Con las proporciones de diseño se han obtenido la siguiente resistencia con el equipo de ultrasonido.

MEDIDA DE PULSOS días	Vel promedio m/seg	Vel promedio Km/seg	Resistencia Kg/cm ²
7	4050	4.050	180
14	4280	4.280	190
28	4375	4.375	210



4.1.6. Resumen final de resistencia del concreto a compresión, esclerómetro y ultrasonido.

f'c Diseño Kg/cm ²	Dias	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			RESISTENCIA CON ESCLEROMETRO			RESISTENCIA CON PULSOS ULTRASONIDO			
		Mpa	Kg/cm ²	%	Ir	Mpa	Kg/cm ²	Sensor	V (m/seg)	V (Km/seg)	Kg/cm ²
210	7	17.9	179	85	27	18	180	200 Hz	4050	4.050	180
	14	19.1	191	91	28	19	190	200 Hz	4280	4.280	190
	28	21	210	100	30	21	210	200 Hz	4375	4.375	210

4.2. Análisis y discusión de resultados

4.2.1. Generalidades

Los reglamentos, a pesar de utilizar criterios diferentes para establecer el rechazo o la aceptación del concreto ejecutado, tienen en común los lineamientos generales de control de calidad que se resumen a continuación:

Las variaciones que se producen en concretos elaborados con una misma dosificación nominal y el mismo equipo de elaboración, se analizan siguiendo el criterio estadístico mediante la curva de distribución normal o gaussiana.

Para determinar la resistencia media de dosificación, partiendo de la resistencia característica especificada para el proyecto, se estima la regularidad en la fabricación del concreto con base a valores mínimos estipulados o valores experimentales de la “desviación normal”, desechando el criterio tradicional del coeficiente de variación.

Se tipifica a los concretos sobre la base de su resistencia característica a la edad de 28 días, definiéndose grados de resistencia; las mezclas de concreto que se destinan para cada tipo de estructura, deberán cumplir con una determinada resistencia característica mínima especificada, es decir, con un grado de resistencia mínimo.

El objetivo de este capítulo, es comprobar y exponer la validez de la velocidad de pulsos de ultrasonido en comparación con la resistencia a la compresión axial en el concreto endurecido.

La hipótesis de partida que se establece en esta investigación, plantea que la velocidad de los pulsos de ultrasonido que viajan en un espécimen de concreto endurecido guarda una relación directa con la resistencia a la compresión axial en el mismo.

El modelo experimental diseñado, para probar la hipótesis de partida, consistió en trabajar los especímenes de concreto con dos variantes las cuales consistían en: variar la edad de ensayo de los especímenes y variar su resistencia a la compresión al final se puede observar que existe una relación marcada entre estos tres procedimientos cuya finalidad es establecer la resistencia de un concreto.

4.2.2. Análisis de resultados de especímenes elaborados en el laboratorio

Presentación de los resultados obtenidos

A continuación, se presentan, los resultados obtenidos, en los siguientes cuadros, en los que se muestran:

- Identificación de los especímenes ensayados. (ver anexo)
- Edad de Ensayo (Días). 7,14 y 28 días
- Resistencia de Diseño (kg/cm^2) f'_{cr} 210 kg/cm^2
- Resistencia Obtenida (kg/cm^2) 210 kg/cm^2
- Ensayo de compresión axial

f'_{c} diseño Kg/cm^2	Dias	Resistencia Kg/cm^2	%
210	7	179	85
	14	191	91
	28	210	100

- Ensayo de Esclerómetro, índice de rebote (Ensayo de Esclerómetro)

f'_{c} diseño Kg/cm^2	Dias	Rebote Ir	Resistencia	
			Mpa	Kg/cm^2
210	7	27	18	180
	14	28	19	190
	28	30	21	210

- Velocidad de Ultrasonido (km/seg) (Ensayo de Ultrasonido).

