

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El constructor trata de controlar la calidad de los hormigones que pone en obra, extrayendo periódicamente probetas de la hormigonera (o de cada partida de hormigón si se trata de hormigonado en central) y mandándolas a romper a los 28 días. Esto no suele darse con la debida frecuencia, el método no ofrece tal seguridad como para poder afirmar que la obra está garantizada contra cualquier falla. El conocimiento de las relaciones entre la resistencia del hormigón acabado y de las probetas, que es de fundamental importancia para dicha seguridad, no es todavía suficientemente profunda y exacta para fines prácticos.

Existen muchos factores que afectan la resistencia a compresión del hormigón desde la selección de materiales hasta el vaciado en la obra, por ejemplo:

Exposición ambiental. Cualquier estructura de hormigón está expuesta a unas acciones de tipo físico o químico que pueden llegar a producir su degradación, bien como consecuencia de la corrosión de la armadura o bien por ataques agresivos directos sobre el propio hormigón.

Acciones físicas. Un hormigón endurecido puede deteriorarse como consecuencia de acciones físicas de naturaleza muy diferentes: **El agua** puede penetrar en el hormigón y si esta se hiela dará lugar a tensiones que podrán destruirlo. Se conoce como ciclos de hielo-deshielo. **Si los áridos** presentan coeficientes de dilatación térmica diferentes al de la pasta, los cambios fuertes de temperatura crearán tensiones reduciendo sus resistencias y destruyéndolos. El **calor de hidratación** del cemento puede ocasionar con el paso del tiempo contracciones y posibles fisuras.

Ataques químicos. La resistencia que presenta el hormigón al ataque químico depende de su permeabilidad y de la distribución y tamaño de sus poros. La agresión química puede hacerse de dos formas fundamentales: a) Disolución de los compuestos fácilmente solubles. b) Por ataque con formación de compuestos insolubles de mayor volumen que los primitivos.

En la determinación de las tensiones permisibles hay varios factores de incertidumbre que deben ser tomados en cuenta, como mencionamos anteriormente; el efecto de la dispersión en la resistencia, tal como se manifiesta en el ensayo con probetas; el efecto de la diferencia entre el valor límite de la tensión en el hormigón a rotura y la resistencia del propio hormigón, determinada de acuerdo con las especificaciones estándar; la influencia de los defectos de puesta en obra, etc. Todo ello nos lleva a la necesidad, cada vez más acuciante, de emplear metodologías como los ensayos no destructivos para determinar la resistencia a compresión del hormigón en servicio en la estructura. (Ortega, 2007, pág. 1)

1.2. El problema

1.2.1. Planteamiento

Durante la ejecución de la obra existen muchos factores que afectan la calidad del hormigón a causa de las condiciones ambientales, los materiales compuestos del hormigón y los sistemas de protección adoptados, etc. Ante la duda de que el hormigón alcance la resistencia a compresión exigida en el diseño estructural, los ensayos no destructivos es una herramienta para poder verificar y constatar en la obra que cumplan los parámetros de calidad.

1.2.2. Formulación

En el planteamiento de este trabajo de investigación surge la siguiente pregunta como punto de partida:

¿Cuánto es la resistencia del hormigón a compresión en los edificios del campus universitario (laboratorio de suelo y bloque de arquitectura), con los valores obtenidos de los equipos de ensayo no destructivo (esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor)?

¿La resistencia a compresión obtenida con los equipos de ensayo no destructivo en la obra, estarán dentro de los parámetros de calidad provisto en la construcción?

1.2.3. Sistematización

Para la sistematización de este trabajo de investigación surgen las siguientes interrogantes para el desarrollo de la misma.

¿Cuáles de las siguientes pruebas es la más adecuada para determinar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del hormigón: Esclerómetro, ultrasonido y/o pistola Windsor?

¿Es la operación del esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor es sencilla o compleja para su ejecución?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar la resistencia a compresión del hormigón en los edificios del campus universitario (laboratorio de suelo y bloque de arquitectura) con los equipos de ensayo no destructivo (esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor) para verificar y constatar en la obra que cumplan los parámetros de calidad previsto en la construcción.

1.3.2. Específicos

- Caracterizar los materiales empleados en la dosificación de las probetas de hormigón para identificar la calidad de los componentes.
- Realizar la dosificación y las mezclas correspondientes para obtener las probetas de hormigón (21, 25 y 30 MPa).
- Aplicar los equipos de ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor) en todas las probetas elaboradas para la calibración de los equipos a utilizar.
- Determinar la resistencia a compresión de las probetas de hormigón para validar los resultados.
- Calcular la regresión y correlación simple y múltiple del ultrasonido, esclerómetro y pistola Windsor con la resistencia a compresión de las probetas de hormigón, para el ajuste y calibración de equipos.
- Aplicar los equipos de ensayo no destructivos (ultrasonido, esclerómetro y pistola Windsor) en las vigas y columnas de los edificios del campus universitario (laboratorio de suelo y bloque de arquitectura).

1.4. Justificación

1.4.1. Teórica

La investigación propuesta busca mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de los ensayos no destructivos, mejorar el control de obra para el cumplimiento de las especificaciones técnicas del hormigón.

1.4.1. Académica

Esta investigación permitirá a los estudiantes conocer los equipos de ensayos no destructivos y la importancia de la calibración para motivar a los estudiantes en el estudio del control de la calidad del hormigón.

1.4.2. Práctica

Los ingenieros estructurales podrán contar con la información necesaria de los equipos de ensayos no destructivos (esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor) y su aplicación, como una opción técnica para el control de la calidad del hormigón en las estructuras.

1.4.3. Social

Las empresas constructoras de Tarija, tendrán un mejor control de calidad en sus obras, brindando mayor seguridad en sus estructuras, y la certeza del cumplimiento de las especificaciones técnicas del hormigón.

1.5. Alcance de la investigación

1.5.1. Hipótesis

General

Los edificios evaluados con los equipos de ensayo no destructivos (en adelante, END) cumplen con el parámetro de calidad (resistencia a la compresión) previsto en la construcción de la obra.

Específicos

- La resistencia a compresión del hormigón obtenida en obra con los equipos de END tiene una variación de más y menos 10% con las especificaciones técnicas del hormigón (resistencia exigida en el diseño estructural).

- La resistencia a compresión obtenida en obra con los equipos de END está dentro del parámetro de la resistencia máxima y mínima del informe de ensayo de muestra de hormigón (probetas testigo de obra) de los edificios del campus universitario (laboratorio de suelo y bloque de Arquitectura)

1.5.2. Resultados a lograr

Aumentar la precisión y exactitud de los equipos de END con las ecuaciones de correlación simple y múltiple de los equipos mencionados, para analizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del hormigón (resistencia exigida en el diseño estructural) de los edificios del campus universitario (laboratorio de suelo y bloque de arquitectura).

1.5.3. Tipo de investigación y/o estudio

El trabajo de investigación consistirá en un estudio del tipo experimental que inicia con la caracterización de la arena, grava y cemento cumpliendo las normas correspondientes de cada ensayo requerido de la norma ASTM para identificar los mejores materiales y hacer una correcta dosificación de las probetas de hormigón.

Una vez caracterizado los materiales se procede a dosificar y elaborar las probetas de hormigón por el método ACI 211, para las probetas de 21, 25 y 30 MPa a distintas edades (3, 5, 7, 10, 14, 21 y 28 días) y para el hormigón de 30 MPa se utilizará un aditivo ViscoCrete 5 800 para mejorar la trabajabilidad del hormigón.

Posteriormente se aplican a todas las probetas los equipos de END empezando por el esclerómetro, ultrasonido y por último la pistola Windsor, en base a la metodología que indica la norma ASTM para el uso correcto de cada equipo mencionado.

Una vez concluido la aplicación de los equipos de ensayo no destructivo se procede a la rotura de las probetas para un análisis e interpretación de los datos para hallar la correlación que más se adecua a cada equipo.

Finalizando la calibración de todos los equipos mencionados se procede a un análisis de los edificios (laboratorio de suelo y bloque de arquitectura para determinar la resistencia a compresión y constatar en la obra que cumplan los parámetros de calidad previsto en la construcción.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Características de los materiales del hormigón

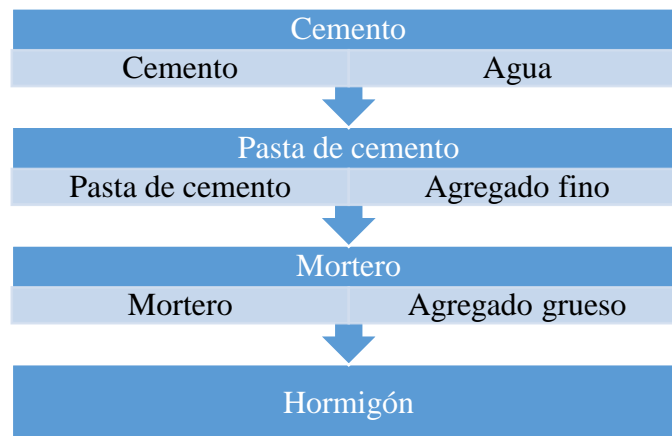
2.1.1. Cementos

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos productos que, amasados con el agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser estables en tales condiciones los compuestos resultantes de su hidratación. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos. (Montoya, 2009, pág. 5)

Muchas especificaciones fijan unos contenidos mínimos de cementos para asegurar un acabado satisfactorio y un control contra posibles bajas de resistencias en el hormigón. Por otra parte, una cantidad excesiva de cemento no solo resulta poco económico, sino que aumenta el riesgo de figuración por retracción y la generación de calor de hidratación. En la práctica no se recomienda utilizar hormigones con contenido de cemento menores de 250 kg/m^3 ni mayores de 550 kg/m^3 . (Giraldo Bolivar, 2006, pág. 13)

El cemento mezclado con distintos componentes (agua, aditivo, arena, grava) podemos tener los siguientes derivados (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Esquema en la elaboración del hormigón



Fuente: Propia

Normalmente el cemento Portland se hidrata con 0.25 kg de agua por cada kilogramo de cemento, es decir, una relación agua/cemento (a/c) de 0.25, pero esta cantidad solo

lo hidrata, no lo hace manejable, es por eso que se suele aumentar la cantidad para darle fluidez. Es aquí donde debemos tener cuidado, pues esta agua de más, al momento de evaporarse, va a dejar vacíos en la zona que ocupó y al final le bajará la resistencia. (Yances, 2013, pág. 1)

2.1.2.1. Resistencia del cemento

La resistencia de un mortero u hormigón depende de la cohesión de la pasta de cemento, de su adhesión a las partículas de los agregados y, en cierto grado, de la resistencia del agregado mismo. Este último no se considera en la etapa, y se elimina en las pruebas de la calidad del cemento mediante el empleo de agregados normalizados. (Neville, 1999, pág. 36)

Cemento El Puente

Este cemento se comercializa en los departamentos de Tarija y Potosí.

El tipo de Cemento El Puente es:

- El Puente IP-30. Cemento especial
- El Puente IP-40. Cemento de alta resistencia

Uso y aplicaciones

El Puente IP-30. Cemento especial

Un cemento de uso y aplicación general donde se requieran valores de resistencia normal, son:

- Elementos estructurales en general (zapatas, columnas, vigas, losas y muros)
- Obras sanitarias en general
- Hormigones masivos
- Hormigones en contacto con agentes agresivos.
- Morteros para todo uso

El Puente es IP-40 cemento de alta resistencia

Se recomienda en obras que requieran altos valores de resistencia iniciales y finales como ser:

- Elementos prefabricados (pretensados, premoldeados y postesados).
- Puentes
- Pavimento rígido
- Hormigón proyectado
- Elementos estructurales que requieran una rápida puesta en servicio. (Adalit, 2017, pág. 6)

2.1.2. Áridos

Porque al menos tres cuartas partes del volumen de hormigón están ocupados por agregado, no es de extrañar que la calidad de este sea de suma importancia. Los agregados no solo pueden limitar la resistencia del hormigón, puesto que agregados débiles no pueden constituir un hormigón resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del hormigón. (Neville, 1999, pág. 75)

Como áridos para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas. Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. No deben emplearse áridos que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas. Tampoco deben emplearse áridos que contengan sulfuros oxidables (estos áridos pueden provenir de canteras que presentan vetas de pirrotina, marcasita o ciertas formas de pirita), dado el gran riesgo existente de que tales sulfuros se oxiden a largo plazo, lo que entraña un gran aumento de volumen y la consiguiente fisuración y cuarteamiento del hormigón. (Montoya, 2009, pág. 25)

No obstante, solo a título informativo puede decirse, que la absorción no debe excederse al 5% del agregado fino ni 3% en agregado grueso.

2.1.2.1. Arena

Es el árido de mayor responsabilidad. A diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad. La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón armado, previo lavado con agua dulce. (Montoya, 2009, pág. 26)

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen de un principio de descomposición. Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos). (Díaz Ayarde, 2005, pág. 17)

2.1.2.2. Grava

Los áridos gruesos son de mayor importancia que afectan en la velocidad de propagación del ultrasonido en el hormigón, mientras más denso es el árido grueso mayor será la velocidad del ultrasonido. La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes del machaqueo.

Las buenas calizas no son rayadas por la navaja, la cual deja tan sólo un ligero trazo sobre su superficie (densidad mayor de 2.6 y resistencia mayor de 100 N/mm²). Las que son rayadas por el latón (densidad menor de 2.3 y resistencia menor de 50 N/mm²) caen fuera de lo admisible. Entre ambas se colocan las que no son rayadas por el bronce. En todos los casos debe realizarse la prueba sobre una superficie plana y con el material totalmente seco. (Montoya, 2009, pág. 26)

En términos generales, la resistencia y elasticidad de los agregados depende de su composición, textura y estructura. Por lo que una baja resistencia puede deberse a la debilidad de los granos que los constituyen, o bien, siendo estos suficientemente resistente, no están bien unidos o cementados unos con otros. (Neville, 1999, pág. 83)

Como afirma el autor Adam M. Neville (1999) “El hormigón hecho con agregado fino por cada metro cúbico tendrá más cemento necesario que un hormigón echo con agregado grueso” (pág. 113).

2.1.2.2.1. Granulometría discontinua

Una buena granulometría es aquella que está constituida por partículas de todos los tamaños, de tal manera que los vacíos dejados por los de mayor tamaño sean ocupados por otros de menor tamaño y así sucesivamente; esto permite obtener un mínimo de vacíos los cuales deberán de ser llenado con pasta de cemento. Para lograr una buena compactación que se traduce en mayor resistencia, durabilidad y economía y en menor riesgo de agrietamiento y menor porosidad del hormigón. También se busca que la granulometría permita y ayude a una adecuada manejabilidad sin segregación y que deje compactar la mezcla de la máxima densidad con un uso moderado de energía; de allí que variaciones en la granulometría puede afectar seriamente la uniformidad del hormigón comparando dos mezclas diferentes. (O'Reilly V. , 1998, pág. 38)

En cuanto a la gradación de un agregado grueso de un tamaño máximo (TM) dado, puede variar dentro de un rango relativamente amplio sin efectos apreciables sobre los requisitos de cementos y agua de mezclado, siempre y cuando la arena produzca un hormigón de buena trabajabilidad. Sin embargo, es claro que entre más pequeño el tamaño máximo serán mayores los requerimientos de pasta de cemento debido a que habrá mayor área superficial por pegar. Además, el TM óptimo para más altas resistencia, depende de la resistencia de la pasta, trabazón agregado-pasta y la resistencia propia del agregado. (O'Reilly I. V., 1998, pág. 39)

2.1.2.2.2. Forma y textura superficial de los agregados

Hay que tener cuidado con las partículas que además de ser planas son alargadas y que comúnmente se conocen con el nombre de “lajudas”. Dichas partículas que generalmente son muy débiles porque poseen una estructura laminar, tiende a colocarse en forma horizontal dentro de la masa del hormigón y muchas veces impide la salida del agua evaporable durante el proceso de fraguado, generando bolas de aire lo que origina una disminución de la resistencia del hormigón, especialmente a la flexión. (O'Reilly V. , 1998, pág. 40)

Las partículas de agregado de textura rugosa y de forma angular o elongada requieren mayor cantidad de pasta y arena para lograr una trabajabilidad dada que otras de forma redondeada y de textura lisa, debido a que las primeras les dificulta el deslizamiento de unas sobre las otras, siendo necesario suministrarle mayor cantidad de lubricante con lo que se hace costosa la mezcla. Sin embargo, con una buena gradación tanto los agregados triturados (angulares y rugosos), como los de río (redondeado y liso), dan aproximadamente la misma resistencia para una misma relación agua/cemento, cuando se usa el mismo tipo de roca. (O'Reilly I. V., 1998, pág. 41)

2.1.3. Agua

Un índice útil de carácter general sobre la aptitud del agua, en la técnica del hormigón, es su potabilidad. Las excepciones se reducen, casi exclusivamente, a las aguas de alta montaña, cuya gran pureza les confiere de carácter agresivo. No obstante, algunas aguas manifiestamente insalubres que pueden también ser utilizadas: aguas bombeadas de minas (que no sean de carbón), algunas de residuos industriales, aguas pantanosas, etc. Las aguas depuradas con cloro pueden emplearse perfectamente. (Montoya, 2009, pág. 23)

El agua de mezclado cumple dos funciones principales en una mezcla de hormigón: Una es hidratar las partículas de cemento, y la otra, es producir la fluidez necesaria. Depende de la cantidad de agua que se requiera para producir un asentamiento determinado, depende del requerimiento de agua del cemento y del requerimiento de agua del agregado.

En el medio colombiano se han adelantado varias investigaciones, que correlacionan el contenido de agua de mezclado con el asentamiento medido en el cono de Abrams, para diversas granulometrías, con distintos tamaños máximos y adicionalmente para partículas de forma redondeada y textura lisa y para partículas de forma angular y textura rugosa. (Niño Hernandez, 2010)

2.2. Dosificación del hormigón

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero todos deben considerarse orientativos. Por ello, las proporciones definitivas de los

componentes deben establecerse mediante ensayos de laboratorio, introduciendo después las correcciones que resulten necesarias o convenientes.

Tanto las resistencias mecánicas como la durabilidad del hormigón dependen de muchos factores: tipo, clase y cantidad de cemento, características, granulometría y tamaño máximo del árido, vertido, compactación y curado del hormigón y, sobre todo, de la relación agua/cemento de la masa. (Neville, 1999)

2.2.1. Resistencia a la compresión del hormigón

A pesar de que la relación agua/cemento es el factor que más influye en la resistencia del hormigón, no pueden darse valores fijos que relacionen ambas magnitudes porque dependen, además, de otros muchos factores. En la Tabla 2.2 se incluyen unos valores orientativos de la relación agua/cemento, que no deben superarse, en función de la resistencia del hormigón, del tipo de árido y de la clase de cemento, para unas condiciones de ejecución suficientemente buenas.

Tabla 2.2. Relación agua/cemento

Valores orientativos máximos de la relación agua/cemento en función de la resistencia a compresión del hormigón a los 28 días para los cementos colombianos, portland tipo I, en hormigones sin aire incluido			
Resistencia a la compresión kg/cm ²	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.7	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente: (Niño Hernandez, 2010)

La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible, pero teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del hormigón y que debe

evitarse, además, el fenómeno de segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados.

Conviene recordar que la resistencia característica del hormigón a compresión (f_{ck}), que se consigue en obra es obviamente menor que la resistencia media del hormigón a compresión (f_{cm}), obtenida en los ensayos de laboratorio. En la Tabla 2.3 se dan unos valores, cuando no se tiene registro de ensayos.

Tabla 2.3. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Código	Valor de f_{ck} que se desea en N/mm ² (MPa)	Valor necesario de f_{cm} en N/mm ² (MPa)
Código ACI	$f_{ck} < 20$	$f_{cm} = f_{ck} + 7$
	$20 \leq f_{ck} \leq 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 8.5$
	$f_{ck} > 35$	$f_{cm} = f_{ck} + 10$

Fuente: (Iriarte Saavedra, 2012)

2.2.2. Tamaño máximo del árido

Cuanto mayor sea el tamaño del árido, menos agua se necesita para conseguir la consistencia deseada, ya que la superficie específica de los áridos (superficie que hay que mojar) será más pequeña. Como consecuencia, podrá reducirse la cantidad de cemento, resultando más económico el hormigón para la misma resistencia.

Conviene, por lo tanto, emplear el mayor tamaño posible de árido, siempre que sea compatible con las exigencias de puesta en obra. Estas imponen que el tamaño máximo del árido no exceda del menor de los dos límites siguientes, según la Instrucción española:

- La cuarta parte de la anchura, espesor o dimensión mínima de la pieza entre encofrados; o la tercera parte si se encofra por una sola cara o se trata de elementos prefabricados en taller; o los dos quintos en el caso de losas superiores de forjados.

- Los cuatro quintos de la distancia horizontal libre entre barras que no formen grupo o entre estas y el encofrado, en el caso de barras horizontales o inclinadas a menos de 45° respecto a la horizontal; o los cinco cuartos, en el caso de barras verticales o inclinadas a más de 45° respecto a la horizontal.

Por otra parte, tamaños superiores a 40 mm no siempre conducen a mejoras de resistencia, porque con áridos muy gruesos disminuye en exceso la superficie adherente y se crean discontinuidades importantes dentro de la masa, especialmente si esta es rica en cemento. En la Tabla 2.4 se indican los valores del tamaño máximo del árido que pueden recomendarse para los distintos tipos de obras. (Montoya, 2009, pág. 39)

Tabla 2.4. Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en plg. (mm.)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 - 29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 - 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: (Niño Hernandez, 2010)

El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder al menor de (I), (II) y (III).

- I. 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado;
- II. 1/3 del espesor de las losas;
- III. 3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, refuerzo preesforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si a juicio del profesional facultado para diseñar, la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el hormigón se puede colocar sin la formación de hormigueros o vacíos. (Randall W & Basile G., 2014, pág. 484)

2.2.3. Consistencia del hormigón, porcentaje de vacío y cantidad de agua

En función del tipo de elemento y sus características (tamaño de la sección, distancia entre barras, etc.) y teniendo en cuenta la forma de compactación prevista, se fija la consistencia que ha de tener el hormigón. La consistencia se mide por su asiento en el cono de Abrams de acuerdo con (2.2.5.1 Prueba de revenimiento)

Conviene, además, tener en cuenta las observaciones siguientes:

- a) La consistencia en el momento de colocación puede ser bastante diferente de la de salida de hormigonera, especialmente si el transporte interior es apreciable y las condiciones ambientales son rigurosas.
- b) Si la densidad de armaduras es grande, resultan muy preferibles las masas de mayor asiento bien compactadas, ya que las de menor asiento provocan el riesgo de coqueas.
- c) En hormigones para edificación se recomienda en general que el asiento en cono de Abrams no sea inferior a 6 centímetros.
- d) En el caso de hormigones para bombeo se recomienda el empleo de consistencias fluidas, especialmente si los áridos son de machaqueo.
- e) En el caso de hormigones fabricados con superplastificantes el valor de la relación agua/cemento es prioritario respecto al de consistencia. En estos casos, deja de ser válido el límite superior de asiento establecido para la consistencia fluida. (Montoya, 2009, págs. 40-41)

Para ver las distintas consistencias y los valores límite de los asientos correspondientes en cono de Abrams, revisar Tabla 2.5

Tabla 2.5. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigones de proyección neumática (lanzado)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semi - seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en hormigón simple	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas, con vibración
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas, muros, vigas	Colocación manual	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos	Bombeo	Secciones bastante reforzadas, sin vibración
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo Tremie	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (Normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: (Niño Hernandez, 2010)

Fijada la consistencia, se determina el porcentaje de aire en la Tabla 2.7 y la cantidad de agua por metro cúbico de hormigón, según los valores de la Tabla 2.6 para agregados con forma angular y textura lisa.

Tabla 2.6. Requerimiento aproximado de agua de mezclado

Para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma angular y textura rugosa, en hormigón sin aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (plg)							
		9.51	12.70	19.00	25.40	38.10	50.80	64.00	76.10
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	plg	Agua de mezclado, en kg/m ³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	15	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168
Para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en hormigón sin aire incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (plg)							
		9.51	12.70	19.00	25.40	38.10	50.80	64.00	76.10
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	plg	Agua de mezclado, en kg/m ³ de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

Fuente: (Niño Hernandez, 2010)

Tabla 2.7. Valores recomendados para el contenido de aire en el hormigón

Tamaño máximo del agregado grueso		Porcentaje promedio aproximado de aire atrapado	Porcentaje promedio total de aire recomendado para los siguientes grados de exposición		
Pulgadas	milímetro		Baja	Media	Alta
3/8	9.51	3	4.5	6	7.5
1/2	12.5	2.5	4	5.5	7
3/4	19.1	2	3.5	5	6
1	25.4	1.5	3	4.5	6
1 1/2	38.1	1	2.5	4.5	5.5
2	50.8	0.5	2	4	5
3	76.1	0.3	1.5	3.5	4.5
6	152.4	0.2	1	3	4

Fuente: (Niño Hernandez, 2010)

Una vez fijada la cantidad de agua, y conocida la relación agua/cemento se determina la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón. Dicho contenido no debe ser superior a 520 kg salvo casos especiales, como puede ser el caso de los hormigones de alta resistencia.

Esta última limitación es orientativa y tiene por objeto evitar valores altos del calor de fraguado y de la retracción en las primeras edades, factores que dependen de la temperatura ambiente, clase y finura del cemento, proceso de curado, etc. En experiencia de los autores, utilizar altas dosificaciones de cemento y no cuidar la puesta en obra, el vibrado y el curado conduce, de forma frecuente, a figuración superficial. (Montoya, 2009, pág. 41)

2.2.4. Compactación

La compactación por apisonado se efectúa mediante golpeteo repetido con un pisón adecuado, de formas diversas. Las tongadas suelen ser de 15 a 20 cm de espesor: Se emplean en elementos de poco espesor y mucha superficie horizontal, con hormigones de consistencia plástica y blanda.

El contenido de aire de un hormigón sin compactar, que es del orden del 15 al 20 %, se reduce a un 2 o 3 % después de su compactación por vibrado. (Montoya, 2009, pág. 48)

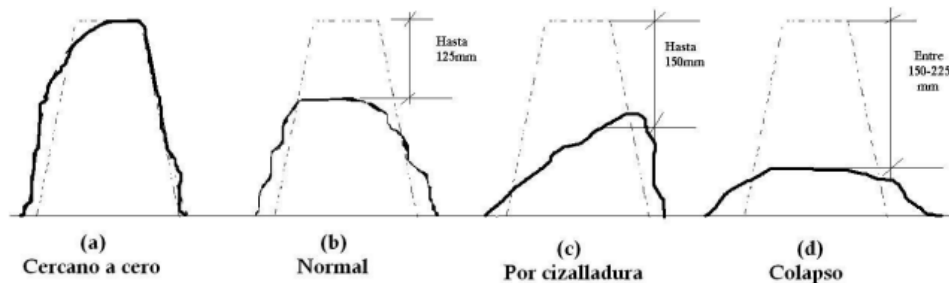
2.2.5. Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en el coexisten tres fases: La sólida (áridos y cementos), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables. (Montoya, 2009, pág. 55)

2.2.5.1. Prueba de revenimiento

Si en lugar de reventarse en forma uniforme alrededor del revenimiento verdadero (Figura 2.1), la mitad del cono se desliza para abajo en un plano inclinado, se decide que ha ocurrido un revenimiento cortante o de cizalladura, y deberá repetirse la prueba. Si el revenimiento cortante persiste, como puede ser el caso mezclas ásperas, esto indica falta de cohesión de la mezcla. (Neville, 1999, pág. 130)

Figura 2.1. Revenimiento



Fuente: (Neville, 1999, pág. 130)

2.2.6. Densidad del hormigón

La densidad o masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto mayor sea la densidad de los áridos utilizados y mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado este.

De todas formas, las variaciones de densidad del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor 2300 kg/m^3 para los hormigones en masa y 2500 kg/m^3 para los armados.

Los valores indicados corresponden a hormigones normales. Los hormigones pesados, fabricados con áridos de barita o metálicos, tienen densidades de 3000 a 3500 kg/m^3 y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiaciones. Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez, arlita u otros áridos de pequeña masa específica, tienen densidades del orden de 1300 kg/m^3 e incluso inferiores a 1000 kg/m^3 . (Montoya, 2009, pág. 56)

2.2.7. Variación en el tiempo de la resistencia a compresión

La resistencia del hormigón evoluciona con la edad. Por lo general sus valores son crecientes, salvo casos anómalos.

La velocidad de crecimiento de la resistencia depende fundamentalmente del tipo de cemento, aunque también de la temperatura durante el curado, no debe ser inferior a 5°C (Montoya, 2009, pág. 63).

2.2.8. Conservación de las probetas

“Según la instrucción española, las probetas destinadas al control de calidad de la resistencia del hormigón deben quedar en los moldes al menos durante 16 horas y nunca más de 3 días.” (Montoya, 2009, pág. 74)

2.2.9. Equivalencia entre distintas edades

En los ensayos de resistencia a compresión puede admitirse que la relación entre la resistencia a j días de edad y a la de 28 días, es la dada en la Tabla 2.8 de acuerdo con el Comité Euro-Internacional del Hormigón (CEB). En cuanto a la instrucción española.

Tabla 2.8. Valores de la relación f_{cj}/f_{c28}

Edad del hormigón, en días	3	7	28	90	360
Cemento portland normal	0.40	0.65	1	1.2	1.35
Cemento portland de alta resistencia inicial	0.55	0.75	1	1.15	1.2

Fuente: (Montoya, 2009, pág. 77)

2.2.10. Zona de muestreo

Para la ubicación de la zona de muestreo debe recordarse que, normalmente, la resistencia del hormigón es más pequeña en las proximidades de la cara superior de las piezas y va aumentando con la profundidad, debido a la mejor compactación de las capas inferiores por efecto de la masa que gravita sobre ellas durante el hormigonado. Por ello, cuando se trata de pilares, conviene muestrear en el tercio superior de los mismos para quedar del lado de la seguridad, aunque la extracción en esta zona presente mayores dificultades. Las diferencias de resistencia entre el tercio superior y el inferior pueden alcanzar un 15 %.

En cuanto a la dirección del sondeo, parece que los ensayos demuestran que no ejerce gran influencia en la resistencia que se obtiene, cualquiera que sea su posición relativa respecto a la dirección del hormigonado o a la de actuación de cargas. (Montoya, 2009, pág. 78)

2.3. Técnicas de ensayos no destructivos

El empleo de pruebas no destructivas conduce a mayor seguridad y permite mejor programación de la construcción, haciendo así posible su progreso de manera más rápida y más económica. En términos generales, estas pruebas pueden ser catalogadas dentro de las que valoran la resistencia del hormigón in situ, y de aquellas que determinan otra característica del hormigón, tales como cavidades, defectos, grietas y deterioro.

Con respecto a la resistencia, deberá notarse que esta pueda valorarse, y no medirse, porque las pruebas no destructivas son, en su mayor parte, comparativas en su esencia. Así es útil establecer una relación experimental entre la propiedad que se esté midiendo

por medio de una prueba dada y la resistencia de especímenes de prueba o corazones del hormigón real; de ahí en adelante, esta relación se puede usar para “convertir” el resultado de la prueba no destructiva a un valor de resistencia. (Neville, 1999, pág. 436)

En esta investigación se estudia las diferentes técnicas de ensayo no destructivo que se usan en otros lugares, porque las técnicas pueden variar según la zona en donde se va realizar el estudio, además que el operador del equipo tiene que tener cierta experiencia para manejar los equipos de ensayo no destructivo. Hasta la fecha los equipos de ensayo no destructivo fueron teniendo más importancia debido a que el hormigón en las edificaciones pueda estar sometido a sismo o incendio, y otros escenarios desfavorables para el hormigón donde se necesitaría evaluar la infraestructura para saber si puede estar en servicio o no.

Los ensayos no destructivos indican procedimientos experimentales que permiten la adquisición de los parámetros mecánicos, físicos y químicos útiles para verificar el material estructural que constituye, en el caso de estructuras de hormigón, las secciones resistentes junto con las barras de acero, de vigas y columnas. Las siguientes son pruebas disponibles en los laboratorios de resistencia de materiales y hormigones de la UAJMS:

- El ensayo del esclerómetro.
- El ensayo de ultrasonido.
- El ensayo de la pistola de Windsor.

2.3.1. Distribución de las medidas y errores

Se observa con frecuencia que varias medidas de la misma propiedad, bajo las mismas condiciones, poseen cierta discrepancia unas con otras, ningún instrumento es totalmente exacto, en consecuencia, toda medida lleva consigo un cierto grado de incertidumbre, debiendo expresarse en la forma:

$$x = \bar{x} \pm E_x$$

Donde \bar{x} se denomina de diversas maneras: Valor medio, valor esperado, valor central, valor más probable, promedio aritmético, esperanza matemática, etc., y E_x es el error del valor medio.

Valor verdadero o exacto (U)

Se conoce como valor verdadero al que pudiera ser obtenido por una medición perfecta y por ende son de naturaleza indeterminada. Su determinación por medición en la generalidad de los casos es muy difícil y solo se conocen aproximaciones. Esto se debe a las limitaciones de los instrumentos, limitaciones en el sujeto que efectuó la medición y algunas veces a la inaccesibilidad de la medición.

- Cuando la magnitud a medir es una variable **discreta**, es posible conocer el valor verdadero, ya que en este caso la medida se obtiene por conteo, por ejemplo, número de estudiantes en una clase o número de focos producidos por cierta fábrica en un día.
- Si la variable es **continua**, diámetro de un cilindro, por ejemplo, debido a las limitaciones del instrumento de medida y a las del sujeto que efectúa la medición, no es posible conocer el valor verdadero y este solamente sirve como referencia teórica al cual tiende el valor experimental.

Exactitud y precisión

La **exactitud** señala el grado en que un valor experimental (x_i) o un promedio (\bar{x}) se acerca al valor verdadero (U).

La **precisión** indica el grado de concordancia entre los valores experimentales, es decir en cuanto se aproxima unas a otras.

Debe notarse que precisión y exactitud no son sinónimos, aunque muchas veces se usan indistintamente y en consecuencia incorrectamente.

Clasificación de errores

La clasificación de los errores de medición puede efectuarse considerando:

- a) Origen: Errores introducidos por el instrumento, error de interacción y falta de definición en el objeto sujeto a mediciones.
- b) Carácter: Errores sistemáticos, errores casuales, aleatorios o fortuitos, faltas graves o errores gruesos y errores ilegítimo o espurios.

Error absoluto para una muestra menor a 30 (ε_a)

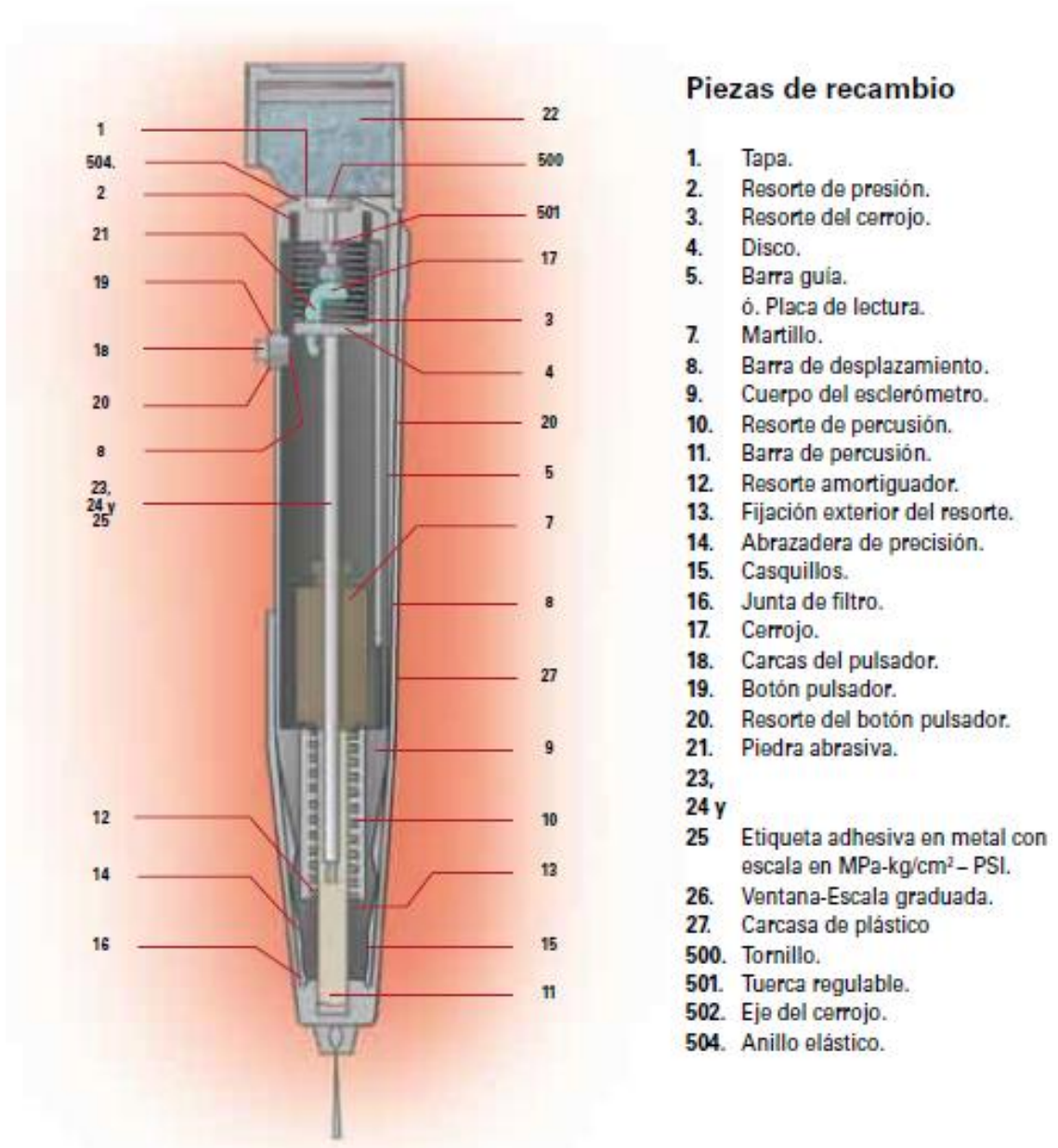
$$\varepsilon_a = t_{\frac{\alpha}{2}} \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde “t” es la variable aleatoria para distinto nivel de confianza, “ σ ” es la desviación estándar y “n” es el número total de datos. (Alvarez C. & Huayta C., 2019, pág. 25)

2.3.2. Ensayo del esclerómetro (Martillo de rebote).

Consiste de un martillo de acero accionado por un resorte (Figura 2.2), que cuando se libera golpea un embolo de acero en contacto con la superficie de hormigón. El resorte cargado del martillo debe viajar con una velocidad constante y reproducible. La distancia del rebote del martillo de acero, desde el émbolo de acero, se mide en una escala lineal adjunta al cuerpo del instrumento. (Amaya Valencia & Diaz Acosta, 2011, pág. 310)

Figura 2.2. Corte longitudinal del esclerómetro C 181 N



Fuente: Manual de instrucciones del esclerómetro de la empresa CONTROLS

Un esclerómetro pesa menos de 2 kg, tiene una fuerte energía de impacto y su funcionamiento es muy sencillo. Para hacer una comparación, pensemos que estamos en una habitación a unos tres metros de una pared. Esta pared se encuentra a oscuras por lo que no sabemos de qué material está construida. Disponemos de una pelota de tenis que podemos lanzar contra la pared y que tras salir despedida de la misma nos

golpeará en el cuerpo. A mayor dureza del paramento, con igual fuerza de lanzamiento, el impacto que recibiremos será mayor. No sabremos de qué material se trata, pero podremos advertir si es duro o blando en función del golpe de respuesta. Esto es lo que hace básicamente un esclerómetro. Como se trata de un instrumento totalmente manual debemos “cargar” el émbolo para enviarlo con una energía de impacto fija. Para ello presionamos el mismo sobre la superficie del hormigón (no hay ninguna mediación hasta ahora) Una vez el émbolo llega a un determinado punto un resorte lo libera y golpea el hormigón (no medimos nada aún) El émbolo golpea sobre la superficie y dependiendo de la dureza de misma, rebota con mayor o menor fuerza. Es la respuesta de rebote la que desplaza una guía sobre un visor escalado (de 10 a 100) y consigue la medición. Podemos presionar el botón de bloqueo para permitir la lectura. Ese valor es adimensional y arbitrario ya que depende de la energía almacenada en el resorte y la masa utilizada. (Sanjuán Fernández, 2014, pág. 1)

La prueba del martillo de rebote se basa en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie contra lo cual golpea la masa. El martillo tiene que ser utilizado en una superficie lisa, preferiblemente en una superficie moldeada. Por lo tanto, el hormigón de textura gruesa no puede ser probado. Las superficies aplanadas se deberán alisar por frotación utilizando piedra de carborundo.

La prueba es sensible a las variaciones locales en el hormigón; por ejemplo, la presencia de una pieza grande de agregado inmediatamente debajo del émbolo daría por resultado un número de rebote anormalmente alto; a la inversa, la presencia de una cavidad en una posición similar conduciría a un resultado bajo. Más aun, la energía absorbida por el hormigón está relacionada tanto con su resistencia como con su rigidez, de manera que la combinación de resistencia y su rigidez, son las que rigen el número de rebote. Puesto que la rigidez del hormigón está influida por el tipo de agregado utilizado, el número de rebote no está relacionado únicamente con la resistencia del hormigón.

El émbolo siempre debe estar normal con respecto a la superficie del hormigón sujeto a prueba, pero la posición del martillo relativa a la vertical afectara el número de rebote. Esto se debe a la acción de la gravedad en el recorrido de la masa del martillo. Así, el

número de rebote de un piso es menor que el de un techo del mismo hormigón, y las superficies inclinadas y verticales producen valores intermedios. Por esta razón, y también por otros factores que influyen en el número de rebote el empleo de diagramas “globales” que relacionan el número de dureza y de resistencia no es aconsejable. El procedimiento correcto es establecer experimentalmente la relación entre el número de rebote medido en especímenes de prueba de compresión y su resistencia real. Si es posible, el material del molde del espécimen deberá ser el mismo que el material de la cimbra de la estructura. (Neville, 1999, pág. 437)

En cualquier caso, la prueba del martillo de rebote mide únicamente las propiedades de la zona superficial del hormigón. Los cambios que afectan únicamente a la superficie del hormigón, tales como el grado de saturación en la superficie (la cual reduce el número de rebote), tienen poca influencia sobre las propiedades del hormigón en lo profundo.

Por causa de la variabilidad local en la dureza del hormigón dentro de una pequeña área, el número de rebote deberá determinarse en varias localizaciones muy próximas, pero de acuerdo con la norma ASTM C 805-85, no más cercanas de 2.5 cm de separación.

La prueba del martillo de rebote es ampliamente comparativa en esencia y, como tal, inútil en la valoración de la uniformidad del hormigón dentro de una estructura o en la fabricación de varios productos similares tales como elementos precolocados. La prueba también puede emplearse para establecer si el número de rebote ha alcanzado un valor conocido que corresponda a la resistencia deseada. Esto proporciona ayuda para decidir cuándo se remueve la cimbra o se pone en servicio la estructura. Otro uso del martillo es el de verificar si el desarrollo de la resistencia de un hormigón dado ha sido afectado por congelación a edad temprana, pero de acuerdo con la norma ASTM C 805-85, aún el hormigón congelado puede dar muy altos números de rebote. (Neville, 1999, pág. 438)

2.3.2.1. Ventajas y desventajas del esclerómetro

Ventajas

- Es un ensayo no destructivo lo que permite realizar un gran número de determinaciones sin alterar la resistencia, estética y funcionalidad de una estructura.
- Ensayo muy económico.
- Puede operar en horizontal o vertical
- Permite ensayar muchos elementos en un corto espacio de tiempo con escasos medios auxiliares.

Desventajas

- El resultado obtenido depende de demasiados factores, los cuales veremos a continuación.
- Se necesita una superficie perfectamente lisa para realizar el ensayo por lo que no es útil en elementos no encofrados.
- Requiere de una calibración (hemos de exigir siempre al laboratorio una muestra in situ de calibración antes de la ejecución del ensayo)
- Solo afecta a los primeros centímetros de la pieza (2-3 cm)
- Puede variar según la pericia del operario.
- Existe pérdida de energía por la deformación elástica del hormigón en el interior de la pieza.

Factores de influencia

- a) Tipo de cemento: La finura de molido del cemento puede ocasionar variaciones en torno al 10% en el resultado de los ensayos, si bien se considera un factor de baja influencia. Sin embargo, en determinados tipos de cemento como el supersulfatado (escoria, sulfato de calcio y cal) o cementos de alúmina, las desviaciones pueden oscilar entre el 50% y el 100% respectivamente.
- b) Contenido de cemento: en combinación con otros factores, la influencia del contenido en cemento se estima que es inferior al 10%.

- c) Tipo de agregado (árido) grueso: La resistencia del hormigón se basa tanto en las características de la pasta como en las del agregado grueso por lo que es un factor de gran influencia. Obtendremos valores inferiores (entre 6-7 N/mm² menos) en agregados de piedra caliza triturada que con canto rodado (grava). También podemos encontrar desviaciones dentro del mismo tipo de agregado dependido de sus características (dureza, tamaño, etc.)
- d) Masa del elemento ensayado: El elemento a ensayar debe contar con una masa suficiente para que no se produzcan vibraciones o movimientos que desvirtúen la medición. Según la norma EN 12504-2 “Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 2: Ensayos no destructivos. Determinación del índice de rebote” el área de ensayo debe ser de aproximadamente 150×150 mm. Se requiere, además, que el elemento cuente con un espesor mínimo de 10 cm y se encuentre fijado en una estructural o en un sistema específico de laboratorio que no permita su desplazamiento.
- e) Compactación: El ensayo requiere para su eficacia de un grado de compactación uniforme.
- f) Tipo de superficie: Este método no es adecuado para superficies abiertas, fratasadas u hormigonadas contra el terreno o elementos irregulares. Solo las superficies bien encofradas son fiables de ensayar. Pueden emplearse métodos de pulido en otras superficies, pero la experimentación indica que esto nos lleva a valores sobrestimados. Hay que tener en cuenta que la absorción del encofrado puede influir sensiblemente sobre la dureza superficial del hormigón. Generalmente encofrados más absorbentes implican mayor dureza superficial.
- g) Edad: Hasta los 90 días de edad no existe influencia. A partir de ese tiempo pueden obtenerse valores sobrestimados por lo que se aconseja aplicar coeficientes de reducción.
- h) Carbonatación superficial: Dentro de la carbonatación normal de un hormigón (hasta unos 5 mm) los estudios realizados no muestran errores significativos en la

medición del índice de rebote. Sin embargo, en el caso de carbonatación profunda podremos sobrestimar la resistencia hasta un 50%.

- i) Humedad: Los estudios indican que un hormigón húmedo reduce su dureza superficial y puede provocar una subestimación de la resistencia hasta en un 20%.
- j) Temperatura: La norma EN 12504-2 limita el uso del esclerómetro entre los 10 y 35°C ambientales.

Elementos a ensayar

Cuando estamos ensayando muestras confeccionadas en laboratorio o extraídas por medios mecánicos de elementos de obra la relación entre muestra y pieza es unitaria, las lecturas deben ser tomadas al menos, en las dos caras verticales de piezas cilíndricas o cúbicas.

2.3.2.2. Factores de corrección

Múltiples son las propuestas de factores de corrección para los resultados de resistencia a compresión obtenidos por índice de rebote; tantos como los factores de influencia y los autores que han investigado sobre su influencia. Nos quedamos con dos de los más importantes a nuestro criterio. (Sanjuán Fernández, 2014, pág. 2)

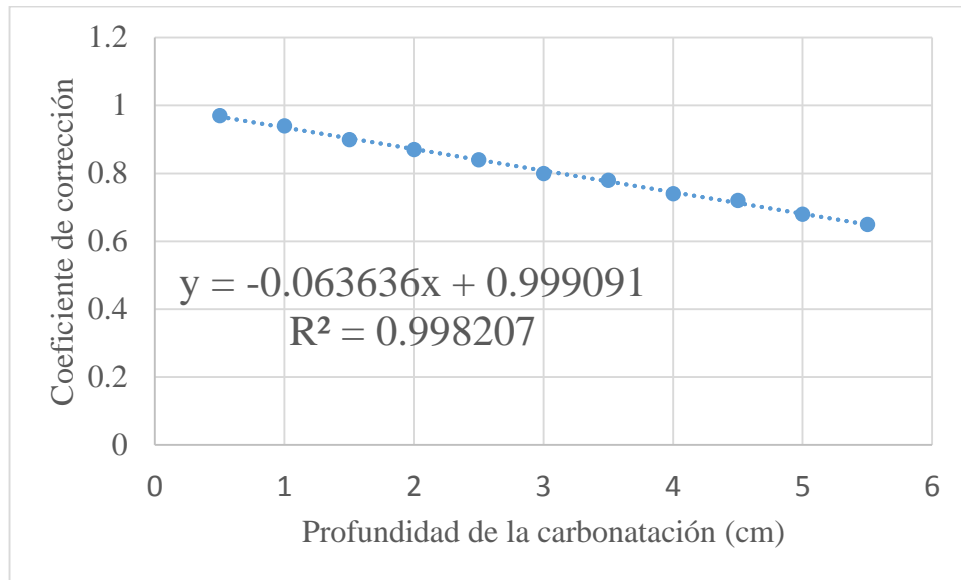
A continuación, se muestran los factores de corrección aplicables en función de la profundidad de carbonatación que presente la pieza a ensayar.

Tabla 2.9. Factores de corrección de la carbonatación

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0.5	0.97
1	0.94
1.5	0.9
2	0.87
2.5	0.84
3	0.8
3.5	0.78
4	0.74
4.5	0.72
5	0.68
5.5	0.65
0.5	0.97

Fuente: (Sanjuán Fernández, 2014, pág. 2)

Figura 2.3. Relación de la profundidad de carbonatación y coeficiente de corrección



Fuente: Propia

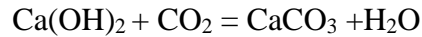
$$y = -0.063636 \times X + 0.999091 \quad (2.1)$$

Como lo especifica la norma NMX-C-192-ONNCCE-20065 para los ensayos esclerómetros, “este método no es sustituto de los métodos destructivos empleados para determinar la resistencia del hormigón, sino más bien como una alternativa para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón endurecido”. (Rojas Reyes, 2010, pág. 13)

Modo de operación. - Se ha de usar el manual proporcionado por el fabricante y respetando las normativas que se involucren en este procedimiento.