MEDIDA DE PULSOS días	Vel promedio m/seg	Vel promedio Km/seg	Resistencia Kg/cm^2
7	4050	4.050	180
14	4280	4.280	190
28	4375	4.375	210

Resultados de Testigos de concreto con Cantos rodados como agregado grueso:

Resultados de testigos de $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$, con una edad de ensayo = 28 días.

Resultados de testigos de $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$, con una edad de ensayo = 14 días

Resultados de testigos de $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$, con una edad de ensayo = 7 días.

Resultados de Testigos con Piedra triturada como agregado grueso:

Resultados de testigos de $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$, con una edad de ensayo = 28 días.

Resultados de testigos de $f'_{c} = 210\text{kg/cm}^2$, con una edad de ensayo = 7 días.

(Tabla 6.6)

Materiales

Cemento

Se utilizó cemento Portland extraforte Tipo I de acuerdo a la norma ASTM C-1157, se considera adecuado para la elaboración de mezclas de concreto, fue el mismo para los concretos.

Agregados

Se ha usados agregados gruesos como piedra chancada de la cantera del rio Huallaga y agregado fino (arena) del rio cumbaza, la dosificación se hizo por mecanismo automático, fueron los mismos para los dos concretos.

Es de aceptación el hecho de que el agregado fino causa un impacto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Estos contienen una mayor superficie específica que los agregados gruesos y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan los agregados. La cantidad óptima y tamaño de agregado grueso para una arena determinada dependerá en su mayoría de las características de esta, sobre todo el módulo de finura (MF).

Agua

Se utilizó en su integridad agua potable de la ciudad universitaria, la cantidad de agua fue controlada por medio de los ensayos de trabajabilidad.

Concretos

Algunas de las causas de variaciones en los métodos de ensayos para juzgar la calidad del concreto son las siguientes:

Procedimientos incorrectos de toma de las muestras de hormigón fresco.

Métodos incorrectos de ejecución de las probetas de hormigón.

Deficiencia de curado y acondicionado de probetas.

Errores relacionados con el ensayo mecánico.

Proporciones

Los concretos evaluados tenían proporción y trabajabilidad iguales y contenido de aire iguales. El proceso de mezclado se realizó en Laboratorio, siendo el mismo para las mezclas elaboradas

Trabajabilidad

Evaluada por el método del cono de Abrams, midiendo el *flow* (escurrimiento) sobre la plancha, de acuerdo a la metodología del estudio fue similar para los concretos.

Temperatura de la mezcla

De acuerdo a los resultados obtenidos el gradiente de temperatura fue normal para los concretos evaluados

Relación a/c

De acuerdo a los resultados obtenidos ha sido el mismo para los concretos elaborados de 0.70.

Contenido de aire

De acuerdo a los resultados obtenidos el contenido de aire ha sido de 1.5%

Tiempos de fraguado

En el proceso de endurecimiento del concreto, se distinguen tres estados:

Lapso anterior al fraguado (aquella en que el concreto puede ser moldeado o remodelado).

Lapso del fraguado (se halla en curso de rigidizarse y no puede ser moldeado sin riesgo de causar daño permanente).

Lapso posterior al fraguado (manifiesta demasiada rigidez y dureza para permitir cualquier manipulación adicional)

De acuerdo a los resultados obtenidos tiene tiempos de fraguado inicial y final de 440 y 595 minutos respectivamente

Estado endurecido

En general para el laboratorio el desarrollo de resistencia mecánica fue regular en el concreto diseñado

Índice de rebote laboratorio

En el ensayo del martillo esclerométrico, se eliminó la humedad superficial de las probetas al dejarlas un período de tiempo fuera de la piqueta antes del ensayo, las condiciones fueron iguales en todos los ensayos. Se aplicaron los

criterios de aceptación y rechazo indicados anteriormente. De acuerdo a los resultados obtenidos el comportamiento con respecto a la edad fue homogéneo.