Descripción del fenómeno de la carbonatación. - En condiciones normales, el agua contenida en los poros del hormigón está cargada de hidróxido cálcico, con valores de pH superiores a 12.5. Gracias a esta gran alcalinidad del hormigón, el acero se encuentra protegido de la corrosión porque en su superficie se forma una capa microscópica de óxido, denominada capa pasiva, que impide la disolución del hierro. Se dice por ello que el acero recubierto de hormigón está protegido por pasivación.

Ahora bien, el CO₂ del aire penetra desde la superficie de la pieza, a través de los poros, hacia el interior del hormigón (tantos más rápidamente cuantos mayores sean los poros), y se combina con el hidróxido cálcico, según la reacción:



Esto significa que el hidróxido cálcico va desapareciendo paulatinamente de la red capilar para transformarse en carbonato cálcico, el cual forma una costra cuyo espesor aumenta con el tiempo y cuya dureza es superior a la del interior de la pieza (de ahí que no puede utilizarse el esclerómetro en hormigones viejos, ya que la costra carbonatada arroja valores superiores a los del hormigón sin carbonatar, lo que falsea el resultado por el lado de la inseguridad). La disminución de hidróxido cálcico origina una disminución del pH del hormigón y, cuando el valor de éste quede por debajo de 9 en la zona de contacto con las armaduras, la capa pasiva se destruye y el acero pierde su protección frente a la corrosión. (Montoya, 2009, pág. 136)

Se ha establecido que la profundidad de la carbonatación varía de unos 3 mm al cabo de 30 años para condiciones favorables. A unos 20 mm en 10 años para condiciones adversas. Aproximadamente se puede establecer la profundidad de la carbonatación mediante la expresión:

$$C = K \times \sqrt{T} \quad (2.2)$$

Donde:

C= Profundidad de la carbonatación (mm)

T= Tiempo (años)

K= Parámetro que depende de condiciones límites (medio ambiente, calidad del hormigón), menor en cuanto mejor sea la calidad del hormigón y menos agresivo sea el medio ambiente y mayor en caso contrario. Varía ampliamente con valores que oscilan entre 0.5 y 10.

Según Delibes el parámetro **K** puede establecerse según la siguiente expresión:

Tabla 2.10. Parámetro de la carbonatación

Influencia del cemento	Portland normal	Alta resistencia	Escorias 40% - 60%	Puzolánico
Valor de r(1)	1.0	0.6	1.4 – 2.2	1.7 – 1.9
Influencia del agregado	Rodado de río	Arena natural, grava ligera	Agregados livianos	Cenizas
Valor de r(2)	1.0	1.2	2.9	3.3
Influencia del aditivo	Normal	Aireantes		Plastificantes
Valor de r(3)	1.0	0.6		0.4

Fuente: (Gomez Cortes, 2004)

$$K = R \times \sqrt{a} \quad (2.3)$$

$$a = \sqrt{\frac{\left(\frac{a}{c} - 0,25\right)^2}{0,3 \times (1,15 + 3 \times (a/c))}} \quad (2.4)$$

$$R = r(1) \times r(2) \times r(3) \quad (2.5)$$

a/c = Relación agua/cemento

r(1), r(2), r(3) = factores que dependen del cemento, agregados y aditivos empleados, según Tabla 2.10 (Delibes Liniers, 1987)

Para identificar la carbonatación del hormigón se puede utilizar Fenolftaleína con 1% de alcohol (C₂₀H₁₄O₄), es un indicador de pH que en disoluciones ácidas permanece incoloro, pero en disoluciones básicas toma un color rosado, se echa la Fenolftaleína líquida inmediatamente después de romper el hormigón. Si cambia de color a fucsia, no hay carbonatación, si no cambia de color, es que el hormigón esta carbonatado, es decir su pH ha bajado. (Wikipedia, 2019, pág. 1)

2.3.3. Ensayo de ultrasonidos

Este ensayo nace, como el esclerómetro, como estudio comparativo y provee la velocidad de tránsito de un pulso dentro del hormigón, que, sin ningún tratamiento del valor adquirido, permite la homogeneización del material in situ y la identificación de miembros de soporte hechos del mismo material. El método ultrasónico, en comparación con el esclerómetro, ofrece la ventaja de investigar a fondo la parte de estructura

Figura 2.4. Equipo de ultrasonido



Fuente: CONTROLS

examinada. También en este caso, la estimación de la resistencia a la compresión del hormigón, se obtiene mediante el uso de curvas de correlación, ya que el parámetro proporcionado por la prueba, es decir, la velocidad de propagación de los ultrasonidos, no está directamente asociado con la resistencia. (Rojas, 2011, pág. 1)

La velocidad del ultrasonido está en función de las siguientes propiedades del hormigón: Densidad, Módulo de Elasticidad y Porcentaje de humedad.

Tabla 2.11. Efectos de la temperatura en la velocidad del ultrasonido

Temperatura	Corrección a la velocidad	
	Hormigón seco	Hormigón saturado
°C	%	%
60	5	4
40	2	1.7
20	0	0
0	-0.5	-1
-4	-1.5	-7.5

Fuente: (Universidad de Piura)

El pulso se traslada a través del miembro y es recibido por un receptor ubicado en el otro extremo. Cuando el pulso es recibido el contador se detiene y marca el tiempo de recorrido de transductor a transductor. Otros factores además de la resistencia del hormigón pueden afectar la velocidad de pulsación. Uno de los factores es la cantidad de mortero en la mezcla. Cuando la mezcla de mortero pasa de un estado seco a uno

saturado, está registrado que la velocidad de pulsación se incrementará en un cinco por ciento, ver Tabla 2.11 (Crespo Leon & Garcia Troncoso, 2009, pág. 71)

La velocidad de las ondas en el material permite obtener informaciones sobre las propiedades elásticas. Pero se debe recordar que este método **no** mide directamente la resistencia del material, sino su módulo elástico dinámico. Estas medidas dependen de la edad del hormigón, de la humedad, de la relación agua cemento, del tipo de agregado utilizado, y de la posición de las armaduras con relación a la posición de los transductores. (Rojas Reyes, 2010, pág. 14)

Con respecto al empleo del valor de la velocidad de pulsación ultrasónica para determinar la resistencia del hormigón, debe señalarse que no hay ninguna relación física entre las dos. Sin embargo, la velocidad de onda ultrasónica está relacionada con la densidad del hormigón. El módulo de elasticidad de los agregados varía considerablemente, de manera que la velocidad de pulsación del hormigón depende del módulo de elasticidad del agregado real y del contenido de agregado de la mezcla. Consecuentemente, no existe ninguna relación única entre la velocidad de pulsación ultrasónica y la resistencia a la compresión. En consecuencia, la condición de humedad del hormigón afecta la velocidad de pulsación mientras que la resistencia in situ no es afectada.

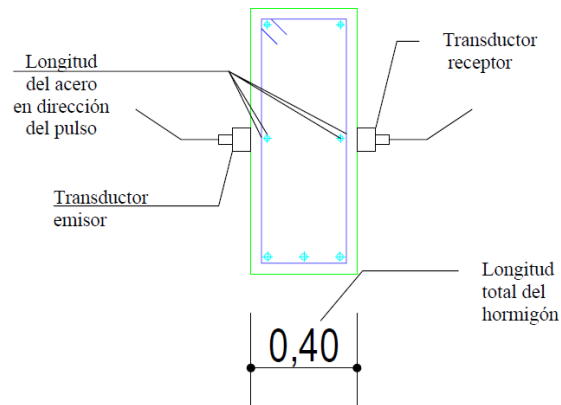
También es esencial otras influencias falsas: por ejemplo el acero de refuerzo, especialmente de diámetro grande, el cual se halla a lo largo de la trayectoria de la pulsación y conduce al aumento de velocidad de la pulsación ultrasónica, pero no afecta la resistencia del hormigón a la compresión. (Neville, 1999, pág. 442)

La influencia del refuerzo es generalmente muy pequeña si las barras se encuentran en una dirección perpendicular al camino del pulso y la cantidad de acero es pequeña en lo referente a la longitud de camino.

La Figura 2.6, muestra esta influencia ya que debería ser tomada en cuenta cuando los diámetros del acero de refuerzo se encuentran alineados a lo largo del camino del pulso. Conociendo la relación de la longitud de acero (en adelante, L_s) que se presenta en la dirección del pulso ultrasónico con la longitud total del hormigón (en adelante, L_H) que se está analizando, puede ser corregido, multiplicándolo por el factor de corrección

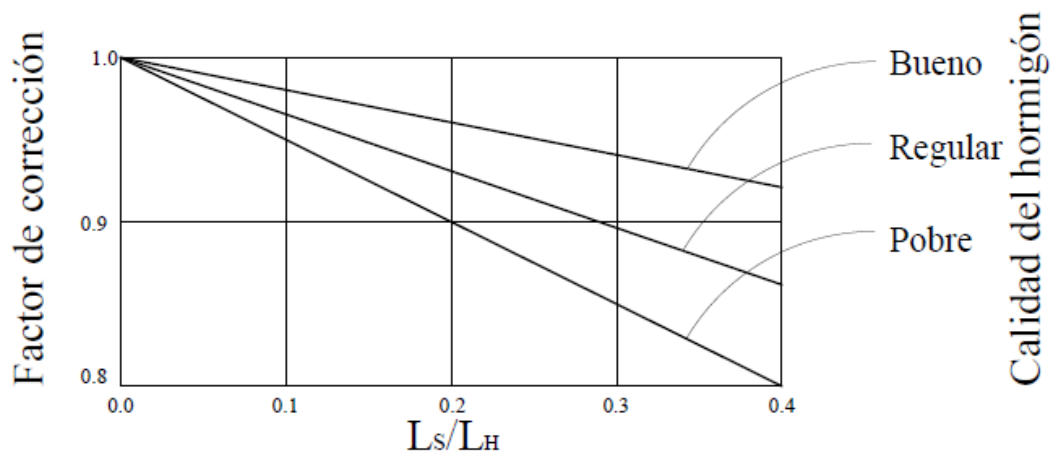
antes mencionado y en concordancia con las curvas de calidad del hormigón que aparece en la gráfica. Sin embargo es preferible evitar tal arreglo del camino y elegir un camino que no esté en una línea directa con los diámetros de la barra. (Universidad de Piura)

Figura 2.5. Vista transversal de la viga durante el análisis con el ultrasonido



Fuente: Propia

Figura 2.6. Influencia de las barras de acero en la velocidad de pulsos de ultrasonido



Fuente: (Universidad de Piura)

La técnica se basa en la teoría de la propagación de las ondas complejionales en un medio infinito, homogéneo, isotrópico y elástico. De acuerdo a esta teoría física, la velocidad de las ondas depende principalmente de la densidad y de las características elásticas del medio que recorren, como se aprecia en la ecuación (2.6). (Malhotra & Carino, 1991)

$$V = \sqrt{K \times \frac{E}{D}} \quad (2.6)$$

Donde:

V = Es la velocidad del pulso ultrasónico

E = Es el módulo de elasticidad dinámico del medio

D = Distancia del medio

K = Es una constante que depende de la relación de Poisson del material

En la muestra de hormigón, los transductores pueden estar dispuestos en tres posiciones diferentes: Método de transmisión directa, Método de transmisión semidirecto, Método de transmisión indirecto.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación, se analiza el método de transmisión directa.

2.3.3.1. Método de transmisión directa

Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida.

Con la velocidad del ultrasonido, podemos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 2.12. Clasificación del hormigón por medio de la velocidad de onda

Según Leslie y Cheesman		Según Agraval y otros	
Velocidad de la onda longitudinal (km/s)	Condición del hormigón	Velocidad de la onda longitudinal (km/s)	Condición del hormigón
Más de 4.57	Excelente	Más de 3	Buena
De 3.05 a 4.57	Buena	De 2.5 a 3	Regular
De 3.050 a 3.65	Regular a dudosa	Menos de 2.13	Pobre
De 2.13 a 3.05	Pobre		
Menos de 2.13	Muy pobre		

Fuente: (Crespo Leon & Garcia Troncoso, 2009, pág. 86)

Tabla 2.13. Calidad del hormigón según su velocidad

Velocidad (km/s)	Calidad del hormigón
> 4.5	Excelente
3.6 – 4.5	Bueno
3.0 – 3.6	Aceptable
2.1 – 3.0	Malo
< 2.1	Muy malo

Fuente: (Saval Pérez & Tenza Abril, 2008, pág. 7)

Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos UNE-EN 12504-4. Método para la determinación de la velocidad de propagación de impulsos de ondas longitudinales de ultrasonidos en el hormigón endurecido.

El aparato consiste en un generador de impulsos eléctricos, un par de palpadores (emisor y receptor), un amplificador y un temporizador electrónico para la medida del intervalo de tiempo transcurrido entre el comienzo de la onda del impulso generado en el palpador transmisor y el comienzo de la onda a su llegada al palpador receptor.

Una vez elegido el elemento a ensayar debe haber un adecuado acoplamiento acústico entre el hormigón y la cara de cada palpador. Se puede utilizar vaselina, jabón líquido o glicerina para asegurar un íntimo contacto.

Se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de propagación de la onda en el hormigón y la distancia entre los transductores.

$$\text{Velocidad} = \text{Longitud trayectoria (mm)} / \text{Tiempo (microsegundo)}$$

Factores que influyen en las medidas de velocidad del impulso ultrasónico:

- Contenido de humedad: La velocidad se incrementará a medida que aumenta la humedad.
- Longitud de trayectoria: longitud mínima de trayectoria de 100 mm para un hormigón con tamaño máximo con agregado de 20 mm o menor.
- Efecto de las barras de armado: la influencia es significativa si las barras están en la dirección del impulso (en el acero es hasta dos veces mayor que en el hormigón).

- Grietas y coqueas: cuando un impulso encuentra en el hormigón una interface hormigón-aire, se produce una obstrucción del haz ultrasónico siendo mayor el tiempo de tránsito.

Bloques patrón de calibración

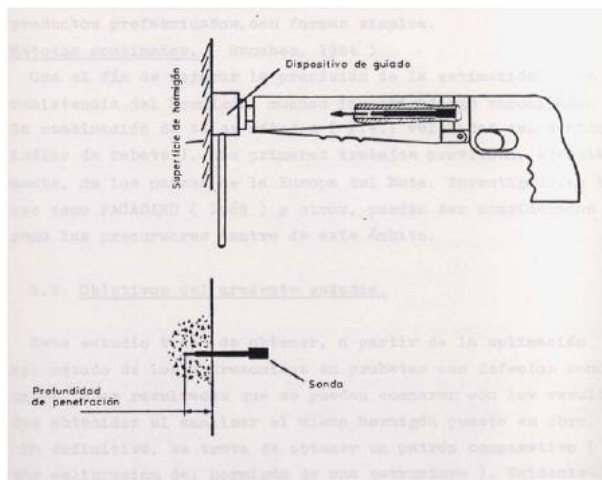
Son piezas de un material de composición, estado superficial, tratamiento térmico, y forma geométrica especificada, mediante los cuales se puede verificar y calibrar un aparato de ultrasonido. No han sido pensados para un ensayo hormigón, ya que su validez es universal.

Correlación de la velocidad del impulso y la resistencia

Las propiedades físicas que influyen en la velocidad del impulso son el módulo elástico y la densidad. En el hormigón estas propiedades dependen del tipo de árido, su dosificación, relación agua/cemento y madurez del hormigón. Por tanto, la velocidad del impulso dependerá de la mezcla específica del hormigón.

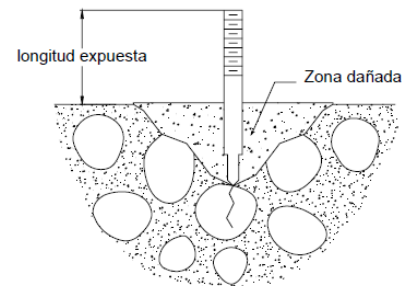
2.3.4. Ensayo con la pistola Windsor

Figura 2.7. Ensayo de la pistola Windsor



Fuente: (Rojas Reyes, 2010, pág. 12)

Figura 2.8. Forma aproximada de la zona de falla en el hormigón durante ensayo de penetración



Fuente: (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006, pág. 211)

Consiste en medir la resistencia del hormigón con el método de penetración no destructiva de una sonda de acero, plata u otro material, empujada en el material con una carga balística predeterminada y se realiza in situ para comprobar la calidad del hormigón. El

material de la sonda depende de la densidad esperada del hormigón a ensayar. Puede usarse en hormigón fresco y maduro, en estructuras horizontales y verticales, en hormigón pretensado o convencionalmente colocado, etc. No se recomienda para cascarones delgados de hormigón y para ensayar tuberías de hormigón. Las versiones antiguas, precisaban la calibración del aparato con una probeta de resistencia conocida.

Este sistema tiene un amplio uso para probar el hormigón in situ: para el hormigón convencionalmente colocado, para el hormigón pretensado, para las losas horizontales o verticales, para los suelos o cielos, para el hormigón fresco o maduro.

El sistema es seguro. La unidad impulsora no puede dispararse sin apretarla con cierta fuerza contra la plantilla que se apoya contra la superficie a examinar.

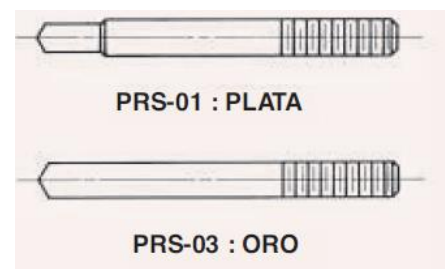
Está diseñado para evaluar en terreno la resistencia a la compresión del hormigón. No es destructivo y puede usarse con la misma efectividad en el hormigón fresco y maduro. Se obtienen también los mismos resultados precisos en las superficies horizontales o verticales siempre que la sonda esté perpendicular o en ángulo recto con la superficie a probar.

El ensayo de Sonda Windsor ha sido aprobado por organismos municipales, estatales y federales de los Estados Unidos de América igual que por varios otros países.

Las sondas

Hay dos ajustes disponibles para la potencia de la carga, baja y estándar. La potencia baja se usa donde la resistencia del hormigón es menor que 19.4 MPa. Las sondas están hechas de una aleación de alta resistencia especialmente termotratada y recocida para obtener una dureza de “Rockwell C-48”. El mecanizado especial de cada sonda elimina la concentración de tensiones. La sonda de oro se aconseja su uso para un hormigón liviano, menos de 2000 kg/m³ y la sonda de plata se usa con el hormigón que tiene una densidad mayor de 2000 kg/m³

Figura 2.9. Sonda



Fuente: (James, 2014, pág. 2)

2.3.4.1. Particularidades del ensayo con la sonda

Dependiendo del grado de deterioro de la sonda, esta debe ser renovada; El sistema de penetración con la sonda no es recomendada para resistencia del hormigón mayores a 28 MPa, debido a que la sensibilidad de la penetración decrece con el aumento de la resistencia del hormigón. (Realpe, 2016, pág. 33)

Calibración de los equipos de ensayos no destructivos. – La calibración del equipo se realizará con probetas elaboradas en el laboratorio de la UAJMS, con un solo tipo de material (Río Camacho en la zona de Charajas), a distintas edades (3, 5, 7, 10, 14, 21 y 28 días) y con distintas resistencias (21, 25 y 30 MPa).

2.4. Pruebas del hormigón endurecido

2.4.1. Efecto de la condición de los extremos del espécimen y del cabeceado.

Para evitar la reducción de la resistencia es esencial que las superficies de los extremos sean planas: la norma ASTM C617-94 requiere que las superficies de los extremos de un cilindro sean planas, dentro de 0.05 mm según se determina por medio de una regla recta y una lámina calibradora, y sean perpendiculares al eje del cilindro dentro de 0.5°. (Neville, 1999, pág. 405)

2.4.2. Influencia de la rapidez de aplicación de carga sobre la resistencia

No obstante, para que los resultados de la prueba sean comparables, el esfuerzo tiene que ser aplicado a una rapidez normalizada. La rapidez de carga de los especímenes de prueba a compresión esta prescrita por la norma ASTM C39-93 como 0.14 a 0.34 MPa/s, aunque puede aplicarse una rapidez mayor durante la primera mitad de la carga. La norma británica BS 1881: Parte 116:1983 prescribe una rapidez de 0.2 a 0.4 MPa/s, la cual tiene que mantenerse desde el principio hasta el final de la aplicación de la carga. (Neville, 1999, pág. 432)

2.4.3. Característica mecánica del hormigón

En cuanto a la resistencia característica especificada, se recomienda usar la siguiente serie:

20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100

En la cual las cifras indican la resistencia característica especificada del hormigón a compresión a 28 días, expresada en N/mm^2 . La resistencia de 20 N/mm^2 se limita en su utilización a hormigones en masa. Dicho de otro modo, la resistencia mínima del hormigón estructural es 25 N/mm^2 , valor que contrasta con los 17 N/mm^2 que para dicho mínimo establece la norma americana ACI. Con esta limitación se pretende asegurar una mayor durabilidad de las estructuras de hormigón.

En definitiva, los valores habituales de f_{ck} son 25, 30, 35 y 40 N/mm^2 para estructuras de edificación convencionales, reservándose los restantes valores de la serie para obras civiles importantes, pilares de edificios altos, obras de hormigón pretensado y prefabricación. (Montoya, 2009, pág. 59)

2.4.4. Requisitos de construcción a cumplir

Las muestras para ensayos de aceptación deben cumplir con (a) y (b):

- a) Las muestras para ensayos de resistencia deben tomarse de acuerdo con la norma ASTM C172M.
- b) Los cilindros para los ensayos de resistencia deben ser fabricados y curados de forma estándar de acuerdo con la norma ASTM C31M y deben ensayarse de acuerdo con la norma ASTM C39M.

El nivel de resistencia de una clase determinada de hormigón se considera satisfactorio si cumple con (a) y (b):

- a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f_c .
- b) Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que f_c en más de 3.5 MPa por debajo cuando f_c es 35 MPa o menos; o en más de $0.10 f_c$ por debajo cuando f_c es mayor a 35 MPa. (Randall W & Basile G., 2014, pág. 509)

2.5. Análisis de regresión

2.5.1. Conceptos generales

El estudio de la asociación entre variables contempla dos aspectos fundamentales:

- **El análisis de regresión.** Busca la forma matemática de la relación entre variables, es decir, se trata de encontrar una relación fundamental, que para el caso de dos variables será de la forma $Y = f(X)$, de manera que se pueda calcular el valor de una variable de acuerdo al valor que tome la otra variable.
- **El análisis de correlación.** Busca conocer el grado de relación entre dos variables, es decir, se trata de medir cuan relacionadas están entre si las variables. Por ejemplo, si se trata de establecer una relación entre el índice de rebote del esclerómetro y la resistencia a compresión del hormigón de una determinada muestra. El análisis de regresión trata de hallar una ecuación matemática que relacione un concepto con otro. El análisis de correlación trata de hallar un coeficiente que índice cuan relacionados están entre sí, ambos conceptos

Para lograr ecuaciones matemáticas que relacionan a las variables, previamente se deben recoger los datos de manera que se conformen tablas, desde las cuales se puede analizar con comodidad.

Para el caso de dos variables, se establece una tabla de la forma *Tabla 2.14. Puntos en un plano* indicada:

X	Y
X_1	Y_1
X_2	Y_2
X_3	Y_3
...	...
X_N	Y_N

Note que en la primera columna están los valores de la variable X, en la segunda columna están los elementos de la variable Y.

Un par de datos se lo expresara como: (X_i, Y_i)

Cada par de datos $(X_1, Y_1); (X_2, Y_2), (X_3, Y_3); \dots (X_N, Y_N)$ se considera como un punto en el plano.

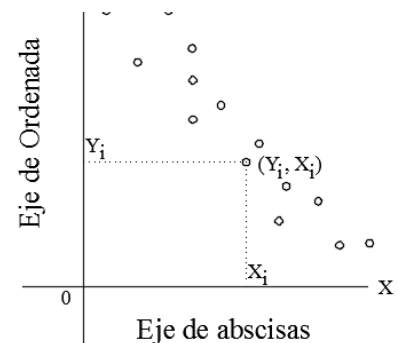
Fuente: (Chungara Castro, 2015)

2.5.1.1. Diagrama de dispersión

Se llama diagrama de dispersión, a los datos de una tabla, expresados como puntos en el plano coordenado. Dos rectas reales perpendicularmente dispuestas constituyen el plano real.

La recta horizontal se llama eje de coordenadas.

Figura 2.10. Nube de puntos



Fuente: Propia

Se expresa en forma general como (X, Y) a todo punto en el plano. Un punto conocido se designa por (X_i, Y_i) .

Al conjunto de puntos en el plano se lo llama también **nube de puntos**.

2.5.2. Tipos de regresión

En el análisis de regresión se procura conocer una ecuación o función que exprese la relación entre dos variables, sin embargo, debido a que existirá diversidad de ecuaciones posibles, debe buscarse aquella que mejor represente la relación.

2.5.2.1. Regresión lineal simple

Si a los puntos de un diagrama de dispersión se trata de representarlos cerca de una recta en el plano real, se llama regresión lineal simple.

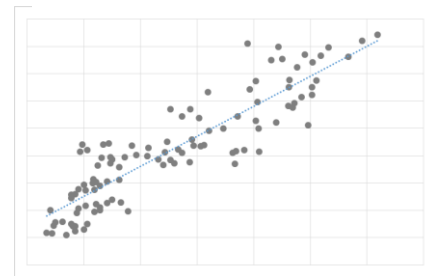
En el diagrama de dispersión adjunto, donde se ubicaron todos los puntos conocidos, se aprecia que es posible insertar una recta que estará razonablemente cercana a todos los puntos.

Es decir que es posible representar a todos los puntos por la ecuación de una recta.

Cuando se presenta un diagrama de dispersión de este tipo se dice que hay una relación lineal.

La ecuación de una recta es de la forma: $Y = a_0 + a_1 \times X$

Figura 2.11. Regresión lineal



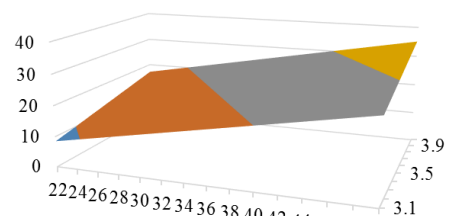
Fuente: Propia

2.5.2.2. Regresión lineal múltiple

Cuando las variables son tres o más y se trata de expresarlas por una ecuación lineal de varias variables, se llama regresión lineal múltiple.

Para el caso de tres variables, de acuerdo del diagrama de dispersión en el espacio, se trata de

Figura 2.12. Regresión múltiple



Fuente: Propia

hallar la ecuación de un plano, como muestra gráfica.

La ecuación a obtener en este caso será de la forma:

$$Z = a_0 + a_1 \times X + a_2 \times Y$$

2.5.2.3. Regresión no lineal

Para el caso de que los puntos de un diagrama de dispersión se tratan de representar por la ecuación de una curva, se efectúa el análisis de regresión no lineal.

Por ejemplo, si un conjunto de pares de datos muestra un diagrama de dispersión como el indicado en la gráfica adjunta.

La recta (L), no está muy cercana a todos los puntos, siendo preferible insertar una curva C como mejor aproximación a todos los puntos.

Cuando se presenta un diagrama de dispersión de este tipo se dice que hay una relación no lineal.

Si se va a ajustar a una parábola (segundo grado), la ecuación debe ser de la forma:

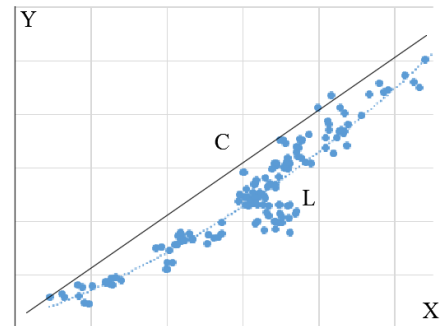
$$Y = a_0 + a_1 \times X + a_2 \times X^2$$

2.5.3. Ajuste de curvas

Cuando a partir de un conjunto de datos, se tiene un diagrama de dispersión, es decir un conjunto de puntos en el plano, se entiende por ajustar los puntos a una curva o recta, el obtener la ecuación de la curva o recta que más se aproxime a todos esos puntos.

Para ajustar a una recta o curva, se emplea el método matemático llamado de mínimos cuadrados.

Figura 2.13. Regresión no lineal



Fuente: Propia

A partir del diagrama de dispersión indicado en la gráfica adjunta, y asumiendo que se lo está ajustando a la curva insertada.

Los puntos del diagrama de dispersión en forma general se expresan por: (X_i, Y_i) .

Para cierto valor de X, por ejemplo X_1 entre su valor correspondiente de Y_1 con respecto al valor de la curva ya obtenida existirá una diferencia D_1 .

Note que algunos casos la diferencia será positiva (D_1, D_3), en otros casos negativa (D_2).

Una medida de la separación entre puntos y curva obtenida es:

$$S = D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 + \dots + D_N^2$$

Los cuadrados hacen que las diferencias sean todas positivas. Se debe procurar que S sea lo más pequeño posible ya que ello significara una mejor aproximación. Obviamente si S es grande significara menor aproximación.

En caso ideal ($S=0$) seria hallar una ecuación que contenga a todos los puntos del diagrama de dispersión.

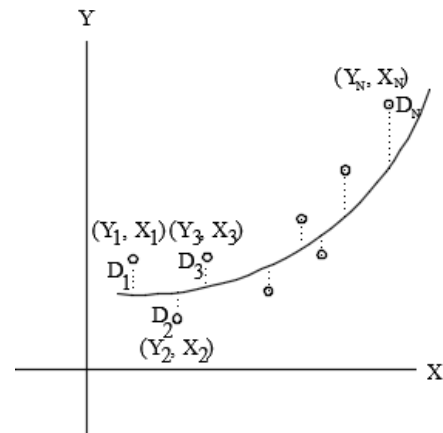
Una curva, que se ajusta de acuerdo al criterio de que S sea más pequeño, se llama curva de mínimos cuadrados, porque se está considerando el mínimo del cuadrado de la desviación S.

Si se ajusta una recta con el criterio de que S sea lo más pequeño, se llama recta de mínimos cuadrados. (Chungara Castro, 2015, pág. 127)

2.6. Técnicas no destructivas para diagnóstico de elementos constructivo

Muchas son las técnicas que se pueden emplear, aunque en ocasiones es necesaria una gran especialización para poder interpretar resultados o bien es necesario disponer de unas tecnologías muy caras que además tienen que ser realizadas en laboratorio tras la

Figura 2.14. Ajuste de curvas



Fuente: Propia

extracción de muestras. Este tipo de técnicas son empleadas mayoritariamente para la evaluación y diagnóstico de patrimonio arquitectónico, donde la antigüedad y particularidad de las edificaciones obligan a análisis muy exhaustivos que escapan del objeto de este trabajo de investigación.

No todas las técnicas pueden ser utilizadas para obtener los mismos resultados, incluso en ocasiones es conveniente la combinación de varias de ellas para poder realizar correctamente el estudio, utilizando una de ellas para la localización de anomalías y la otra para la cuantificación o valoración de las mismas.

Desde luego, el procedimiento de inspección, evaluación y diagnóstico del edificio a rehabilitar debe ser rigurosamente planificado, de manera que antes de iniciar la inspección deberemos haber realizado una investigación previa para poder anticiparnos aproximadamente a lo que nos vamos a encontrar, en función de la edad del edificio, tipo de construcción, estructura y otros muchos factores que acompañados por la experiencia nos ayudarán a decidir cuál de las técnicas o combinación de las mismas deberemos utilizar para el correcto diagnóstico.

No deberíamos limitar la utilización de ensayos no destructivos al ámbito de la rehabilitación, ya que pueden ser utilizados también en la práctica pericial, para averiguar procedencia de defectos constructivos que de otro modo serían imposibles de encontrar, ni mucho menos cuantificar objetivamente.

También podemos controlar estructuras de hormigón, detección de oquedades, capacidad resistente de elementos estructurales antes de su puesta en servicio, comprobar la posición de armados, comprobación de continuidad de aislamientos, detección de puentes térmicos y un sin fin de aplicaciones que pueden facilitar la labor del control de calidad de la edificación. (Alario Catala, 2011, pág. 1)

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Caracterización de los materiales

Los resultados obtenidos en laboratorio para poder calcular el promedio que se encuentra en los siguientes cuadros de este capítulo, se encuentra en el número de anexo mencionado en cada tabla.

3.1.1. Cemento

Tabla 3.1. Cálculo del módulo de finura del cemento¹

Nombre	\bar{X}	Unidad o símbolo matemático
Masa del cemento	50	g
Masa del cemento Retenido en el tamiz N°40	0.13	g
Masa del cemento Retenido en el Tamiz N°200	1.23	g
Porcentaje de material retenido en los tamices	2.73	
Finura del cemento (F)	97.27	%

Fuente: Propia

Tabla 3.2. Cálculo del peso específico del cemento²

Nombre	Promedio	Unidad
Masa del cemento (M_c)	64	g
Volumen de Matraz	300	ml
Volumen de Matraz + Cemento	321	ml
Volumen desplazado del cemento (V_{dc})	21	ml
Peso específico (γ)	3.05	g/cm^3

Fuente: Propia

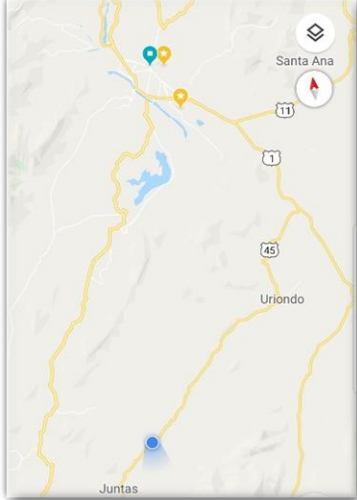


¹ (Guía de Laboratorio de Hormigon, Diaz Ayarde, 2017, pág. 11)

² (Guía de Laboratorio de Hormigon, Diaz Ayarde, 2017, pág. 12)

3.1.2. Agregado

Tabla 3.3. Lugar de procedencia de los áridos

Ubicación	Zona	Coordenadas	
Bolivia – Tarija – Avilés – Chocloca - Rio Camacho	20 K	Este: 316952.80 m E	Norte: 7590262.48 m S

		
--	---	--

Fuente: Propia

Aprovechando el convenio de la universidad con el servicio departamental de camino, se decidió traer material de manera gratuita de la ubicación ya mencionada.

Tabla 3.4. Extracción y preparación de las muestras. (ASTM C 75)³

Extracción de grava y arena para la caracterización de los agregados en laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho	
	
Extracción de grava y arena por metro cúbico para la elaboración de las probetas de hormigón	
	

Fuente: Propia

Como podemos ver en la fotografía, se cargó gran cantidad de material para la elaboración de probetas de este trabajo de investigación.

³ Anexo 1.3. Método para extraer y preparar la muestra (ASTM C 75)

Tabla 3.5. Cuarteo de la muestra (ASTM C 702)⁴

Se cuarteo la grava y la arena con el cuarteador de la universidad donde se realizó esta investigación.



Fuente: Propia

Tabla 3.6. Granulometría agregado grueso (ASTM C 136)⁵

Tamices	% que pasa del total	ASTM C-33	
2"	100.00	100	100
1 1/2 "	100.00	100	100
1"	100.00	95	100
3/4"	99.50	-	-
1/2"	31.30	25	60
3/8"	6.20	-	-
Nº 4	0.10	0	10
base	0.00		
TMN	3/4"	TM	1"
Perdidas %	0.1		

Fuente: Propia

⁴ Anexo 1.4. Método para el cuarteo de la muestra (ASTM C 702)

⁵ Anexo 1.5. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136)

Tabla 3.7. Granulometría del agregado fino (ASTM C-136)⁶

Tamices	% que pasa del total	Especificaciones (ASTM C-33)	
N°4	100	95	100
N°8	88.44	-	-
N°16	68.16	45	80
N°30	45.1	-	-
N°50	19.66	10	30
N°100	4.96	2	10
N°200	0.94		
Base	0		
MF	2.74		

Fuente: Propia

Tabla 3.8. Porcentaje de fino en la arena⁷

Nombre	Promedio	Unidad o Símbolo
Contenido de material fino inferior que 0.075 mm (A)	1.3	%
Masa inicial de la muestra de ensayo seco (B)	500	g
Masa de la muestra de ensayo lavada y seca (C)	493.7	g

Fuente: Propia

Tabla 3.9. Humedad de la grava⁸

Nombre	\bar{X}	Unidad o símbolo
Masa original de la muestra (W)	3000	g
Masa de la muestra seca (D)	2986.3	g
Humedad de la muestra en porcentaje (wp)	0.46	%
Masa del agua	13.67	g

Fuente: Propia

⁶ Anexo 1.5. Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136)

⁷ Anexo 1.6. Método para determinar el material fino menor que 0.075 mm (ASTM 117)

⁸ Anexo 1.7. Contenido total de agua de los áridos por secado (ASTM C 566)

Tabla 3.10. Humedad de la arena⁹

Nombre	\bar{X}	Unidad o símbolo
Masa original de la muestra (W)	500	g
Masa de la muestra seca (D)	496.96	g
Humedad de la muestra en porcentaje (wp)	0.61	%
Masa del agua	3.04	g

Fuente: Propia

Tabla 3.11. Densidad aparente de la grava¹⁰

Nombre	\bar{x}	Unidad o símbolo
Masa de árido compactado que llena la medida (mc)	15.0	kg
Capacidad volumétrica de la medida (V)	0.00970	m ³
Densidad aparente compactada (ρ_{as})	1552	kg/m ³
Masa de árido suelto que llena la medida (ms)	13.9	kg
Densidad aparente suelta (ρ_{as})	1436	kg/m ³
Densidad real seca de áridos ¹¹ (ρ_{RS})	2599.5	kg/m ³
Contenido de huecos (H)	44.7	%

Fuente: Propia

⁹ Anexo 1.7. Contenido total de agua de los áridos por secado (ASTM C 566)

¹⁰ Anexo 1.9. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos grueso (ASTM C 127)

¹¹ Tabla 3.13. Densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos grueso

Tabla 3.12. Densidad aparente de la arena¹²

Nombre	Promedio	Unidad o símbolo
Capacidad volumétrica de la medida (V)	0.00301	m ³
Masa de árido compactado que llena la medida (mc)	5.0	kg
Densidad aparente compactada (ρ_{ac})	1674	kg/m ³
Masa de árido suelto que llena la medida (ms)	4.4	kg
Densidad aparente suelta (ρ_{as})	1465	kg/m ³
Densidad real seca de áridos ¹³ (ρ_{RS})	2592	kg/m ³
Contenido de huecos (H)	43.5	%

Fuente: Propia

Tabla 3.13. Densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos grueso¹⁴

Nombre	\bar{X}	Unidad o símbolo matemático
Masa del árido saturado superficialmente seco (M_{SSS})	4000	g
Masa del árido seco (M_S)	3941.7	g
Masa del árido sumergido (M_{SUM})	2483.7	g
Densidad real de áridos seco (ρ_{RS})	2599.5	kg/m ³
Densidad real del áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT})	2638.0	kg/m ³
Densidad neta (ρ_N)	2703.5	kg/m ³
Absorción de agua (α)	1.48	%

Fuente: Propia

¹² Anexo 1.8. Método para determinar la densidad aparente (ASTM E 30)

¹³ Tabla 3.14. Densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos fino

¹⁴ Anexo 1.9. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos grueso (ASTM C 127)

Tabla 3.14. Densidad real, densidad neta, y absorción del agua en áridos fino¹⁵

Nombre	Promedio	Unidad o símbolo
Masa de la muestra seca (M_S)	490.45	g
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (M_{SSS})	500.00	g
Masa del matraz con agua hasta la marca de la calibración (M_a).	706.85	g
Masa del matraz con la muestra más agua hasta la marca de calibración (M_m).	1016.65	g
Densidad Real de áridos saturado superficialmente seco (ρ_{RT})	2642.32	kg/m ³
Densidad Real de áridos Seco (ρ_{RS}).	2591.87	kg/m ³
Densidad Neta (ρ_N)	2730.30	kg/m ³
Absorción de Agua (α).	1.95	%

Fuente: Propia

3.2. Dosificación por el método ACI

Conocido anteriormente el procedimiento de cálculo (Anexo 2.1. Explicación del procedimiento realizado para la dosificación), y dada las características de los materiales (Tabla 3.15), realizamos la dosificación del hormigón para 21 MPa, 25 MPa (Anexo 2.2. Dosificación de 25 MPa) y 30 MPa.

¹⁵ Anexo 1.10. Método para determinar la densidad real, la densidad neta, y la absorción de agua en áridos fino (ASTM C 128)

Tabla 3.15. Característica de los materiales

Ensayo	Cantidad	Unidad o símbolo	Ubicación
1.- Densidad del cemento (El Puente)	3.05	gr/cm ³	Anexo 1.2
2.- Módulo de finura de la arena	2.74	s/u	Anexo 1.5
3.-Tamaño máximo Nominal (TMN)	0.75	plg	
4.-Tamaño Máximo (TM)	1	plg	
5.-Humedad de la arena (H _a)	0.61	%	Anexo 1.7
6.-Humedad de la grava (H _g)	0.46	%	
7.- Densidad aparente compactada	1551.71	kg/m ³	Anexo 1.8
8.-Densidad Neta de la grava	2.704	gr/cm ³	Anexo 1.9
9.- Absorción de agua de la grava (A _g)	1.48	%	
10.- Densidad neta de la arena	2.730	gr/cm ³	Anexo 1.10
11.- Absorción de agua de la arena (A _a)	1.95	%	

Fuente: Propia

3.2.1. Dosificación de 21 MPa

Paso 1. Se especifica un revenimiento de 75 mm (Tabla 2.5).

Paso 2. Se especifica un tamaño máximo de 25.4 mm (Tabla 2.4).

Paso 3. A partir de la Tabla 2.7, para un tamaño máximo de 25.4 mm, seleccionamos un porcentaje de vacío de 1.5 %.

Paso 4. A partir de la Tabla 2.6, para un revenimiento de 75 mm y un tamaño máximo de agregado de 25.4 mm, el agua requerida es de 188 kg por metro cúbico de hormigón.

Paso 5. Como no tenemos registros estadísticos en la elaboración de probetas de hormigón, utilizamos la Tabla 2.3, para proyectar nuestra resistencia de 21 MPa a 29.5 MPa.

Paso 6. A partir de la Tabla 2.2, y teniendo una resistencia de 29.5 MPa; la relación agua-cemento sería de 0.49.

Paso 7. El contenido de cemento es $188/0.49= 383.67$ kg para un metro cúbico de hormigón.

Paso 8. A partir de la Tabla A2. 2, cuando se emplea un agregado fino que tiene un módulo de finura de 2.74, el volumen aparente de agregado grueso secado en horno y varillado, con un tamaño máximo de 25.4 mm, es 0.626. Dado que la densidad aparente del agregado grueso es 1551 kg/m^3 , la masa del agregado grueso es $0.626 \times 1551 = 970.93$ kg, para un metro cúbico de hormigón.

Paso 9. Para calcular la masa del agregado fino, necesitamos primero calcular el volumen de todos los otros ingredientes. Los valores requeridos son los que siguen.

Tabla 3.16. Cálculo de la masa de la arena del hormigón de 21 MPa

Materiales	Masa (kg)	Densidad neta (kg/m^3)	Volumen (m^3)
Grava	971	2704	0.359
Cemento	383.67	3050	0.126
Agua	188	1000	0.188
Aire	----	----	0.015
Total	1542.67		0.688

Fuente: Propia

Volumen de arena requerido = $1 - 0.688 = 0.312 \text{ m}^3$

Masa de la arena que se requiere = $0.312 \times 2730 = 851.6 \text{ kg}$

Paso 10. Corrección por humedad y absorción:

Tabla 3.17. Corrección por humedad y absorción de un hormigón de 21 MPa

La cantidad de material que se presenta en este cuadro es para un metro cúbico de hormigón						
Proporción Base	Masa seca (kg)	Humedad		Adsorción		Proporción real (kg)
		%	kg	%	kg	
Grava	971.37	0.46%	4.47	1.48%	14.38	975.84
Arena	851.6	0.61%	5.19	1.95%	16.58	856.79
Cemento	384					384
Agua	188		9.66		30.96	209.29

Fuente: Propia

3.2.2. Dosificación de 30 MPa con el uso de ViscoCrete 5-800

Paso 1. Se especifica un revenimiento de 0 mm de la Tabla 2.5, por el uso del aditivo ViscoCrete 5-800.

Paso 2. Se especifica un tamaño máximo de 25.4 mm

Paso 3. A partir de la Tabla 2.7, para un tamaño máximo de 25.4 mm, seleccionamos un porcentaje de vacío de 1.5 %.

Paso 4. A partir de la Tabla 2.6, para un revenimiento de 0 mm y un tamaño máximo de agregado de 25.4 mm, el agua requerida es de 171 kg por metro cúbico de hormigón.

Paso 5. Como no tenemos registros estadísticos en la elaboración de probetas de hormigón, utilizamos la Tabla 2.3, para proyectar nuestra resistencia de 30 MPa a 38.5 MPa.

Paso 6. A partir de la Tabla 2.3, y teniendo una resistencia de 38.5 MPa; la relación agua-cemento sería de 0.4.

Paso 7. El contenido de cemento es $171/0.4 = 428$ kg para un metro cúbico de hormigón, la cantidad de aditivo que se echa al hormigón es igual al 1% de la masa del cemento Figura A2. 2, en este caso 4.28 ml.

Paso 8. A partir de la Tabla A2. 2, cuando se emplea con un agregado fino que tiene un módulo de finura de 2.74, el volumen aparente de agregado grueso secado en horno y

varillado, con un tamaño máximo de 25.4 mm, es 0.626. Dado que la densidad aparente del agregado grueso es 1551 kg/m³, la masa del agregado grueso es 0.626 x 1551 = 970.93 kg, para un metro cúbico de hormigón.

Paso 9. Para calcular la masa del agregado fino, necesitamos primero calcular el volumen de todos los otros ingredientes. Los valores requeridos son los que siguen.

Tabla 3.18. Cálculo de la masa de la arena del hormigón de 30 MPa

Materiales	Masa (kg)	Densidad neta (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Grava	971	2704	0.359
Cemento	428	3050	0.14
Agua	171	1000	0.171
Aire	----	----	0.015
Total	1570		0.685

Fuente: Propia

Volumen de arena requerido = 1 – 0.685 = 0.315 m³

Masa de la arena que se requiere = 0.315 x 2730 = 858.78 kg

Paso 10. Corrección por humedad y absorción:

Tabla 3.19. Corrección por humedad y absorción de un hormigón de 30 MPa

Masa seca de los materiales para 1 m ³ de hormigón		Corrección por humedad y absorción				
Proporción base	Masa seca (kg)	Humedad		Adsorción		Proporción real (kg)
		%	kg	%	kg	
Grava	971	0.46%	4.47	1.48%	14.38	975.84
Arena	858.78	0.61%	5.24	1.95%	16.72	864.02
Cemento	428					427.50
Agua	171		9.71		31.10	192.39

Fuente: Propia

Tabla 3.20. Dosificación de 21, 25 y 30 MPa

Proporción real (kg)	21 MPa	25 MPa ¹⁶	30 MPa
Grava	975.84	975.84	975.84
Arena	856.79	796.3	864.02
Cemento	383.67	450.84	427.50
Agua	209.29	208.49	192.39
Aditivo			4.28

Fuente: Propia

3.3. Aplicación de los equipos de END en probetas de hormigón y cálculo del error absoluto

3.3.1. Esclerómetro (ASTM C805-02)

3.3.1.1. Aplicación del esclerómetro en posición vertical (-90°)

La descripción del método y la determinación del índice de rebote del esclerómetro obtenido en laboratorio para poder calcular el promedio de la siguiente Tabla 3.21. Promedio del índice de rebote, se encuentra en el Anexo 3.2. Determinación del índice de rebote utilizando el esclerómetro (ASTM C805-02)

¹⁶ Anexo 2.2. Dosificación de 25 MPa

Tabla 3.21. Promedio del índice de rebote (-90°)¹⁷

Resistencia	N°	Índice de rebote (-90°)						
21 MPa	1	22.38	22.69	28.38	26.74	27.06	29.14	29.79
	2	23.13	24.25	26.19	28.17	28.43	28.75	30.07
	3	23.00	23.56	25.81	27.13	29.38	28.44	29.33
	4	22.69	23.06	24.44	26.59	28.25	29.19	33.47
	5	21.69	23.38	28.25	26.38	27.60	29.75	28.53
	6	21.94	23.81	29.19	26.97	29.71	29.38	30.64
	7	21.88	23.31	27.25	25.26	29.29	29.06	30.81
	8	22.56	23.44	25.63	26.75	27.87	28.44	31.23
	9	22.00	22.56	26.88	27.06	27.38	27.47	31.36
	10	22.63	22.81	26.33	28.60	27.43	28.75	32.00
	11	22.69	23.00	23.93	27.17	29.07	27.94	32.00
	12	22.25	22.56	25.25	27.04	28.86	29.44	29.27
25 MPa	1	23.56	23.94	27.43	31.19	30.20	32.36	34.93
	2	23.06	24.00	26.46	27.53	29.00	32.54	33.27
	3	23.38	23.69	26.75	28.50	30.38	31.36	32.57
	4	22.81	22.88	27.93	30.84	32.27	32.13	31.69
	5	24.31	23.13	27.06	27.63	29.33	34.86	34.85
	6	23.44	23.88	28.44	28.00	29.06	31.93	36.00
	7	24.56	24.69	29.80	26.94	31.69	34.25	35.43
	8	21.81	25.94	30.93	28.25	33.47	34.13	32.63
	9	24.00	26.81	29.17	28.69	32.33	32.19	34.69
	10	23.56	22.94	29.07	28.53	31.47	32.07	34.87
	11	23.81	24.00	30.38	28.78	30.53	33.53	34.46
	12	22.75	23.63	26.07	27.56	31.40	32.57	33.06
30 MPa	1	25.29	29.07	28.79	32.21	34.25	38.44	40.44
	2	25.86	31.21	30.00	33.44	33.38	39.00	38.40
	3	24.86	27.38	32.33	32.63	33.00	37.13	38.20
	4	23.33	30.69	29.63	33.17	35.31	35.88	38.67
	5	28.67	28.86	33.38	34.93	34.57	37.29	38.46
	6	23.50	30.25	30.81	33.27	36.50	35.47	39.56
	7	28.33	31.06	31.64	31.57	35.53	37.29	38.21
	8	26.73	30.44	31.07	32.10	35.21	39.67	41.00
	9	26.47	31.07	29.87	31.79	34.31	37.94	37.93
	10	24.25	29.13	30.53	33.30	34.87	37.29	40.13
	11	27.13	30.27	32.83	34.84	34.64	37.27	40.73
	12	26.06	30.21	31.38	32.29	34.19	38.71	39.87
Edad (días)		3	5	7	10	14	21	28

Fuente: Elaboración conjunta con el tesista Agustín Romero

¹⁷ Anexo 3.2. Determinación del índice de rebote utilizando el esclerómetro (ASTM C805-02)

Tabla 3.22. Error absoluto del esclerómetro¹⁸

Resistencia	Promedio del error absoluto						
21 MPa	0.88	0.93	1.06	1.15	2.01	1.43	1.74
25 MPa	0.90	0.78	1.69	0.69	1.73	1.98	1.97
30 MPa	1.44	1.52	1.60	1.30	2.07	1.82	1.88
Edad (días)	3	5	7	10	14	21	28
Promedio	1.46						

Fuente: Propia

3.3.1.2. Aplicación del esclerómetro en posición horizontal (0°)

Tabla 3.23. Promedio del índice de rebote (0°)¹⁹

N°	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad del hormigón (días)	Ángulo de aplicación	Tipo de hormigón	Índice de rebote	Promedio de rebote
1	16/08/2019	13/09/2019	28	0°	21 MPa	34.47	33.87
2						32.60	
3						33.94	
4						35.00	
5						32.27	
6						34.75	
7						34.67	
8						33.56	
9						34.80	
10						32.81	
11						34.73	
12						32.87	

Fuente: Elaboración conjunta con el tesista Agustin Romero

¹⁸ Anexo 3.2. Determinación del índice de rebote utilizando el esclerómetro (ASTM C805-02)

¹⁹ Tabla A3. 12. Análisis del ángulo de aplicación del esclerómetro

3.3.1.3. Variación del índice de rebote (-90° y 0°)

Tabla 3.24. Promedio de la variación del índice de rebote (-90° y 0°)²⁰

N°	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad del hormigón (días)	Ángulo de aplicación	Tipo de hormigón	Índice de rebote	Promedio de rebote
1	19/08/2019	16/09/2019	28	-90°	21 MPa	29.79	30.71
2						30.07	
3						29.33	
4						33.47	
5						28.53	
6						30.64	
7						30.81	
8						31.23	
9						31.36	
10						32.00	
11						32.00	
12						29.27	
1	16/08/2019	13/09/2019	28	0°	21 MPa	34.47	33.87
2						32.60	
3						33.94	
4						35.00	
5						32.27	
6						34.75	
7						34.67	
8						33.56	
9						34.80	
10						32.81	
11						34.73	
12						32.87	
Variación del índice de rebote							3.16

Fuente: Elaboración conjunta con el tesista Agustín Romero

3.3.2. Ultrasonido (ASTM C 215 – 2002)

La descripción del método y la determinación de la velocidad del pulso ultrasónico en el hormigón obtenido en laboratorio para poder calcular el promedio de la siguiente Tabla 3.25, se encuentra en el Anexo 3.3. Determinación de la velocidad de pulso a través del hormigón (ASTM C597-02).