Resistencia a compresión (ensayo de probetas)

En el ensayo a compresión, si la probeta se encuentra saturada de humedad su resistencia es menor que la de una probeta del mismo ensayo que se encuentre exenta o con baja humedad, esto es debido a la naturaleza de los esfuerzos realizados, en efecto los huecos accesibles que tiene la probeta considerada al estar seca ayudan a mejorar el resultado del ensayo de compresión. Algunas de las causas que afectan la resistencia a compresión del concreto son las siguientes:

- Cambios de la relación agua-cemento, en peso.
- Mal control del contenido de agua en la mezcla.
- Variaciones en el contenido de agua requerido.
- Variaciones en las características y proporciones de los componentes.
- Variaciones en el mezclado.
- Variaciones en el traslado, colocación y compactación.
- Variaciones en temperatura y curado.

El desarrollo de resistencia con respecto a la edad es normal para los concretos evaluados, siendo el f'_{c28} de diseño de **21.00 MPa (210 kg/cm²)**, valor que se alcanzó a los 28 días

Correlación índice de rebote laboratorio vs. resistencia a compresión

Las resistencias proyectadas (edades de 7, 14 y 28 días) se calcularon mediante la aplicación de las ecuaciones de regresión obtenidas con valores correspondientes a las edades de hasta 7 y 28 días, se compararon con las obtenidas en los ensayos de las probetas en laboratorio, los resultados obtenidos para los dos análisis muestran que existe correlación.

CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados al inicio y de acuerdo al estudio experimental desarrollado en los capítulos anteriores, se presentan las siguientes conclusiones relevantes:

El diseño de concreto diseñado con f'_{cr} de 210 kg/cm^2 nos da como resultado

f'_{c} diseño Kg/cm ²	Dias	Resistencia Kg/cm ²	%
210	7	179	85
	14	191	91
	28	210	100

Y la estimación de la resistencia con el método esclerometrico se han obtenido los siguientes resultados

f'_{c} diseño Kg/cm ²	Dias	Rebote I _r	Resistencia	
			Mpa	Kg/cm ²
210	7	27	18	180
	14	28	19	190
	28	30	21	210

Y con el equipo de ultrasonido se han obtenido los siguientes resultados

MEDIDA DE PULSOS dias	Vel promedio m/seg	Vel promedio Km/seg	Resistencia Kg/cm ²
7	4050	4.050	180
14	4280	4.280	190
28	4375	4.375	210

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).

Para la mayoría de casos estudiados (selección de datos), este método de Ensayo no destructivo demostró tener altos Coeficientes de Determinación (r^2), 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 r^2 están comprendidos en un rango de: 0.83 a 0.98.

Entre los modelos de aproximación estadística estudiados, el de mayor éxito, para representar los patrones de comportamiento de concretos con características similares a los del estudio, resultó ser el modelo de aproximación Cúbica. Su efectividad, medida por el error en la estimación de la estimación de la Resistencia con el esclerómetro en base a la medición de la Velocidad de Pulso Ultrasónico, se detalla como sigue:

$$R=2.782*10^2+6.347*10^{-1}*(V-4488.33) + 1.132*10^{-4}*(V-4488.33)^2-1.468*10^{-6}*(V-4488.33)^3$$

y en la relación entre el esclerómetro y ultrasonido

$$y = 0.0603 (x) + 2.5769$$

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.