²⁰ Tabla A3. 12. Análisis del ángulo de aplicación del esclerómetro

Tabla 3.25. Promedio de la velocidad del pulso ultrasonido²¹

Resistencia	Nº	Velocidad del ultrasonido (km/s)						
21 MPa	1	3.296	3.483	3.569	3.875	3.801	3.884	3.789
	2	3.374	3.513	3.611	3.818	3.767	3.935	3.495
	3	3.311	3.510	3.576	3.823	3.876	3.786	3.786
	4	3.155	3.496	3.606	3.863	3.797	3.727	3.866
	5	3.159	3.499	3.634	3.756	3.803	3.784	3.783
	6	3.174	3.524	3.565	3.862	3.799	3.751	3.823
	7	3.282	3.520	3.703	3.793	3.737	3.770	3.699
	8	3.267	3.522	3.528	3.785	3.824	3.759	3.728
	9	3.224	3.470	3.609	3.785	3.737	3.710	3.866
	10	3.192	3.499	3.636	3.820	3.839	3.765	3.808
	11	3.230	3.513	3.588	3.771	3.656	3.728	3.734
	12	2.936	3.480	3.704	3.731	3.643	3.721	3.793
	1	3.358	3.630	3.870	3.775	3.856	3.981	3.957
	2	3.338	3.521	3.840	3.793	3.506	3.902	4.017
	3	3.400	3.559	3.816	3.859	3.872	3.938	4.042
	4	3.351	3.542	3.676	3.743	3.897	3.789	3.952
	5	3.355	3.622	3.762	3.842	3.861	3.817	4.076
	6	3.379	3.536	3.675	3.797	3.922	3.847	4.089
	7	3.305	3.539	3.768	3.751	3.815	3.974	3.974
	8	3.265	3.425	3.552	3.740	3.812	3.732	3.805
	9	3.365	3.496	3.781	3.731	3.860	3.757	3.947
	10	3.338	3.643	3.701	3.731	3.759	3.863	3.944
	11	3.283	3.468	3.705	3.716	3.775	3.852	3.917
	12	3.279	3.444	3.715	3.687	3.851	3.757	3.964
30MPa	1	3.531	3.732	4.032	3.856	4.088	4.163	4.355
	2	3.568	3.771	3.948	3.811	4.102	4.082	4.296
	3	3.534	3.726	3.872	3.780	4.070	4.030	4.069
	4	3.434	3.704	3.809	3.840	4.089	3.967	4.150
	5	3.508	3.648	3.917	3.840	4.049	3.955	4.206
	6	3.506	3.647	3.878	3.743	4.012	3.825	4.070
	7	3.471	3.709	3.852	3.752	3.923	3.856	4.206
	8	3.486	3.574	3.817	3.806	3.968	3.932	4.178
	9	3.546	3.690	3.842	3.783	3.925	3.814	4.058
	10	3.452	3.560	3.703	3.813	3.925	3.896	4.045
	11	3.524	3.611	3.796	3.796	3.874	3.843	4.126
	12	3.445	3.613	3.664	3.726	3.849	3.868	4.077
Edad (días)		3	5	7	10	14	21	28

Fuente: Elaboración conjunta con el tesista Daniel Lema

²¹ Anexo 3.3. Determinación de la velocidad de pulso a través del hormigón (ASTM C597-02)

Tabla 3.26. Error absoluto del ultrasonido²²

Resistencia	Promedio del error absoluto						
21 MPa	0.214	0.094	0.150	0.169	0.097	0.105	0.155
25 MPa	0.220	0.081	0.113	0.087	0.117	0.137	0.088
30 MPa	0.112	0.068	0.072	0.068	0.079	0.072	0.104
Edad (días)	3	5	7	10	14	21	28
Promedio	0.114						

Fuente: Propia

3.3.3. Método de ensayo estándar para la resistencia a la penetración del hormigón endurecido (ASTM C 803 – 2003)

La descripción del método y la determinación de la distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón para poder calcular el promedio de la siguiente Tabla 3.27. Promedio de la distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón, se encuentra en el **Anexo 3.4. Determinación de la resistencia a la penetración en el hormigón endurecido (ASTM C803-03)**.

Tabla 3.27. Promedio de la distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón (parte 1)

Datos generales			Ensayo de la pistola Windsor (ASTM C 803)			
Nº	Edad del hormigón	Tipo de hormigón	Distancia total de la sonda	Distancia de la sonda en la superficie (cm)		Promedio (cm)
				1	2	
1	3 días	21 MPa	8 cm	4.85	4.8	4.83
2	5 días		8 cm	5	5.05	5.03
3	7 días		8 cm	5.35	5.45	5.40
4	10 días		8 cm	5.5	5.55	5.53
5	14 días		8 cm	5.5	5.55	5.53
6	21 días		8 cm	5.55	5.6	5.58
7	28 días		8 cm	5.75	5.75	5.75
8	3 días	25 MPa	8 cm	5.05	5.1	5.08
9	5 días		8 cm	5.45	5.5	5.48
10	7 días		8 cm	5.35	5.45	5.40
11	10 días		8 cm	5.45	5.45	5.45
12	14 días		8 cm	5.65	5.75	5.70
13	21 días		8 cm	6.1	6.1	6.10
14	28 días		8 cm	6.3	6.35	6.33

Fuente: Propia

²² Anexo 3.3. Determinación de la velocidad de pulso a través del hormigón (ASTM C597-02)

Tabla 3.28. Promedio de la distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón (parte 2)²³

Datos generales			Ensayo de la pistola Windsor (ASTM C 803)			
N°	Edad del hormigón	Tipo de hormigón	Distancia total de la sonda	Distancia de la sonda en la superficie (cm)		Promedio (cm)
				1	2	
15	3 días	30 MPa	8 cm	4.95	5.05	5.00
16	5 días		8 cm	5.55	5.65	5.60
17	7 días		8 cm	6.1	6.2	6.15
18	10 días		8 cm	6.1	6.15	6.13
19	14 días		8 cm	6.25	6.3	6.28
20	21 días		8 cm	6.65	5.95	6.65

Fuente: Propia

3.4. Ensayo de rotura de probetas de hormigón a compresión

Tabla 3.29. Ensayo de probetas a compresión (parte 1)

Resistencia	N°	Rotura de probeta a compresión (MPa)						
21 MPa	1	9.20	12.19	15.34	16.85	16.85	18.44	22.40
	2	10.00	13.25	14.45	15.87	18.45	20.01	21.28
	3	9.62	12.79	14.34	15.96	17.40	20.12	20.38
	4	9.50	12.49	14.88	16.02	17.68	18.59	20.94
	5	9.37	12.52	15.21	16.10	17.42	19.36	22.35
	6	9.87	13.10	15.28	16.53	18.67	19.44	22.39
	7	9.33	13.00	15.80	16.84	16.98	18.99	21.58
	8	10.00	13.08	14.74	16.23	18.52	19.17	20.54
	9	10.14	11.90	15.74	16.97	18.55	19.30	20.39
	10	9.85	12.56	15.46	17.27	17.68	20.16	22.05
	11	9.86	12.87	14.47	15.55	17.98	20.35	20.86
	12	10.17	12.13	14.99	16.79	16.82	18.76	21.08
Edad (días)		3	5	7	10	14	21	28

Fuente: Propia

²³ Anexo 3.4. Determinación de la resistencia a la penetración en el hormigón endurecido (ASTM C803-03)

Tabla 3.30. Ensayo de probetas a compresión (parte 2)

Resistencia	N°	Rotura de probeta a compresión (MPa)						
25 MPa	1	11.02	14.88	16.82	18.84	20.52	22.64	25.56
	2	11.34	14.72	17.87	18.52	20.64	24.62	25.20
	3	10.89	15.81	18.42	19.90	21.17	23.35	25.10
	4	11.14	15.28	17.00	19.63	22.50	22.22	25.45
	5	11.59	15.41	17.75	18.69	20.77	22.87	23.89
	6	11.47	15.89	17.89	18.47	22.64	23.85	23.84
	7	10.95	15.74	17.45	18.55	22.49	24.08	26.05
	8	11.00	16.02	17.22	19.27	22.08	24.36	25.47
	9	11.78	16.18	16.99	18.73	20.87	24.12	24.77
	10	11.21	15.82	17.56	19.24	21.04	22.47	24.21
	11	11.56	14.75	18.54	19.08	21.89	24.50	24.78
	12	10.80	14.87	18.42	18.83	21.95	24.07	25.18
30 MPa	1	15.60	20.46	23.22	24.52	25.47	29.52	29.89
	2	15.27	20.52	22.08	22.27	27.06	29.26	30.43
	3	15.06	19.65	22.25	23.51	27.12	28.81	29.07
	4	13.28	19.30	22.00	23.47	26.84	27.08	29.97
	5	15.44	19.87	23.85	23.92	26.24	27.59	30.69
	6	14.29	20.04	22.40	22.44	26.91	28.44	30.20
	7	14.41	20.02	22.94	22.56	26.34	28.88	30.80
	8	14.52	18.84	21.85	24.54	25.41	28.72	32.09
	9	15.21	19.47	22.97	23.88	25.55	27.20	29.87
	10	14.16	18.94	21.50	24.21	25.98	27.63	30.14
	11	15.69	20.55	23.42	24.56	25.06	27.04	30.59
	12	14.71	18.67	22.32	24.70	24.64	28.20	31.83
Edad (días)		3	5	7	10	14	21	28

Fuente: Propia

Tabla 3.31. Resistencia de las probetas que fueron aplicadas con el esclerómetro en posición horizontal

Resistencia	Nº	Rotura de probeta a compresión (MPa)
21 MPa	1	19.94
	2	20.01
	3	20.7
	4	21.04
	5	22.15
	6	22.08
	7	22.05
	8	21.17
	9	20.94
	10	21.89
	11	20.96
	12	20.1
Edad (días)	28	

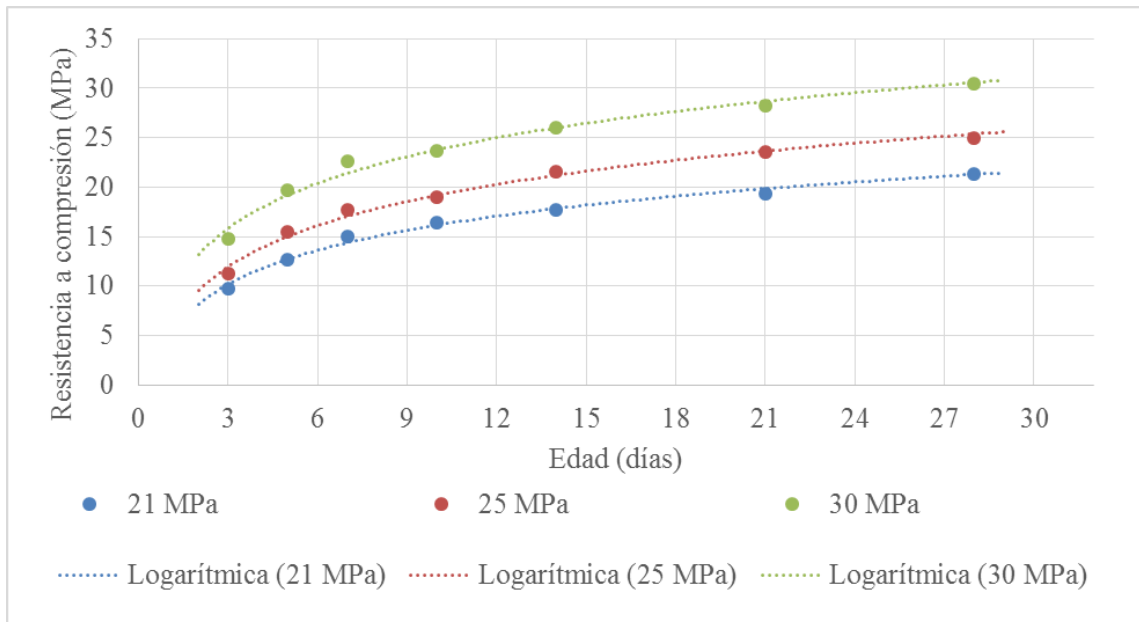
Fuente: Propia

Tabla 3.32. Resumen del ensayo de probetas a compresión

Resistencia	Resistencia a compresión (MPa)						
21 MPa	9.74	12.66	15.06	16.42	17.75	19.39	21.35
25 MPa	11.23	15.45	17.66	18.98	21.55	23.60	24.96
30 MPa	14.80	19.69	22.57	23.72	26.05	28.20	30.46
Edad (días)	3	5	7	10	14	21	28

Fuente: Propia

Figura 3.1. Gráfica del ensayo de probetas a compresión



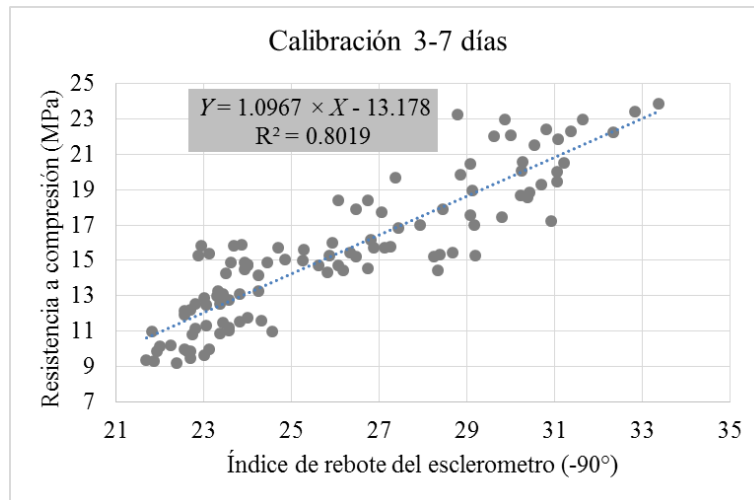
Fuente: Propia

3.5. Elaboración de la gráfica de regresión simple y múltiple de los equipos de END con la resistencia a compresión del hormigón

Las gráficas realizadas con el esclerómetro, lo separamos en dos partes, uno para probetas con una edad menor o igual a 7 días y la otra para probetas mayor o igual a 10 días, con el propósito de obtener una o más ecuaciones que coincida con la resistencia a compresión del hormigón a distintas edades.

Los datos que utilizamos para elaborar la siguiente gráfica se encuentra en el **ANEXO 3. REGISTRO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.**

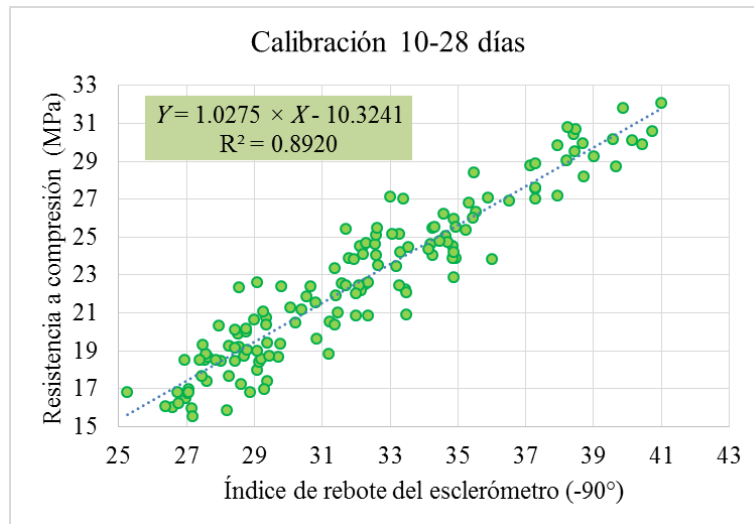
Figura 3.2. Regresión simple de la resistencia vs índice de rebote²⁴ (3-7 días)



Fuente: Elaboración conjunta con el estudiante Agustín Romero

$$Y = 1.0967 \times X - 13.178 \quad (3.1)$$

Figura 3.3. Regresión simple de la resistencia vs índice de rebote²⁵ (10-28 días)



Fuente: Elaboración conjunta con el estudiante Agustín Romero

$$Y = 1.02746 \times X - 10.32410 \quad (3.2)$$

Donde:

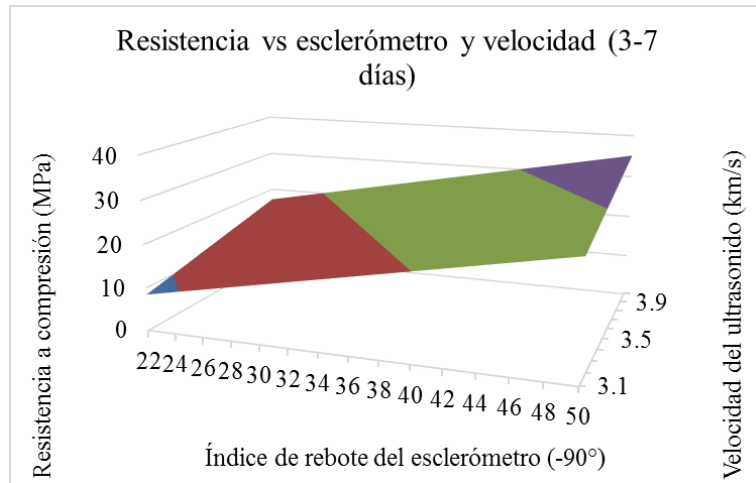
Y = Resistencia a compresión (MPa)

X = Índice de rebote (-90°)

²⁴ Tabla A4.1. Datos para la regresión simple y múltiple del esclerómetro (-90°)/ultrasonido

²⁵ Tabla A4.1. Datos para la regresión simple y múltiple del esclerómetro (-90°)/ultrasonido

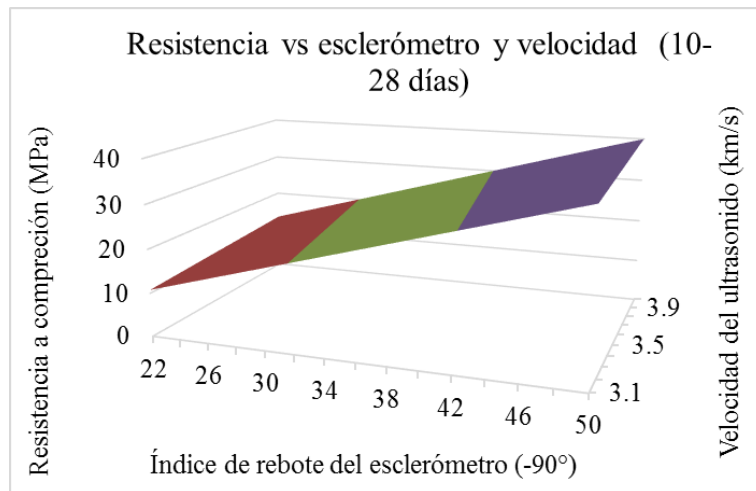
Figura 3.4. Regresión múltiple de la resistencia vs índice de rebote(-90°)/velocidad²⁶ (3-7 días)



Fuente: Propia

$$Z = 0.64 \times X + 9.69 \times Y - 35.71 \quad (3.3)$$

Figura 3.5. Regresión múltiple de la resistencia vs índice de rebote(-90°)/velocidad²⁷ (10-28 días)



Fuente: Propia

$$Z = 0.95 \times X + 2.98 \times Y - 19.36 \quad (3.4)$$

Donde:

Z= Resistencia a compresión (MPa)

X= Índice de rebote (-90°)

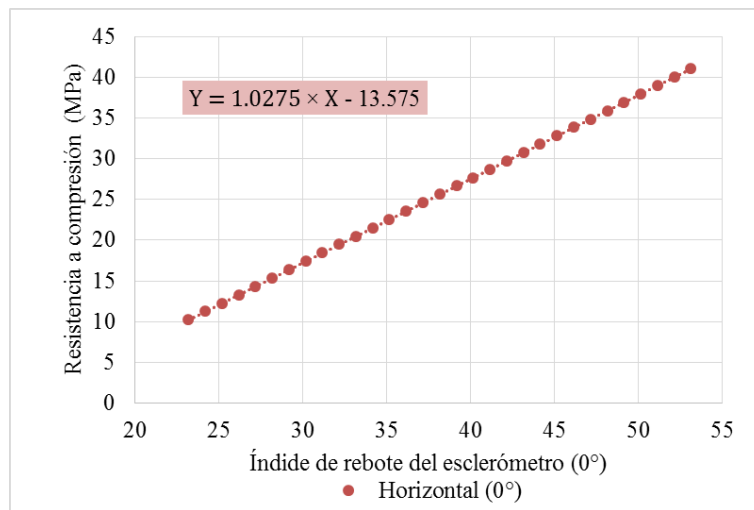
Y= Velocidad del ultrasonido (km/s)

²⁶ Tabla A4.1. Datos para la regresión simple y múltiple del esclerómetro (-90°)/ultrasonido

²⁷ Tabla A4.1. Datos para la regresión simple y múltiple del esclerómetro (-90°)/ultrasonido

Análisis del ángulo de aplicación del esclerómetro: La diferencia del índice de rebote del esclerómetro en posición vertical (-90°) y posición horizontal (0°), es de 3.16, en hormigones con una misma resistencia a compresión y a una misma edad, en base a la Tabla 3.23. Entonces la nueva constante de la ecuación (3.2) es : [10.3241 + 3.16 = 13.575], este es el nuevo valor de la constante de la ecuación (3.2), que se utilizó para calcular la resistencia del hormigón a compresión utilizando el esclerómetro en posición horizontal.

Figura 3.6. Regresión simple de la resistencia vs índice de rebote(0°)²⁸ [10-28 días]



Fuente: Elaboración conjunta con el estudiante Agustín Romero

$$Y = 1.02746 \times X - 13.575 \quad (3.5)$$

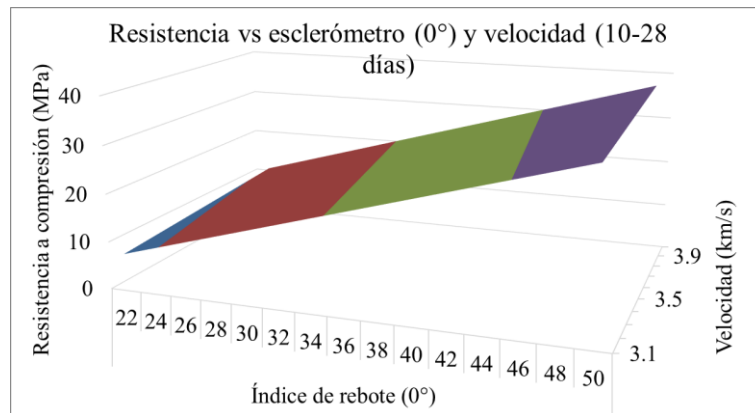
Donde:

Y = Resistencia a la compresión (MPa)

X = Índice de rebote (-90°)

²⁸ Tabla A3. 12. Análisis del ángulo de aplicación del esclerómetro

Figura 3.7. Regresión múltiple de la resistencia vs índice de rebote(0°)/velocidad²⁹ (10-28 días)



Fuente: Propia

$$Z = 0.95 \times X + 2.98 \times Y - 22.36 \quad (3.6)$$

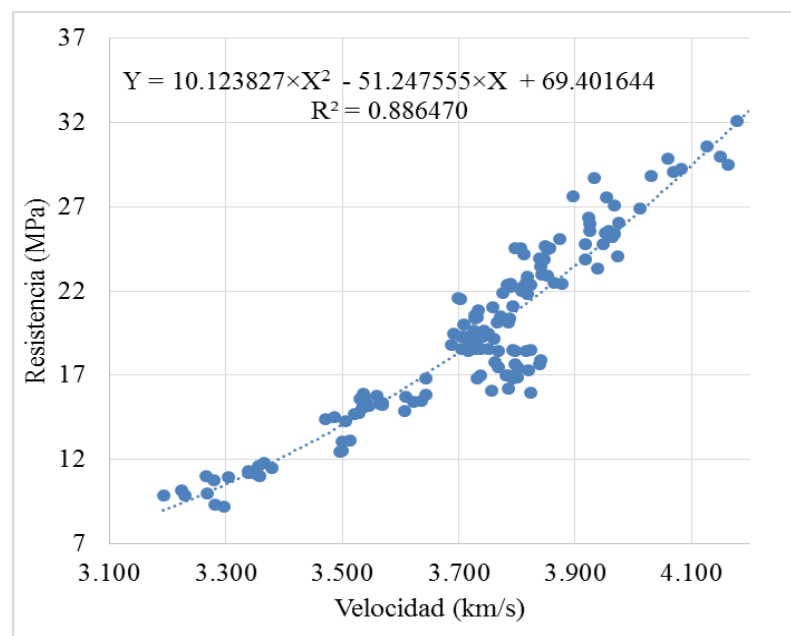
Donde:

X = Índice de rebote (0°)

Y = Velocidad del ultrasonido en (km/s)

Z = Resistencia a compresión en MPa

Figura 3.8. Resgresión simple no lineal de la resistencia vs ultrasonido³⁰



Fuente: Elaboración conjunta con el estudiante Daniel Lema Soruco

²⁹ Tabla A4. 5. Datos para la regresión simple y múltiple del esclerómetro (0°)/ultrasonido

³⁰ Tabla A4. 14. Dato para la gráfica ultrasonido (1)

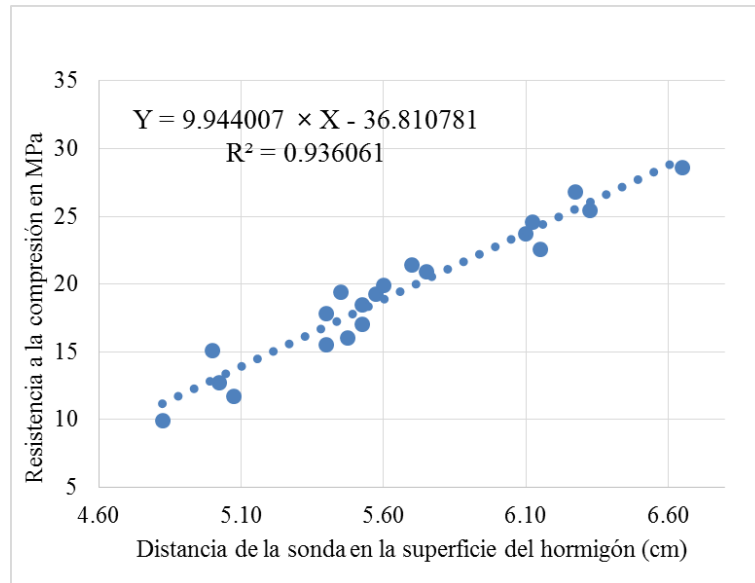
$$Y = 10.123827 \times X^2 - 51.247555 \times X + 69.401644 \quad (3.7)$$

Donde:

Y = Resistencia a la compresión (MPa)

X = Velocidad (km/s)

Figura 3.9. Regresión simple lineal de la resistencia vs pistola Windsor³¹



Fuente: Propia

$$Y = 9.94 \times X - 36.81 \quad (3.8)$$

Donde:

Y = Resistencia a la compresión (MPa)

X = Distancia de la sonda en la superficie del hormigón (cm)

3.6. Aplicación de los equipos de ensayo no destructivo en los edificios

Se explica el contenido de la siguiente hoja de registro de los ensayos realizados en los edificios de la universidad, para este trabajo de investigación.

Datos generales de obra

Reporte: Contiene la abreviatura del edificio y va acompañado de un número que es del 1 al 12, por ejemplo ARQ = Arquitectura y LBS=Laboratorio de suelo que son los dos edificios que se analizó en la universidad.

³¹ Tabla A4. 19. Valores usados para la elaboración de la gráfica de la pistola Windsor

Espécimen o elemento a inspeccionar: En esta parte solo son dos elementos que se analizaron, las vigas y columnas, están acompañadas de un número, del 1 al 6 tanto para la viga como para la columna, así sumado los dos dan un total de 12 ensayos realizados en cada edificio.

Número de muestra: En esta parte denominamos a la columna con la letra C y a las vigas con la letra V, que están acompañados del número 1 al 6 para cada edificio.

Fecha de elaboración: Es la fecha de elaboración del hormigón, en forma más específica, del espécimen que se está analizando en el edificio (viga o columna).

Edad del hormigón: Aquí solo se toma en cuenta los años.

Carbonatación: Se calcula con la siguiente ecuación (2.2), el valor de K para la ecuación (2.2) es igual a 4, considerando que el ambiente no es potencialmente peligroso.

Tipo de hormigón: Es la resistencia exigida en las especificaciones técnica de cada edificio que se va estudiar. Las especificaciones técnicas de los edificios se obtuvieron del departamento de infraestructura de la universidad, solicitando una copia de los informes de rotura de probeta, en donde dicho informe se muestra la resistencia exigida, según su especificación técnica. ANEXO 7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EDIFICIOS.

Datos generales de la aplicación de los equipos

Altura de aplicación de la columna: Solo se midió la altura de las columnas, para las vigas se deja en blanco esta zona.

Distancia de la base de la columna o viga: Es la distancia de las dos caras de la viga o columna sin recubrimiento de yeso o cal para una medición directa.

Factor de corrección por carbonatación: Utilizamos la ecuación de la Figura 2.3, para calcular el coeficiente de carbonatación.

Resistencia a compresión


Esclerómetro: Utilizando la ecuación (3.2), se calculó la resistencia a compresión tomando en cuenta la carbonatación de la Tabla 2.9, el promedio del índice de rebote ya


procesado lo multiplicamos por el factor de corrección. Se analizó las dos caras de la viga o columnas, en algunos casos solo se analizó una de las caras por las condiciones de la superficie.

Ultrasonido: Utilizamos la ecuación (3.7), para calcular la resistencia a compresión.

Pistola Windsor: Utilizamos la ecuación (3.8) solo se aplicó a algunas vigas y columnas, y aquellas zonas que no se aplicó este ensayo se coloca “-“, se trabajó en las dos caras del hormigón.

Regresión múltiple: Utilizamos la ecuación (3.6) para realizar el cálculo de la resistencia a compresión del hormigón con una edad mayor a 7 días, en esta ecuación no utilizamos el coeficiente de corrección para carbonatación que se aplica al índice de rebote del esclerómetro, porque dicha corrección se encarga el equipo de ultrasonido, (hipótesis).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES				"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN EN LAS EDIFICACIONES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO CON SUS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS"											
															
Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios															
Datos generales de la obra															
Reporte:	1-LBS			Número de muestra:	C1										
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo			Fecha de elaboración :	12	2	2011								
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo			Edad del hormigón:	8 Años										
Curado:	Riego			Carbonatación	11	mm	"ec. (2.2)"								
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia			Tipo de hormigón :	21	MPa	"ANEXO 7.1"								
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna														
Datos generales de la aplicación de los equipos															
Fecha de aplicación:	24	9	2019	Humedad:	46 %										
Temperatura:	19.8 °C			Hora:	09:00										
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:					1	2	3	Promedio							
Longitud total del hormigón (L_H):	41	41	41	41	cm										
Datos generales de la aplicación del esclerómetro															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02			Posición del esclerómetro:	0°										
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"														
Cara superior				Cara inferior											
1	40	2	42	3	40	4	36	1	43	2	40	3	40	4	38
5	39	6	40	7	39	8	40	5	43	6	44	7	42	8	39
9	39	10	45	11	40	12	40	9	39	10	43	11	43	12	36
13	41	14	40	15	40	16	41	13	38	14	42	15	39	16	40
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	2										
Promedio:	40			Promedio:	41										
Validación de datos del esclerómetro															
Cara Superior				Cara Inferior											
1	40	2	42	3	40	4	36	1	43	2	40	3	40	4	38
5	39	6	40	7	39	8	40	5	43	6	44	7	42	8	39
9	39	10	45	11	40	12	40	9	39	10	43	11	43	12	36
13	41	14	40	15	40	16	41	13	38	14	42	15	39	16	40
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	2										
Promedio:	40 ± 1.46			Promedio:	41										
Datos generales de la aplicación del ultrasonido															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02			Posición del ultrasonido:	0°										
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			No influye la armadura											
	1	2	3	4	σ	Promedio		Calidad del H° Buena Tabla (2.12)							
Velocidad (km/s):	3.322	2.451	3.251	3.049	0.395	3.018		Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (L _s) "Figura 2.5"							
Microsegundo (μs):	123.4	167.3	126.1	134.5	20.2	137.8		Diametro del estribo - mm							
Validación de datos del ultrasonido								Ø de la armadura longitudinal - mm							
	1	2	3	4	σ	Promedio x CC		Longitud total del acero (L _s) - mm							
Velocidad (km/s):	3.322	-	3.251	3.049	0.142	3.207 ± 0.114		L _s /L _H - "Figura							
Microsegundo (μs):	123.4	-	126.1	134.5	5.8	128.0		Coefficiente de corrección (CC) 1 (2.6)"							
Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03			Posición de la pistola Windsor:	0°										
Distancia total de la sonda:				-	± 0.5		cm								
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:				-	-		cm								
Diferencia:				-	-		cm								
Resistencia a compresión															
	Cara 1	Cara 2	Promedio		Observaciones:										
Esclerómetro:	24.5	25.1	24.8		No presenta patologia el hormigón, y se descarta la resistencia obtenida del equipo de ultrasonido, porque el hormigón del edificio tienen distinto proceso de fabricación.										
Ultrasonido:	9.2		9.2												
Pistola Windsor:	-		-												
Regresión múltiple:	25.20	25.73	25.47												

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"				"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN EN LAS EDIFICACIONES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO CON SUS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS"											
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA															
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL															
LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES															
Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios															
Datos generales de la obra															
Reporte:	2-LBS			Número de muestra:	C2										
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo			Fecha de elaboración :	12	2	2011								
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo			Edad del hormigón:	8 Años										
Curado:	Riego			Carbonatación	11	mm	"ec. (2.2)"								
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia			Tipo de hormigón :	21	MPa	"ANEXO 7.1"								
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna														
Datos generales de la aplicación de los equipos															
Fecha de aplicación:	24	9	2019	Humedad:	46 %										
Temperatura:	19.8 °C			Hora:	09:15										
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:					1	2	3	Promedio							
Longitud total del hormigón (L_H):					1.4	1.4	1.4	1.4 m							
					40.8	40.8	40.8	40.8 cm							
Datos generales de la aplicación del esclerómetro															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02			Posición del esclerómetro:	0°										
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"														
Cara superior				Cara inferior											
1	41	2	40	3	38	4	41	1	40	2	46	3	42	4	39
5	41	6	45	7	44	8	44	5	50	6	42	7	49	8	42
9	42	10	44	11	41	12	40	9	40	10	42	11	38	12	42
13	38	14	42	15	37	16	39	13	34	14	39	15	38	16	40
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	4										
Promedio:	41			Promedio:	41										
Validación de datos del esclerómetro															
Cara Superior				Cara Inferior											
1	41	2	40	3	38	4	41	1	40	2	46	3	42	4	39
5	41	6	45	7	44	8	44	5	-	6	42	7	-	8	42
9	42	10	44	11	41	12	40	9	40	10	42	11	38	12	42
13	38	14	42	15	37	16	39	13	-	14	39	15	38	16	40
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	2										
Promedio:	41 ±1.46			Promedio:	41										
Datos generales de la aplicación del ultrasonido															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02			Posición del ultrasonido:	0°										
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			σ	Promedio										
Velocidad (km/s):	3.313	3.303	2.759	3.035	0.263	3.103									
Microsegundo (μs):	123.2	123.5	147.9	134.4	11.7	132.2									
Validación de datos del ultrasonido															
Velocidad (km/s):	3.313	3.303	-	3.035	0.158	3.217 ±0.114									
Microsegundo (μs):	123.2	123.5	-	134.4	6.4	127.0									
Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor															
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03			Posición de la pistola Windsor:	0°										
Distancia total de la sonda:					-	±0.5 cm									
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:					-	cm									
Diferencia:					-	cm									
Resistencia a compresión															
	Cara 1		Cara 2	Promedio	Observaciones:										
Esclerómetro:	25.5		25.3	25.4	MPa										
Ultrasonido:	-		9.3	9.3	MPa										
Pistola Windsor:	-		-	-	MPa										
Regresión múltiple:	26.18		25.96	26.07	MPa										
No presenta patología el hormigón y se elimina la lectura número 3 del equipo de ultrasonido, por la poca homogeneidad del hormigón en ese punto.															



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	3-LBS	Número de muestra:	C3
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo	Fecha de elaboración :	12 2 2011
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	8 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	11 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	21 MPa "ANEXO 7.1"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	24 9 2019	Humedad:	46 %
Temperatura:	19.8 °C	Hora:	09:30
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:			
	1 2 3 Promedio		
	1.4 1.4 1.4 1.4		m
Longitud total del hormigón (Lh):	45 45 45 45		cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 33	2 35	3 33	4 37
5 36	6 35	7 41	8 40
9 39	10 31	11 29	12 45
13 40	14 41	15 31	16 46
Desviación estándar:	5	Desviación estándar:	5
Promedio:	37	Promedio:	43

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 33	2 35	3 33	4 37	1 38	2 39	3 40	4 -
5 36	6 35	7 41	8 40	5 -	6 -	7 46	8 41
9 39	10 -	11 -	12 -	9 43	10 44	11 46	12 42
13 40	14 41	15 -	16 -	13 -	14 -	15 43	16 40
Desviación estándar:	3	Desviación estándar:	3				
Promedio:	37 ± 1.46	Promedio:	42				

Datos generales de la aplicación del ultrasonido


Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
	1 2 3 4	σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.378 3.284 3.267 3.265	0.054	3.299	Diametro del estribo - mm	
Microsegundo (µs):	133.2 137.0 137.7 137.8	2.2	136.5	Ø de la armadura longitudinal - mm	
Validación de datos del ultrasonido				Longitud total del acero (Ls) - mm	
	1 2 3 4	σ	Promedio x CC	Ls/Lh - "Figura	
Velocidad (km/s):	- 3.284 3.267 3.265	0.010	3.272 ± 0.114	Coeficiente de corrección (CC) 1 (2.6)"	
Microsegundo (µs):	- 137.0 137.7 137.8	0.4	137.5		

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:		8 ± 0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:		5.7 5.65	cm
Diferencia:		2.3 2.35	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	21.7	26.4	24.1	No presenta patologia el hormigón y se elimina la lectura número 1 del equipo de ultrasonido, por la leve presencia de armadura en la medición directa.
Ultrasonido:		10.1	10.1	
Pistola Windsor:	19.9	19.4	19.62	
Regresión múltiple:	22.54	27.29	24.92	

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO" FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE HORMIGÓN Y RESISTENCIA DE MATERIALES				"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN A COMPRESIÓN EN LAS EDIFICACIONES DEL CAMPUS UNIVERSITARIO CON SUS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS"						
Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios										
Datos generales de la obra										
Reporte:	4-LBS			Número de muestra:	C4					
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo			Fecha de elaboración :	12	2	2011			
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo			Edad del hormigón:	8	Años				
Curado:	Riego			Carbonatación	11	mm		"ec. (2.2)"		
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia			Tipo de hormigón :	21	MPa		"ANEXO 7.1"		
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna									
Datos generales de la aplicación de los equipos										
Fecha de aplicación:	24	9	2019		Humedad:	46		%		
Temperatura:	19.8		°C		Hora:	09:45				
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	1.4		1.4		1.4		1.4		m	
Longitud total del hormigón (Lh):	40.85		40.85		40.85		40.85		cm	
Datos generales de la aplicación del esclerómetro										
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02			Posición del esclerómetro:	0°					
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"									
Cara superior				Cara inferior						
1	36	2	40	3	38	4	35	1	36	
5	39	6	41	7	42	8	38	5	39	
9	30	10	40	11	38	12	35	9	37	
13	39	14	36	15	36	16	37	13	35	
Desviación estándar:				3		Desviación estándar:				3
Promedio:				38		Promedio:				39
Validación de datos del esclerómetro										
Cara Superior				Cara Inferior						
1	36	2	40	3	38	4	35	1	36	
5	39	6	41	7	42	8	38	5	39	
9	-	10	40	11	38	12	35	9	37	
13	39	14	36	15	36	16	37	13	35	
Desviación estándar:				2		Desviación estándar:				3
Promedio:				38 ±1.46		Promedio:				38
Datos generales de la aplicación del ultrasonido										
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02			Posición del ultrasonido:	0°					
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			No influye la armadura						
	1	2	3	4	σ	Promedio				
Velocidad (km/s):	2.659	2.617	2.611	2.525	0.056	2.603				
Microsegundo (μs):	153.6	156.1	156.5	161.8	3.4	157.0				
Validación de datos del ultrasonido										
	1	2	3	4	σ	Promedio x CC				
Velocidad (km/s):	2.659	2.617	2.611	-	0.026	2.629 ±0.114				
Microsegundo (μs):	153.6	156.1	156.5	-	1.5	155.4				
Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor										
Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03			Posición de la pistola Windsor:	0°					
Distancia total de la sonda:				8 ±0.5		cm				
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:				5.8	5.75	cm				
Diferencia:				2.2	2.25	cm				
Resistencia a compresión										
	Cara 1		Cara 2		Promedio		Observaciones:			
Esclerómetro:	22.6		22.8		22.7		MPa			
Ultrasonido:	4.6		4.6		4.6		MPa			
Pistola Windsor:	20.9		20.4		20.62		MPa			
Regresión múltiple:	21.58		21.70		21.64		MPa			
No presenta patologia el hormigón y se elimina la lectura número 4 del equipo de ultrasonido, por la poca homogeneidad del hormigón en ese punto.										



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	7-LBS	Número de muestra:	V1
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo	Fecha de elaboración :	22 3 2011
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	8 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	11 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	21 MPa "ANEXO 7.1"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	24 9 2019	Humedad:	46 %
Temperatura:	19.8 °C	Hora:	10:30
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		m
Longitud total del hormigón (Lh):	18	18	18
			18 cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 32	2 34	3 36	4 32
5 28	6 33	7 36	8 36
9 32	10 38	11 36	12 32
13 39	14 35	15 40	16 35
Desviación estándar:	3		
Promedio:	35		
1 45	2 42	3 41	4 42
5 40	6 37	7 38	8 38
9 38	10 38	11 39	12 38
13 38	14 38	15 45	16 36
Desviación estándar:	3		
Promedio:	40		

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 32	2 34	3 36	4 32	1 -	2 42	3 41	4 42
5 -	6 33	7 36	8 36	5 40	6 37	7 38	8 38
9 32	10 38	11 36	12 32	9 38	10 38	11 39	12 38
13 39	14 35	15 -	16 35	13 38	14 38	15 -	16 36
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	2		
Promedio:	35 ± 1.46			Promedio:	39		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
				Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.587	4.420	2.783	-	mm
Microsegundo (µs):	50.2	40.7	64.7	-	mm
				Ø de la armadura longitudinal	- mm
				Longitud total del acero (Ls)	- mm
				Ls/Lh	- "Figura
				Coefficiente de corrección (CC)	1 (2.6)"
Validación de datos del ultrasonido					
	1	2	3	4	σ Promedio x CC
Velocidad (km/s):	3.587	-	2.783	-	0.569 3.185 ± 0.114
Microsegundo (µs):	50.2	-	64.7	-	10.3 57.4

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:			8 ± 0.5 cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:			5.9 5.9 cm
Diferencia:			2.1 2.1 cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	19.8	23.4	21.6 MPa	Se elimina la velocidad del número 2, por superar el valor de 4 km/s, debido a que no es un hormigón de 30 MPa, y posiblemente haya lecturado en donde se presenta el acero
Ultrasonido:		8.9	8.9 MPa	
Pistola Windsor:	21.9	21.9	21.86 MPa	
Regresión múltiple:	20.38	23.98	22.18 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	9-LBS	Número de muestra:	V3
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo	Fecha de elaboración :	22 3 2011
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	8 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	11 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	21 MPa "ANEXO 7.1"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	24 9 2019	Humedad:	46 %
Temperatura:	19.8 °C	Hora:	11:00
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		m
Longitud total del hormigón (Lh):	17.5	17.5	17.5

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 44	2 37	3 40	4 39
5 40	6 41	7 34	8 37
9 41	10 36	11 36	12 36
13 40	14 40	15 38	16 43
Desviación estándar:	3		
Promedio:	39		
		Desviación estándar:	0
		Promedio:	0

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 -	2 37	3 40	4 39	1 0	2 0	3 0	4 0
5 40	6 41	7 34	8 37	5 0	6 0	7 0	8 0
9 41	10 36	11 36	12 36	9 0	10 0	11 0	12 0
13 40	14 40	15 38	16 43	13 0	14 0	15 0	16 0
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	0		
Promedio:	39 ± 1.46			Promedio:	0		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H°	Regular Tabla (2.12)
				Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	2.521	2.782	3.492	-	mm
Microsegundo (µs):	69.4	62.9	50.1	-	mm
				Ø de la armadura longitudinal	- mm
				Longitud total del acero (Ls)	- mm
				Ls/Lh	- "Figura
				Coefficiente de corrección (CC)	1 (2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:	-	±0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:	-	-	cm
Diferencia:	-	-	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	23.6	-	23.6 MPa	No presenta patologia el hormigón y se elimina la lectura número 3 del equipo de ultrasonido, por la leve presencia de armadura en la medición directa.
Ultrasonido:	-	4.7	4.7 MPa	
Pistola Windsor:	-	-	- MPa	
Regresión múltiple:	22.59	-	22.59 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	11-LBS	Número de muestra:	V5
Nombre de la obra:	Laboratorio de Suelo	Fecha de elaboración :	22 3 2011
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	8 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	11 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	21 MPa "ANEXO 7.1"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	24 9 2019	Humedad:	46 %
Temperatura:	19.8 °C	Hora:	11:30
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		m
Longitud total del hormigón (Lh):	16.5	16.5	16.5

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.93 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 40	2 40	3 34	4 38
5 40	6 40	7 42	8 38
9 34	10 41	11 39	12 39
13 48	14 41	15 41	16 40
Desviación estándar:	3	Desviación estándar:	0
Promedio:	40	Promedio:	0

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 40	2 40	3 -	4 38	1 0	2 0	3 0	4 0
5 40	6 40	7 42	8 38	5 0	6 0	7 0	8 0
9 -	10 41	11 39	12 39	9 0	10 0	11 0	12 0
13 -	14 41	15 41	16 40	13 0	14 0	15 0	16 0
Desviación estándar:	1	Desviación estándar:	0				
Promedio:	40 ± 1.46	Promedio:	0				

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
	1 2 3 4	σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	4.867 1.781 3.875 -	1.575	3.508	Diametro del estribo 6 mm	
Microsegundo (µs):	33.9 92.6 42.6 -	31.7	56.4	Ø de la armadura longitudinal 10 mm	
Validación de datos del ultrasonido				Longitud total del acero (Ls) 32 mm	
	1 2 3 4	σ	Promedio x CC	Ls/Lh 0.19394 "Figura	
Velocidad (km/s):	- - 3.875 -	-	3.615 ± 0.114	Coeficiente de corrección (CC) 0.9330 (2.6)"	
Microsegundo (µs):	- - 42.6 -	-	42.6		

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:		8 ± 0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:		6 6.1	cm
Diferencia:		2 1.9	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	24.5	-	24.5 MPa	Se elimina la velocidad de la columna numero 1, por la presencia de armadura en ese punto y la columna numero 2, por una mala lectura o por una posible presencia de un orificio dentro de la viga.
Ultrasonido:		16.4	16.4 MPa	
Pistola Windsor:	22.9	23.8	23.35 MPa	
Regresión múltiple:	26.42	-	26.42 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	1-ARQ	Número de muestra:	C1
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	1 2 2007
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	12 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	08:30
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:			
Longitud total del hormigón (Lh):			

	1	2	3	Promedio	
	1.32	1.32	1.32	1.32	m
	31	31	31	31	cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"		

Cara superior				Cara inferior			
1	2	3	4	1	2	3	4
39	40	35	42	22	29	30	29
5	6	7	8	5	6	7	8
44	40	35	40	25	26	28	28
9	10	11	12	9	10	11	12
40	38	35	34	29	27	24	28
13	14	15	16	13	14	15	16
42	39	38	36	28	30	26	27
Desviación estándar:	3			Desviación estándar:	2		
Promedio:	39			Promedio:	27		