RECOMENDACIONES

- Para mayor precisión en la determinación del tiempo de propagación del Pulso Ultrasónico (obtenido con el equipo de Ultrasonido), se sugiere realizar 5 mediciones en cruz en la probeta cilíndrica, a manera de cubrir el área de la sección, de esta manera no solo se tendrá un punto como referencia representativa del espécimen en evaluación, tomando en cuenta que el material en estudio es anisotrópico.
- Considerar evaluaciones de testigos a más de 28 días (60 y/o 90 días por ejemplo), a fin de tener un respaldo para confirmar dudas o variaciones sobre resultados a edades posteriores de los controles habituales.
- Para mejorar el nivel de confianza y reducir el porcentaje de error en la estimación de la Resistencia a Compresión, se sugiere considerar un tamaño de muestra mayor en el análisis de datos, como mínimo evaluar 125 resultados (considerando que un resultado es el promedio del ensayo de dos o tres probetas según el tamaño de probeta empleado), con ello se podrá hacer un análisis estadístico representativo y obtener resultados más consistentes.
- En base a trabajo práctico continuo, que complemente y confirme los resultados obtenidos, este estudio puede ser tomado como un documento técnico de referencia para que lo apliquen empresas e instituciones relacionadas con el ámbito de la construcción con concreto
- Conforme se hizo el desarrollo del trabajo experimental se presentaron algunas ideas para la ejecución de estudios futuros, que logren mayores avances en el control de calidad de los concretos mediante el empleo del equipo de Ultrasonido, se recomienda tomar en cuenta los puntos que se mencionan a continuación:
 - Evaluación de la influencia de la presencia de vacíos en la Velocidad de Pulso Ultrasónico (por ejemplo, simulación de cangrejeras).
 - Evaluación de la influencia de las condiciones de humedad del concreto en la Velocidad de Pulso Ultrasónico.

- Evaluación de la influencia de un proceso incompleto de curado en la Velocidad de Pulso Ultrasónico.
- Aplicación práctica del control de Velocidad de Pulso Ultrasónico en relación a la calidad del concreto durante la construcción.
- Localización y determinación de fisuras, vacíos, porosidad o defectos similares en estructuras de concreto.
- Monitoreo del cambio de las propiedades del concreto para una misma estructura en un tiempo prolongado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERRY, P. L. y REID, D. (1993). “Mecánica de Suelos”. Editorial Mg Graw – Hill, primera edición, Argentina.
- BOUSSINESQ, J., (1885). “Application des Potentials a L’Etude de L’Equilibre et du Mouvement des Solides Elastiques”, Gauthier-Villars, Francia,
- BRAJA M., Das, (2001). “Principio de Ingeniería de Cimentaciones”, Thomson Editoriales, cuarta edición, México.
- BRACK E., Antonio y Mendiola V. Cecilia. (2004). “Ecología del Perú”, Editorial Bruño, segunda edición, Perú.
- BPECK, Ralph y otros. (1990). “Ingeniería de Cimentaciones”, Editorial Limusa, segunda edición, México.
- CAMPOS, J. y GUARDIA G., (2005). Tesis de grado: “Apoyo didáctico al aprendizaje de la asignatura Mecánica de suelos I CIV 219”, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- CASAGRANDE, A. (1932). “The Estructure of Clay and Its Importance in Foundation Engineering”, Contributions to Soil Mechanics, J. BSCE, United States.
- CÓRDOVA F, R. (2010). Informe de Ingeniería. “Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación del proyecto de la I.E N° 0101 Luis Walter Alvarado Bartra, Distrito - Chazuta”, Perú.
- DUQUE E., GONZALO y otros. (2002). “Origen, formación y constitución del suelo”, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Colombia.
- HANSEN, J., (1970). “A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity”, Danish Geotechnical Institute, Bulletin 28, Copenhagen, Dinamarca.

- HENÁNDEZ, R. FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (2006). “Metodología de la Investigación”. Editorial McGraw – Hill, cuarta edición, Mexico.
- HERRERA, JR., (2010). Informe de ingeniería: “Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación de una vivienda unifamiliar”, Perú.
- JUÁREZ, E. y RICO, R.A. (1992). “Mecánica de suelos”, Tomo I, Editorial Limusa, tercera edición, Mexico.
- JUÁREZ, E. y RICO, R.A. (1992). “Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos”, Tomo II, Editorial Limusa, tercera edición, México.
- LARA, JL. (1991). Tesis de grado: “Microzonificación Sísmica de las ciudades de Moyobamba, Rioja, Soritor”, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- MARTÍNEZ, Q. EN. (2003). “Manual de mecánica de suelos I”, U.N.S.M, Perú.
- MARTÍNEZ, Q. EN. (2003). (2009). “Manual de mecánica de suelos II”, U.N.S.M., Perú.
- MEYERHOF, G., (1963). “SOME RECENT RESEARCH ON THE Bearing Capacity of Foundations”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 01. N° 01, Canada.
- MEYERHOF, G., y HANNA A., (1981). “Experimental Evaluation of Bearing Capacity of Footings Subjected to Inclined Loads”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 18, N° 04, Canada.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, (2006). “Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.050, Suelos y Cimentaciones”, Diario Oficial “El Peruano”, Perú.
- MUELAS, Ángel. (2008). “Manuela de mecánica de suelos y cimentaciones”, U.N.E.D.M España.
- PULGAR, V. J. (1987) “Geografía del Perú”, Editorial PEISA, novena edición, Perú.