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1	2	3	4	1	2	3	4
39	40	35	42	-	29	30	29
5	6	7	8	5	6	7	8
-	40	35	40	25	26	28	28
9	10	11	12	9	10	11	12
40	38	35	34	29	27	24	28
13	14	15	16	13	14	15	16
42	39	38	36	28	30	26	27
Desviación estándar:	3			Desviación estándar:	2		
Promedio:	38 ±1.46			Promedio:	28		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura		
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			Calidad del H°	Regular Tabla (2.12)	
				Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"		
Velocidad (km/s):	3.126	2.468	2.981	2.839	0.282	2.854
Microsegundo (µs):	99.2	125.6	104.0	109.2	11.5	109.5

Validación de datos del ultrasonido						
	1	2	3	4	σ	Promedio x CC
Velocidad (km/s):	3.126	-	2.981	2.839	0.144	2.982 ±0.114
Microsegundo (µs):	99.2	-	104.0	109.2	5.0	104.1

Diametro del estribo	-	mm
Ø de la armadura longitudinal	-	mm
Longitud total del acero (Ls)	-	mm
Ls/Lh	-	"Figura
Coefficiente de corrección (CC)	1	(2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:			8 ±0.5 cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:			5.85 5.8 cm
Diferencia:			2.15 2.2 cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	22.0	12.3	22.0	Se elimina la velocidad en la columna número 2, por la presencia de cangrejas en ese punto; Podemos corroborar que existe poca adherencia del recubrimiento del hormigón en la cara 2.
Ultrasonido:		6.6	6.6	
Pistola Windsor:	21.4	20.9	21.11	
Regresión múltiple:	22.63	12.75	22.63	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	2-ARQ	Número de muestra:	C2
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	1 2 2007
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	12 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	08:50
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:			
		1 2 3 Promedio	
		1.3 1.3 1.3 1.3	m
Longitud total del hormigón (Lh):		29.5 29.5 29.5 29.5	cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°																																																																
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"																																																																		
	Cara superior		Cara inferior																																																																
	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>35</td><td>2</td><td>36</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>38</td><td>6</td><td>36</td><td>7</td><td>41</td><td>8</td><td>44</td></tr> <tr><td>9</td><td>38</td><td>10</td><td>38</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>40</td></tr> <tr><td>13</td><td>36</td><td>14</td><td>40</td><td>15</td><td>41</td><td>16</td><td>45</td></tr> </table>	1	35	2	36	3	40	4	40	5	38	6	36	7	41	8	44	9	38	10	38	11	40	12	40	13	36	14	40	15	41	16	45		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>48</td><td>2</td><td>42</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>42</td></tr> <tr><td>5</td><td>44</td><td>6</td><td>40</td><td>7</td><td>40</td><td>8</td><td>42</td></tr> <tr><td>9</td><td>46</td><td>10</td><td>42</td><td>11</td><td>39</td><td>12</td><td>44</td></tr> <tr><td>13</td><td>44</td><td>14</td><td>43</td><td>15</td><td>41</td><td>16</td><td>46</td></tr> </table>	1	48	2	42	3	40	4	42	5	44	6	40	7	40	8	42	9	46	10	42	11	39	12	44	13	44	14	43	15	41	16	46
1	35	2	36	3	40	4	40																																																												
5	38	6	36	7	41	8	44																																																												
9	38	10	38	11	40	12	40																																																												
13	36	14	40	15	41	16	45																																																												
1	48	2	42	3	40	4	42																																																												
5	44	6	40	7	40	8	42																																																												
9	46	10	42	11	39	12	44																																																												
13	44	14	43	15	41	16	46																																																												
Desviación estándar:	3	Desviación estándar:	3																																																																
Promedio:	39	Promedio:	43																																																																

Validación de datos del esclerómetro

	Cara Superior		Cara Inferior																																																																
	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>35</td><td>2</td><td>36</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>38</td><td>6</td><td>36</td><td>7</td><td>41</td><td>8</td><td>44</td></tr> <tr><td>9</td><td>38</td><td>10</td><td>38</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>40</td></tr> <tr><td>13</td><td>36</td><td>14</td><td>40</td><td>15</td><td>41</td><td>16</td><td>-</td></tr> </table>	1	35	2	36	3	40	4	40	5	38	6	36	7	41	8	44	9	38	10	38	11	40	12	40	13	36	14	40	15	41	16	-		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>-</td><td>2</td><td>42</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>42</td></tr> <tr><td>5</td><td>44</td><td>6</td><td>40</td><td>7</td><td>40</td><td>8</td><td>42</td></tr> <tr><td>9</td><td>46</td><td>10</td><td>42</td><td>11</td><td>39</td><td>12</td><td>44</td></tr> <tr><td>13</td><td>44</td><td>14</td><td>43</td><td>15</td><td>41</td><td>16</td><td>46</td></tr> </table>	1	-	2	42	3	40	4	42	5	44	6	40	7	40	8	42	9	46	10	42	11	39	12	44	13	44	14	43	15	41	16	46
1	35	2	36	3	40	4	40																																																												
5	38	6	36	7	41	8	44																																																												
9	38	10	38	11	40	12	40																																																												
13	36	14	40	15	41	16	-																																																												
1	-	2	42	3	40	4	42																																																												
5	44	6	40	7	40	8	42																																																												
9	46	10	42	11	39	12	44																																																												
13	44	14	43	15	41	16	46																																																												
Desviación estándar:	2	Desviación estándar:	2																																																																
Promedio:	39 ± 1.46	Promedio:	42																																																																

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H°	Buena Tabla (2.12)
		1 2 3 4 σ Promedio		Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.325 3.300 3.249 3.140	0.082 3.254		Diametro del estribo - mm	
Microsegundo (μs):	88.7 89.4 90.8 93.9	2.3 90.7		Ø de la armadura longitudinal - mm	
	Validación de datos del ultrasonido			Longitud total del acero (Ls) - mm	
	1 2 3 4 σ Promedio x CC			Ls/Lh - "Figura	
Velocidad (km/s):	3.325 3.300 3.249 -	0.039 3.291 ± 0.114		Coeficiente de corrección (CC) 1 (2.6)"	
Microsegundo (μs):	88.7 89.4 90.8 -	1.1 89.6			

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:		- ± 0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:		- -	cm
Diferencia:		- -	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	22.9	26.0	24.5	Se elimina la velocidad de la columna 4 por la presencia de espacios vacios en ese punto.
Ultrasonido:		10.4	10.4	
Pistola Windsor:		-	-	
Regresión múltiple:	24.50	27.67	26.08	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	3-ARQ	Número de muestra:	C3
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	1 2 2007
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	12 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Columna		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	09:10
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:			
Longitud total del hormigón (Lh):			
		1 2 3 Promedio	
		1.32 1.32 1.32 1.32	m
		29.5 29.5 29.5 29.5	cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°																																																																
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"																																																																		
	Cara superior		Cara inferior																																																																
	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>42</td><td>2</td><td>46</td><td>3</td><td>42</td><td>4</td><td>45</td></tr> <tr><td>5</td><td>46</td><td>6</td><td>41</td><td>7</td><td>44</td><td>8</td><td>44</td></tr> <tr><td>9</td><td>46</td><td>10</td><td>43</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>49</td></tr> <tr><td>13</td><td>42</td><td>14</td><td>44</td><td>15</td><td>40</td><td>16</td><td>45</td></tr> </table>	1	42	2	46	3	42	4	45	5	46	6	41	7	44	8	44	9	46	10	43	11	40	12	49	13	42	14	44	15	40	16	45		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>43</td><td>2</td><td>38</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>47</td><td>6</td><td>40</td><td>7</td><td>40</td><td>8</td><td>39</td></tr> <tr><td>9</td><td>44</td><td>10</td><td>42</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>39</td></tr> <tr><td>13</td><td>48</td><td>14</td><td>42</td><td>15</td><td>42</td><td>16</td><td>40</td></tr> </table>	1	43	2	38	3	40	4	40	5	47	6	40	7	40	8	39	9	44	10	42	11	40	12	39	13	48	14	42	15	42	16	40
1	42	2	46	3	42	4	45																																																												
5	46	6	41	7	44	8	44																																																												
9	46	10	43	11	40	12	49																																																												
13	42	14	44	15	40	16	45																																																												
1	43	2	38	3	40	4	40																																																												
5	47	6	40	7	40	8	39																																																												
9	44	10	42	11	40	12	39																																																												
13	48	14	42	15	42	16	40																																																												
Desviación estándar:	2	Desviación estándar:	3																																																																
Promedio:	44	Promedio:	42																																																																

Validación de datos del esclerómetro

	Cara Superior		Cara Inferior																																																																
	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>42</td><td>2</td><td>46</td><td>3</td><td>42</td><td>4</td><td>45</td></tr> <tr><td>5</td><td>46</td><td>6</td><td>41</td><td>7</td><td>44</td><td>8</td><td>44</td></tr> <tr><td>9</td><td>46</td><td>10</td><td>43</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>-</td></tr> <tr><td>13</td><td>42</td><td>14</td><td>44</td><td>15</td><td>40</td><td>16</td><td>45</td></tr> </table>	1	42	2	46	3	42	4	45	5	46	6	41	7	44	8	44	9	46	10	43	11	40	12	-	13	42	14	44	15	40	16	45		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>43</td><td>2</td><td>38</td><td>3</td><td>40</td><td>4</td><td>40</td></tr> <tr><td>5</td><td>-</td><td>6</td><td>40</td><td>7</td><td>40</td><td>8</td><td>39</td></tr> <tr><td>9</td><td>44</td><td>10</td><td>42</td><td>11</td><td>40</td><td>12</td><td>39</td></tr> <tr><td>13</td><td>-</td><td>14</td><td>42</td><td>15</td><td>42</td><td>16</td><td>40</td></tr> </table>	1	43	2	38	3	40	4	40	5	-	6	40	7	40	8	39	9	44	10	42	11	40	12	39	13	-	14	42	15	42	16	40
1	42	2	46	3	42	4	45																																																												
5	46	6	41	7	44	8	44																																																												
9	46	10	43	11	40	12	-																																																												
13	42	14	44	15	40	16	45																																																												
1	43	2	38	3	40	4	40																																																												
5	-	6	40	7	40	8	39																																																												
9	44	10	42	11	40	12	39																																																												
13	-	14	42	15	42	16	40																																																												
Desviación estándar:	2	Desviación estándar:	2																																																																
Promedio:	43 ± 1.46	Promedio:	41																																																																

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura			
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H°	Buena Tabla (2.12)		
				Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"			
Velocidad (km/s):	3.297 3.241 3.091 3.298	σ	0.098	Promedio	3.232		
Microsegundo (μs):	89.5 91.0 95.4 89.4	σ	2.8	Promedio	91.3		
	Validación de datos del ultrasonido				Diametro del estribo	- mm	
					Ø de la armadura longitudinal	- mm	
					Longitud total del acero (Ls)	- mm	
Velocidad (km/s):	3.297 3.241 - 3.298	σ	0.033	Promedio x CC	3.279 ± 0.114	Ls/Lh	- "Figura
Microsegundo (μs):	89.5 91.0 - 89.4	σ	0.9	Promedio	90.0	Coefficiente de corrección (CC)	1 (2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:			±0.5 cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:			- cm
Diferencia:			- cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	26.7	24.5	25.6 MPa	Se elimina la velocidad de la columna 3 por la presencia de espacios vacios en ese punto.
Ultrasonido:		10.2	10.2 MPa	
Pistola Windsor:		-	- MPa	
Regresión múltiple:	28.26	26.02	27.14 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	7-ARQ	Número de muestra:	V1
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	25 11 2006
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	13 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	10:30
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		- m
Longitud total del hormigón (Lh):	28.5	28.5	28.5 28.5 cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 44	2 38	3 42	4 44
5 44	6 38	7 36	8 36
9 38	10 34	11 38	12 38
13 44	14 36	15 38	16 39
Desviación estándar:	3		
Promedio:	39		
		Desviación estándar:	2
		Promedio:	40

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 44	2 38	3 42	4 44	1 40	2 42	3 38	4 36
5 44	6 38	7 36	8 36	5 40	6 40	7 37	8 42
9 38	10 -	11 38	12 38	9 38	10 43	11 44	12 40
13 44	14 36	15 38	16 39	13 38	14 43	15 38	16 42
Desviación estándar:	3			Desviación estándar:	2		
Promedio:	40 ± 1.46			Promedio:	40		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
		σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.429	3.445	3.565	3.413	0.069
Microsegundo (μs):	83.1	82.7	79.9	83.5	1.6
Validación de datos del ultrasonido					
	1	2	3	4	σ
Velocidad (km/s):	3.429	3.445	-	3.413	0.016
Microsegundo (μs):	83.1	82.7	-	83.5	0.4
					Promedio x CC
					3.429 ± 0.114
					83.1
					1
					(2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:	-	±0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:	-	-	cm
Diferencia:	-	-	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	23.7	23.8	23.7	No presenta patología el hormigón y se elimina la velocidad en la columna 3 por la leve presencia de armadura en ese punto.
Ultrasonido:	-	12.7	12.7	
Pistola Windsor:	-	-	-	
Regresión múltiple:	25.86	25.92	25.89	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	9-ARQ	Número de muestra:	V3
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	25 11 2006
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	13 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	11:10
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		m
Longitud total del hormigón (Lh):	30	30	30

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 36	2 32	3 31	4 35
5 38	6 39	7 39	8 36
9 40	10 38	11 36	12 36
13 35	14 32	15 38	16 37
Desviación estándar:	3		
Promedio:	36		
		Desviación estándar:	3
		Promedio:	39

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 36	2 32	3 -	4 35	1 -	2 36	3 39	4 38
5 38	6 39	7 39	8 36	5 38	6 37	7 40	8 35
9 40	10 38	11 36	12 36	9 41	10 39	11 39	12 38
13 35	14 32	15 38	16 37	13 39	14 36	15 44	16 40
Desviación estándar:	2			Desviación estándar:	2		
Promedio:	36 ±1.46			Promedio:	39		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
		σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.401	3.161	3.223	3.364	0.114
Microsegundo (μs):	88.2	94.9	93.1	89.2	3.2
Validación de datos del ultrasonido					
	1	2	3	4	σ
Velocidad (km/s):	3.401	-	3.223	3.364	0.094
Microsegundo (μs):	88.2	-	93.1	89.2	2.6
					Promedio x CC
					3.329 ±0.114
					90.2

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:			8 ±0.5 cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:			6 6.05 cm
Diferencia:			2 1.95 cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	20.0	22.4	21.2 MPa	No presenta patología el hormigón y se elimina la velocidad en la columna 2 por la leve presencia de orificio en ese punto.
Ultrasonido:		11.0	11.0 MPa	
Pistola Windsor:	22.9	23.4	23.10 MPa	
Regresión múltiple:	21.76	24.23	23.00 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	11-ARQ	Número de muestra:	V5
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	25 11 2006
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	13 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	11:50
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-	Promedio	-
Longitud total del hormigón (Lh):	23.5	23.5	23.5 cm

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 46	2 44	3 44	4 40
5 50	6 49	7 44	8 45
9 50	10 46	11 50	12 44
13 44	14 50	15 48	16 47
Desviación estándar:	3		
Promedio:	46		
		Desviación estándar:	4
		Promedio:	46

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 46	2 44	3 44	4 -	1 43	2 46	3 44	4 50
5 50	6 49	7 44	8 45	5 48	6 48	7 50	8 -
9 50	10 46	11 50	12 44	9 -	10 42	11 45	12 50
13 44	14 50	15 48	16 47	13 44	14 44	15 43	16 47
Desviación estándar:	3			Desviación estándar:	3		
Promedio:	47 ±1.46			Promedio:	46		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura				
Acoplante de ultrasonido:	GelAcuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)			
		σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"				
Velocidad (km/s):	3.289	3.392	2.789	3.418	0.294	3.222		
Microsegundo (μs):	71.5	69.3	84.3	68.8	7.3	73.4		
Validación de datos del ultrasonido						Diametro del estribo	- mm	
				σ	Promedio x CC	Ø de la armadura longitudinal	- mm	
Velocidad (km/s):	3.289	3.392	-	3.418	0.068	3.366 ±0.114	Longitud total del acero (Ls)	- mm
Microsegundo (μs):	71.5	69.3	-	68.8	1.4	69.8	Ls/Lh	- "Figura
							Coefficiente de corrección (CC)	1 (2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:	-	±0.5	cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:	-	-	cm
Diferencia:	-	-	cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	30.2	29.3	29.8 MPa	No presenta patología el hormigón y se elimina la velocidad en la columna 3 por la leve presencia de orificio en ese punto.
Ultrasonido:	-	11.6	11.6 MPa	
Pistola Windsor:	-	-	- MPa	
Regresión múltiple:	32.32	31.37	31.85 MPa	



Registro de medición con equipos de ensayos no destructivos para edificios

Datos generales de la obra

Reporte:	12-ARQ	Número de muestra:	V6
Nombre de la obra:	Arquitectura	Fecha de elaboración :	25 11 2006
Refrentado	Pulido con piedra de carborundo	Edad del hormigón:	13 Años
Curado:	Riego	Carbonatación	14 mm "ec. (2.2)"
Ubicación:	UAJMS-Cercado-Tarija-Bolivia	Tipo de hormigón :	20 MPa "ANEXO 7.2"
Especimen o elemento a inspeccionar:	Viga		

Datos generales de la aplicación de los equipos

Fecha de aplicación:	25 9 2019	Humedad:	58 %
Temperatura:	16.1 °C	Hora:	12:10
Altura de la aplicación del ensayo en la columna:	-		m
Longitud total del hormigón (Lh):	23	23	23

Datos generales de la aplicación del esclerómetro

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 805-02	Posición del esclerómetro:	0°
Factor de corrección por carbonatación:	0.91 "Figura (2.3)"		
Cara superior		Cara inferior	
1 39	2 41	3 42	4 46
5 40	6 39	7 40	8 46
9 44	10 38	11 44	12 42
13 38	14 36	15 44	16 45
Desviación estándar:	3		
Promedio:	42		
		Desviación estándar:	2
		Promedio:	42

Validación de datos del esclerómetro

Cara Superior				Cara Inferior			
1 39	2 41	3 42	4 46	1 41	2 43	3 46	4 39
5 40	6 39	7 40	8 46	5 40	6 44	7 42	8 40
9 44	10 38	11 44	12 42	9 37	10 43	11 42	12 41
13 38	14 -	15 44	16 45	13 42	14 38	15 44	16 42
Desviación estándar:	3			Desviación estándar:	2		
Promedio:	42 ± 1.46			Promedio:	42		

Datos generales de la aplicación del ultrasonido

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 597-02	Posición del ultrasonido:	0°	No influye la armadura	
Acoplante de ultrasonido:	Gel Acuoso "TelchiLitel"			Calidad del H° Buena	Tabla (2.12)
		σ	Promedio	Longitud de acero en la dirección del pulso ultrasonico (Ls) "Figura 2.5"	
Velocidad (km/s):	3.246	3.123	3.158	3.201	0.053
Microsegundo (µs):	70.9	73.6	72.8	71.9	1.2
Validación de datos del ultrasonido					
	1	2	3	4	σ
Velocidad (km/s):	-	-	3.158	3.201	0.030
Microsegundo (µs):	-	-	72.8	71.9	0.7
					Promedio x CC
					3.180 ± 0.114
					72.3
					Longitud total del acero (Ls)
					Ls/Lh
					Coefficiente de corrección (CC)
					1 (2.6)"

Datos generales de la aplicación de la pistola Windsor

Norma o código de procedimiento:	ASTM C 803-03	Posición de la pistola Windsor:	0°
Distancia total de la sonda:			8 ± 0.5 cm
Distancia de la sonda que queda en la superficie del hormigón:			5.85 5.85 cm
Diferencia:			2.15 2.15 cm

Resistencia a compresión

	Cara 1	Cara 2	Promedio	Observaciones:
Esclerómetro:	25.6	25.1	25.3	No presenta patología el hormigón y se elimina la velocidad en la columna 2 por la leve presencia de orificio en ese punto y la columna 1 por la leve presencia de armadura en ese punto.
Ultrasonido:		8.8	8.8	
Pistola Windsor:	21.4	21.4	21.36	
Regresión múltiple:	27.02	26.54	26.78	

3.6.1. Análisis de la aplicación de los equipos de END en los edificios

Haciendo un resumen de la resistencia obtenido con los distintos equipos de ensayos no destructivos, realizamos una comparación con sus especificaciones técnicas.

Tabla 3.33. Resumen de la resistencia obtenido con los equipos de ensayos no destructivos

Edificio	Número	Resistencia (MPa)				Especificación técnica	Porcentaje de variación con la especificación técnica			
		Esclerómetro	Ultrasonido	Pistola Windsor	Regresión múltiple		Esclerómetro	Ultrasonido	Pistola Windsor	Regresión múltiple
Laboratorio de suelo	1	24.8	9.2	-	25.47	21	18.1	56.3	-	21.3
	2	25.4	9.3	-	26.07	21	20.8	55.7	-	24.1
	3	24.1	10.1	19.6	24.92	21	14.5	51.9	6.6	18.7
	4	22.7	4.6	20.6	21.64	21	8.0	77.9	1.8	3.0
	5	20.2	4.7	22.1	19.26	21	3.8	77.5	5.3	8.3
	6	23.6	10.7	-	24.60	21	12.5	48.9	-	17.2
	7	21.6	8.9	21.9	22.18	21	2.7	57.7	4.1	5.6
	8	26.4	17.8	-	28.49	21	25.9	15.4	-	35.7
	9	23.6	4.7	-	22.59	21	12.3	77.6	-	7.6
	10	20.7	5.2	18.6	20.12	21	1.3	75.4	11.3	4.2
	11	24.5	16.4	23.4	26.42	21	16.8	21.7	11.2	25.8
	12	23.6	10.1	-	24.44	21	12.3	51.9	-	16.4
Promedio		23.4	9.3	21.0	23.8	21	12.4	55.7	6.7	15.7
Arquitectura	1	22.0	6.6	21.1	22.63	20	10.0	67.0	5.6	13.1
	2	24.5	10.4	-	26.08	20	22.4	48.0	-	30.4
	3	25.6	10.2	-	27.14	20	27.8	49.0	-	35.7
	4	25.8	8.6	31.1	27.07	20	29.1	56.8	55.3	35.4
	5	29.9	10.4	27.6	31.58	20	49.6	48.2	37.9	57.9
	6	27.9	12.2	-	29.85	20	39.4	38.9	-	49.3
	7	23.7	12.7	-	25.89	20	18.7	36.4	-	29.5
	8	24.3	6.3	-	25.00	20	21.4	68.6	-	25.0
	9	21.2	11.0	23.1	23.00	20	6.0	45.0	15.5	15.0
	10	27.7	9.9	27.1	29.43	20	38.6	50.6	35.4	47.2
	11	29.8	11.6	-	31.85	20	48.9	41.9	-	59.2
	12	25.3	8.8	21.4	26.78	20	26.7	56.0	6.8	33.9
Promedio		25.6	9.9	25.2	27.2	20	28.2	50.5	26.1	36.0

Fuente: Propia

Tabla 3.34. Resumen del informe de ensayos de muestra de hormigón del laboratorio de suelo³²

Fecha de elaboración	Fecha de rotura	No. de probeta	Código de obra	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
12/02/11	12/03/11	3	Columna	28	245.8
12/02/11	12/03/11	4	Columna	28	250.3
25-feb-11	25-mar-11	-	Viga	28	212.78
25-feb-11	25-mar-11	-	Viga	28	213.91
04-mar-11	01-abr-11	-	Viga	28	215.04
04-mar-11	01-abr-11	-	Viga	28	217.31
22-mar-11	19-abr-11	-	Viga	28	216.17
22-mar-11	19-abr-11	-	Viga	28	215.61
Valor máximo de rotura					250.3
Valor mínimo de rotura					212.8

Fuente: Departamento de infraestructura UAJMS, 2019

Tabla 3.35. Resumen del informe de ensayos de muestra de hormigón del bloque de arquitectura (parte I)³³

Fecha de rotura	Fecha de elaboración	No. de probeta	Código de obra	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
06/01/07	09/12/06	1	Bloque Aulas Columnas P25 a P30	28	312.0
06/01/07	09/12/06	2	Bloque Aulas Columnas P25 a P30	28	318.7
21/02/07	24/01/07	1	Viga P13-4	28	288.7
21/02/07	24/01/07	2	Viga P13-15	28	305.9
21/02/07	24/01/07	3	Viga P16-18	28	230.9
22/02/07	25/01/07	4	Viga P21-22	28	322.2
22/02/07	25/01/07	5	Viga P23-24	28	320.8
22/02/07	25/01/07	6	Viga P27-29	28	311.7
22/02/07	25/01/07	7	Viga P28-30	28	301.6
22/02/07	25/01/07	8	Viga P29-30	28	300.7
22/02/07	25/01/07	9	Viga P29-31	28	312.7
26/02/07	29/01/07	10	Viga P28-45	28	328.0
26/02/07	29/01/07	11	Viga P49-47	28	322.0
28/02/07	31/01/07	12	Viga P31-41	28	314.7