TERZAGHI, Karl Von. (1943). “Theoretical Soil Mechanics”. Wiley. Estados Unidos.

TOMLINSON, M. J., (2002). “Cimentaciones, Diseño y Construcción”. Editorial Trillas, segunda Reimpresión, México.

VALENCIA, G. *et al.* (2013). Estudio experimental para determinar patrones de correlación entre la resistencia a compresión y la velocidad de pulso ultrasónico en concreto simple. Perú: Universidad Católica del Perú.

VESIC, A., (1973). “Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundation”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 99, N° SM1, United States.

SENAMHI – San Martín, (2016). Ficha de información meteorológica – Oficina de Estadística.

MINSA, Dirección Regional de Salud – San Martín, (2016). Reporte Histórico de Estadística e Informática – Oficina de Estadística.

Linkografía

- INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ – MINISTERIO DEL AMBIENTE,
(http://sinpad,indeci.gob.pe/UploadPortalSINPAD/Imágenes/Atlas/IGP/08_zonificacion_sismica.jpg), visita agosto 2016.
- INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO – MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS,
(http://www.ingemmet.gog.pe/publicaciones/serie_a/mapas/14-k.htm), visita agosto 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA,
(<http://censos,inei.gob.pe/cpv2007/tabulados>), visita agosto 2016.
- PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO,
(HTTP://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/corte_directo.pdf), visita en setiembre 2016.
- SCRIB, “DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN EL SUBSUELO”,
(<http://es.scrib.com/doc/56472455/DISTRIBUCION-DE-PRESIONES-EN-EL-SUBSUELO>), visita setiembre 2016.
- LUGARES TURÍSTICOS EN LA REGIÓN SAN MARTÍN,
(http://tarapoto.com/distritos_de_tarapoto/sauce.php#).
(http://tarapoto.com/provincias_de_san_martin/tarapoto.php#), visita marzo 2014.
- PROYECTO ESPECIAL ALTO HUALLAGA – MINISTERIO DE AGRICULTURA,
(http://peah.gob.pe/download/pdf/conocenos/transparencia/plan_estrategico/plan_estrategico_2010.pdf), visita setiembre 2016.
- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONÍA PERUANA,

(http://www.iiap.org.pe/avances/poa/2004/caracteristicas_geologicas_sanmartin.pdf).

- SISMOS EN EL PERÚ - INSTITUTO DE DEFENSA CIVIL,
(<http://www.indeci.gob.pe/objetos/microsite/oq==/nzm=/fil20140926131431.pdf>),
visita setiembre 2016.
- CLASIFICACIÓN POR SUBREGIONES – MESA DE CONCERTACIÓN,
(<http://www.mesadeconcertacion.org.pe/documentos/documentos/San%20martin.pdf>),
visita setiembre 2016.
- CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2007 – INSTITUTO NACIONAL DE
ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA,
(<http://censos.inei.gob.pe/cpv2007/tabulados/#>), setiembre 2016.
- UNIVERSIDAD DE SONORA, RED INSTITUCIONAL BIBLIOTECARIA,
(<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9120/capitulo1.pdf>), visita setiembre 2016.

ANEXOS