Fuente: Departamento de infraestructura UAJMS, 2019

³² Anexo 7.1. Especificación técnica del laboratorio de suelo

³³ Anexo 7.2. Especificaciones técnicas del bloque de arquitectura

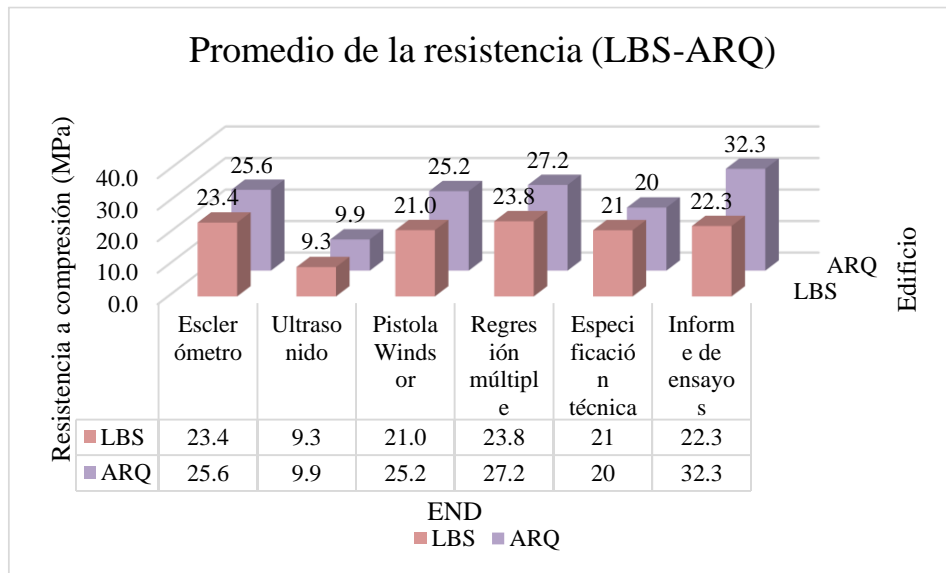
Tabla 3.36. Resumen del informe de ensayos de muestra de hormigón del bloque de arquitectura (parte 2)³⁴

Fecha de rotura	Fecha de elaboración	No. de probeta	Código de obra	Edad (días)	Resistencia (kg/cm ²)
28/02/07	31/01/07	13	Viga P33-40	28	287.8
28/02/07	31/01/07	14	Viga P34-42	28	349.4
28/02/07	31/01/07	15	Viga P46-49	28	334.0
20/02/07	23/01/07	1	Bloq. Aulas Vigas Eje B-B	28	293.1
20/02/07	23/01/07	2	Bloq. Aulas Vigas Eje B-B	28	298.3
20/02/07	23/01/07	3	Bloq. Aulas Vigas Eje A-A P-B	28	320.6
20/02/07	23/01/07	4	Bloq. Aulas Vigas Eje A-A P-B	28	323.3
20/02/07	23/01/07	5	Bloq. Aulas Vigas Eje 9-9	28	313.9
22/02/07	25/01/07	10	Bloq. Aulas Vigas P31-18 P40-37	28	336.4
22/02/07	25/01/07	11	Bloq. Aulas Vigas P31-18 P40-37	28	352.6
22/02/07	25/01/07	12	Bloq. Aulas Vigas P31-18 P40-37	28	341.2
27/02/07	30/01/07	13	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	352.4
27/02/07	30/01/07	14	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	354.5
27/02/07	30/01/07	15	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	333.7
27/02/07	30/01/07	16	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	351.1
27/02/07	30/01/07	17	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	364.4
27/02/07	30/01/07	18	Bloq. Aulas Vigas P33-34 P34-48 P35-55 P56-58	28	362.4
28/02/07	31/01/07	19	Bloq. Aulas Vigas P30-28 P49-15 P13-28 P15-30	28	348.3
28/02/07	31/01/07	20	Bloq. Aulas Vigas P30-28 P49-15 P13-28 P15-30	28	340.7
28/02/07	31/01/07	21	Bloq. Aulas Vigas P30-28 P49-15 P13-28 P15-30	28	326.0
28/02/07	31/01/07	22	Bloq. Aulas Vigas P30-28 P49-15 P13-28 P15-30	28	333.7
Valor máximo de rotura (Tabla 3.35 y Tabla 3.36)					364.4
Valor mínimo de rotura (Tabla 3.35 y Tabla 3.36)					230.9

Fuente: Departamento de infraestructura UAJMS, 2019

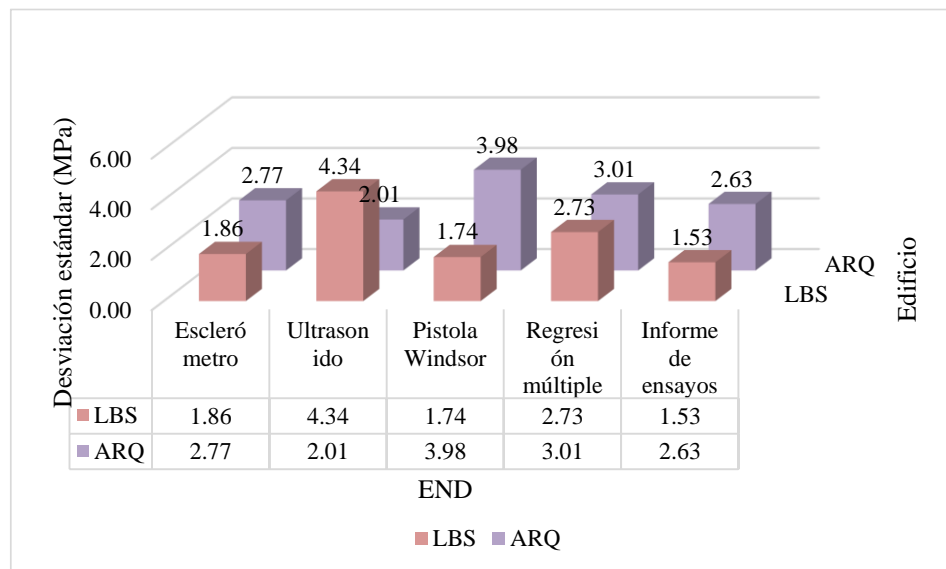
³⁴ Anexo 7.2. Especificaciones técnicas del bloque de arquitectura

Figura 3.10. Gráfico del promedio de la resistencia en los edificios³⁵



Fuente: Propia

Figura 3.11. Desviación estándar de la resistencia a compresión³⁶

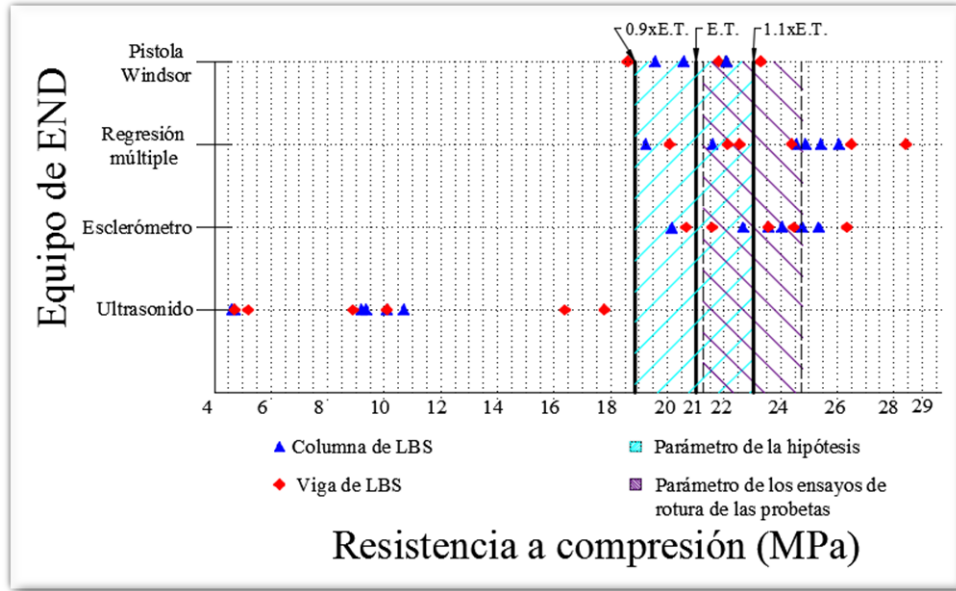


Fuente: Propia

³⁵ Tabla 3.33. Resumen de la resistencia obtenido con los equipos de ensayos no destructivos

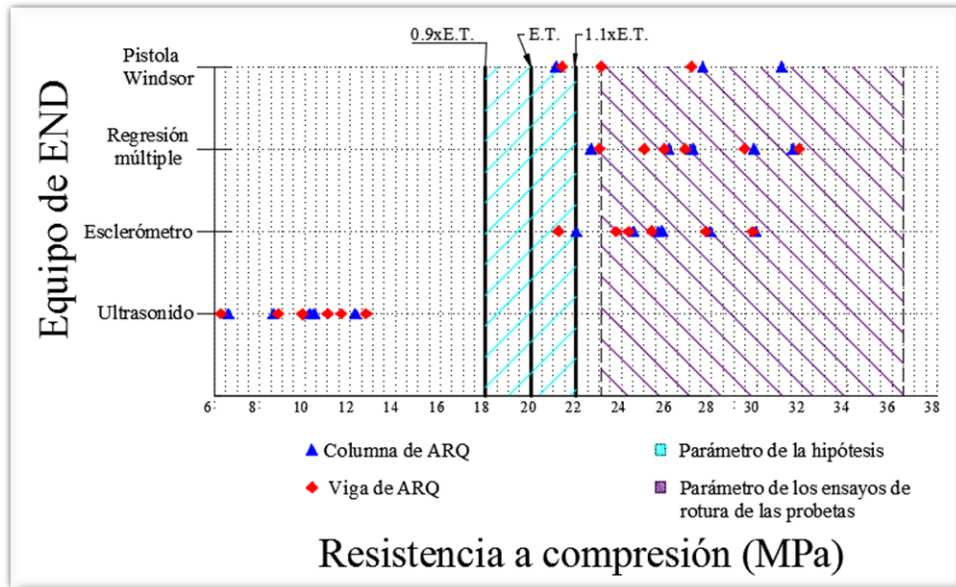
³⁶ Tabla 3.33. Resumen de la resistencia obtenido con los equipos de ensayos no destructivos

Figura 3.12. Laboratorio de suelo (viga y columna)



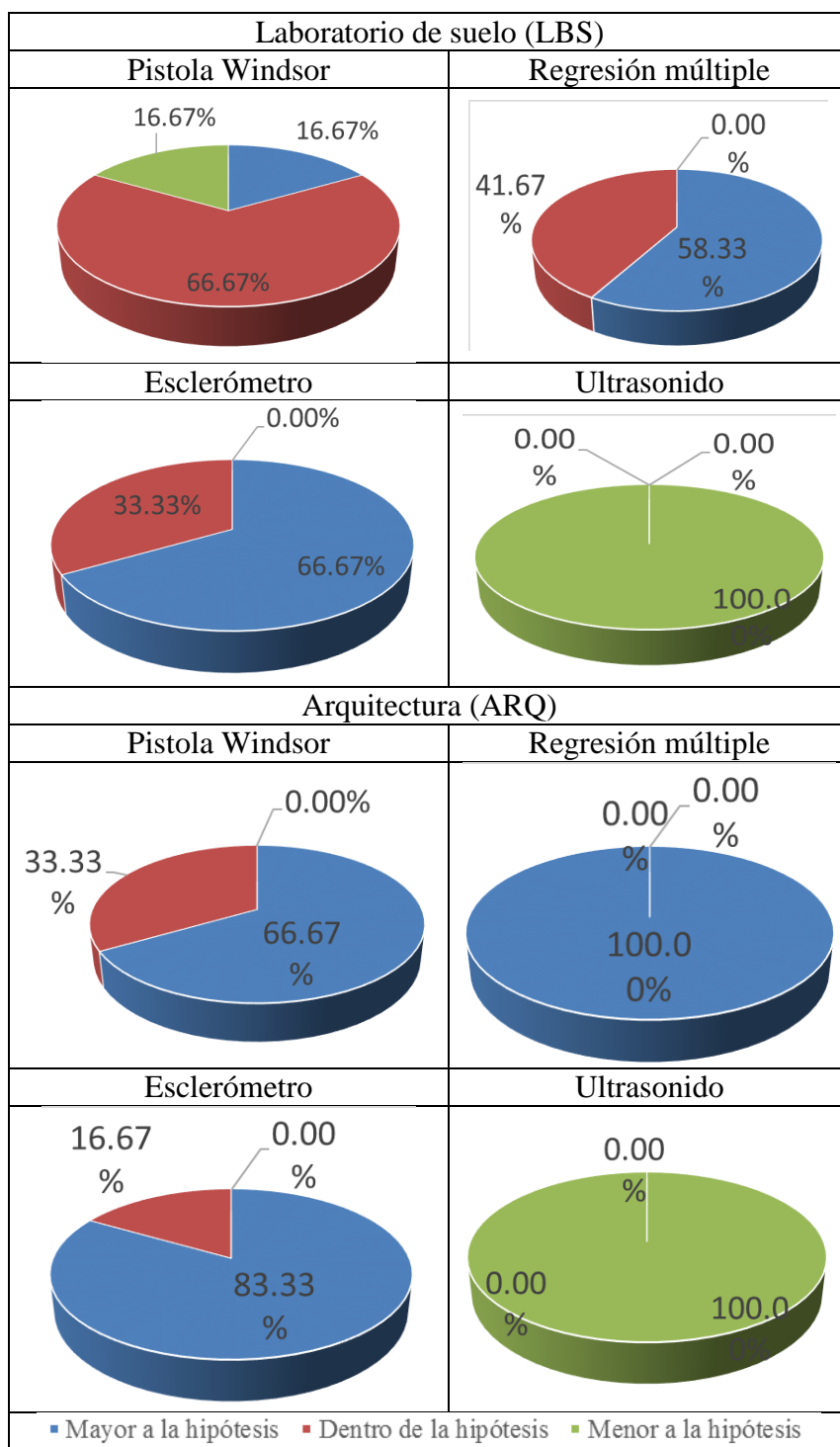
Fuente: Propia

Figura 3.13. Arquitectura (viga y columna)



Fuente: Propia

Figura 3.14. Análisis del cumplimiento de la hipótesis³⁷



Fuente: Propia

³⁷ Tabla 3.33. Resumen de la resistencia obtenido con los equipos de ensayos no destructivos

4. ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. Conclusiones

4.1.1. Características de los materiales del hormigón para la calibración de los equipos a usar en este trabajo de investigación

El cemento El Puente cumple con las exigencias de la finura y densidad, prescrita en la norma boliviana NB 011.

Los agregados de la zona de Charajas del río Camacho, utilizado en la dosificación de las probetas de este trabajo de investigación, cumplen con las exigencias de la norma ASTM correspondiente a cada estudio realizado, previamente lavado los materiales.

La cantidad de material que se pierde durante el lavado de la arena es aproximadamente el 30% de la masa total.

4.1.2. Dosificación del hormigón

El aditivo ViscoCrete 5 800, mejoró considerablemente la trabajabilidad del hormigón, la forma correcta para su aplicación es mezclar el aditivo con un tercio del agua requerida del hormigón y el momento correcto de su aplicación es durante la mezcla homogénea del hormigón donde se pueda apreciar la saturación de los agregados, el uso incorrecto de dicho aditivo puede traer consecuencia desfavorables al hormigón reduciendo las propiedades cohesivas del cemento y cambiando su color a un gris claro.

La Tabla 2.2 se adecua más al cálculo de la cantidad de cemento El Puente que se necesita para un metro cúbico de hormigón, en comparación de otras tablas, reduciendo la cantidad de correcciones que se realiza a la dosificación por prueba y error para poder alcanzar la resistencia especificada.

4.1.3. Aplicación de los equipos de END en las probetas

La aplicación de cada equipo en las probetas de hormigón tiene que ser realizada mínimo por tres personas donde uno se encarga de usar el equipo la segunda persona se encarga de ver las medidas que marca el equipo y la tercera persona se encargaría de anotar las mediciones u observaciones que se aprecia durante la práctica.

Si no se tiene el yunque calibrador del esclerómetro, se puede elaborar probetas para calibrar el equipo, y de esta manera aumentar la precisión, porque la constante de elasticidad del resorte del esclerómetro va perdiendo resistencia a la deformación.

4.1.4. Rotura de probetas

El uso del aditivo ViscoCrete 5 800, en este trabajo de investigación, tuvo mucha importancia para que el hormigón sea trabajable y alcance la resistencia de 30 MPa e incluso supere la resistencia exigida fácilmente.

Es importante acondicionar la superficie del hormigón de un cilindro, puliendo con una piedra abrasiva para que el ángulo de la superficie sea menor a 0.5 grados para tener la menor variación en la resistencia a compresión.

La velocidad de aplicación de la prensa hidráulica tiene que ser un valor constante para todos los ensayos dentro del parámetro de la velocidad de 0.2-0.4 MPa/s.

4.1.5. Gráficas de la regresión simple y múltiple de los equipos de ensayo no destructivo

La pistola Windsor es el primer equipo con la mayor correlación que tiene con la rotura de la probeta a compresión con $R^2=0.936$, seguido por el esclerómetro (-90°/10-28 días) con $R^2=0.892$ y terminando con el equipo de ultrasonido $R^2=0.887$, y para una correlación múltiple entre la rotura de probeta a compresión vs esclerómetro (-90°/10-28 días)/ultrasonido sería $R^2=0.896$.

La velocidad del ultrasonido mayor a 4 km/s, es característicos de hormigón de 30 MPa o mayor, para hormigones con la misma propiedad de elaboración que este proyecto de investigación, y está relacionado con un índice de rebote mayor o igual a 40, si el esclerómetro está en la posición de -90° y si está a 0°, el índice de rebote sería mayor a 44, para los mismos materiales y tipo de cemento empleado en este trabajo de investigación y en las mismas condiciones de laboratorio.

Esclerómetro

La variación del índice de rebote del esclerómetro en posición horizontal (0°) y posición vertical (-90°) es igual a 3.16, para un mismo tipo de hormigón.

La pendiente de la regresión lineal del esclerómetro va disminuyendo en función del uso del equipo y esto es apreciable cuando se usa probetas de hormigón para la calibración del equipo después de varios usos, aproximadamente 4000 golpes, y la causa de esta variación es por la reducción de la resistencia a la deformación del resorte que tiene el equipo, por ejemplo para una calibración con hormigón mayor a 7 días, podemos comparar la pendiente de la ecuación lineal que está en el manual de uso del equipo, que es aproximadamente 1.4 en comparación con la pendiente obtenida en este trabajo de investigación que es 1.03.

Ultrasonido

La cantidad de cemento no influyo de manera significativa en la velocidad del ultrasonido de las probetas de hormigón, en comparación con la densidad de la probeta que estuvo más relacionado con el hormigón en forma lineal.

A pesar de las propiedades de los agregados utilizados en este estudio fueron muy similares, ya que tienen en común el origen geológico, se concluyó que no se puede utilizar un modelo general de regresión no lineal entre la resistencia y la velocidad de pulso, aún para una misma región geográfica. Cualquier modelo que pretenda ser general deberá incluir un componente que varíe en función de las propiedades físicas de los agregados, tales como densidad, absorción, resistencia, etc., y probablemente otro que varíe en función de la relación entre los componentes del hormigón.

Los resultados de este estudio pueden ser interpretados afirmando que hormigones con la misma velocidad de pulso pueden tener diferencia significativa en su resistencia a compresión, como producto de otras fuentes de variación, presentes aun cuando se utilizó el mismo tipo de agregado en la región de estudio.

Para reforzar lo expuesto en el párrafo anterior, la velocidad del ultrasonido en una estructura de hormigón armado pueden ser precisos pero inexacto en el cálculo de la resistencia verdadera del hormigón usando la regresión simple no lineal obtenida en laboratorio de hormigón de este trabajo de investigación.

Pistola Windsor

El uso de la pistola Windsor para hormigones con una resistencia mayor o igual a 30 MPa, pierde precisión y muchas veces la sonda se termina doblando, con ese tipo de hormigón, llegando a desecharse dicha sonda.

Regresión lineal múltiple

El valor de la resistencia del hormigón calculado con la regresión lineal múltiple tiene que ser menor al valor del esclerómetro para análisis de edificios que presenten carbonatación, cuando la relación del esclerómetro con la resistencia a compresión de la probeta es mayor a la relación de la velocidad del ultrasonido con la resistencia a la rotura de la probeta.

Si la resistencia a compresión obtenida con la ecuación de regresión lineal múltiple es menor que la resistencia obtenida del ultrasonido y del esclerómetro significa que la ecuación de regresión lineal múltiple está mal elaborada o bien uno de los equipos no está correctamente calibrado.

4.1.6. Aplicación de los equipos de ensayo no destructivo en los edificios

La resistencia calculada con el índice de rebote, del promedio de las dos caras de la viga o columna, tiene mayor precisión, que analizar solo una de las caras.

Para el análisis de edificios con muchos años de antigüedad, el índice de rebote puede ser muy alto a causa de la carbonatación del hormigón, y para el ultrasonido puede dar valores muy altos debido a la presencia de acero, si se presenta una de estas situaciones, corregir los valores con las tablas correspondientes que se muestra en el capítulo 2 de este trabajo de investigación.

La velocidad del ultrasonido en los edificios fue menor al análisis realizado en las probetas que se elaboró en laboratorio, debido a la cantidad de humedad que tenía el hormigón, porque en los edificios tienen menor humedad el hormigón que en las probetas que estuvieron 24 hr fuera de la piscina del laboratorio.

Se puede identificar el punto óptimo para la aplicación de la pistola Windsor en la obra utilizando el equipo de ultrasonido para identificar la zona donde se produce la menor velocidad.

Laboratorio de suelo

En un edificio con una edad mayor o igual a un año, no existe mucha variación en el índice de rebote que te da el esclerómetro cuando se aplica en una columna a distintas alturas, como se puede apreciar en el reporte 3-LBS y 6-LBS.

En la siguiente tabla se puede apreciar en porcentaje, el total de los ensayos realizados en el edificio, quienes están dentro de la hipótesis de más y menos 10% de la especificación técnica.

Tabla 4.1. Análisis del cumplimiento de la hipótesis en el laboratorio de suelo

Edificio	Equipo de ensayo no destructivo	Resistencia a compresión		
		Mayor a la hipótesis	Dentro de la hipótesis	Menor a la hipótesis
Laboratorio de suelo	Pistola Windsor	1	4	1
		16.67%	66.67%	16.67%
	Regresión múltiple	7	5	0
		58.33%	41.67%	0.00%
	Esclerómetro	8	4	0
		66.67%	33.33%	0.00%
Ultrasonido	0	0	12	
	0.00%	0.00%	100.00%	

Fuente: Propia

Se pudo demostrar que el equipo de ultrasonido no es bueno para calcular la resistencia a compresión del hormigón ya que difiere en gran medida, pero para el análisis de la homogeneidad del hormigón es aceptable estando el 66.67% de los ensayos en buenas condiciones y el resto está en condición regular.

La resistencia a compresión obtenida con los equipos de ensayo no destructivo sin tomar en cuenta el equipo de ultrasonido, está dentro del parámetro de la resistencia máxima (25.03 MPa) y mínima (21.28 MPa) del informe de ensayo de muestra de hormigón en un 66.67% y el resto estaría distribuido de la siguiente manera, 13.33 % menor a la resistencia mínima y 10% mayor a la resistencia máxima.

Hay una observación en uno de los ensayos realizados en la viga, se puede apreciar en el reporte 10-LBS, que dicho elemento está por debajo de la resistencia a compresión exigida

en las especificaciones técnicas (21 MPa) donde coinciden todos los ensayos no destructivos realizados en ese punto.

Los valores del esclerómetro y de la regresión múltiple, tienen valores altos en una viga de la segunda planta del laboratorio de suelo y eso es a causa de la carbonatación que es mayor al calculado, eso es explicable a causa del agua que se infiltra en la cubierta y cae en la viga que se analizó.

Bloque de arquitectura

En la siguiente tabla se puede apreciar en porcentaje, el total de los ensayos realizados en el edificio, quienes están dentro de la hipótesis de más y menos 10% de la especificación técnica.

Tabla 4.2. Análisis del cumplimiento de la hipótesis en el bloque de arquitectura

Edificio	Equipo de ensayo no destructivo	Resistencia a compresión		
		Mayor a la hipótesis	Dentro de la hipótesis	Menor a la hipótesis
Arquitectura	Pistola Windsor	4	2	0
		66.67%	33.33%	0.00%
	Regresión múltiple	12	0	0
		100.00%	0.00%	0.00%
	Esclerómetro	10	2	0
		83.33%	16.67%	0.00%
Ultrasonido	0	0	12	
	0.00%	0.00%	100.00%	

Fuente: Propia

Descartando el análisis de la resistencia dada por el ultrasonido y rescatando el análisis de la homogeneidad, el 83.33 % está en buenas condiciones siendo un hormigón homogéneo y el resto está en condiciones regulares.

La resistencia a compresión obtenida con los equipos de ensayo no destructivo sin tomar en cuenta el equipo de ultrasonido, está dentro del parámetro de la resistencia máxima (36.44 MPa) y mínima (23.09 MPa) del informe de ensayo de muestra de hormigón en un 80% y el resto está por debajo de la resistencia mínima pero mayor a la resistencia exigida en las especificaciones técnicas (20 MPa).

En resumen, el bloque de arquitectura está en mejores condiciones que el laboratorio de suelo, se pudo demostrar que cumplió con los parámetros de calidad previsto en la construcción porque tuvimos resultados satisfactorio y eso se vio reflejado en la resistencia a compresión del hormigón que se obtuvo con los equipos de ensayo no destructivo en comparación del laboratorio de suelo que tiene algunos elementos estructurales en forma puntual que no debió de haber cumplido con los parámetros de calidad en la construcción de la obra.

4.2. Recomendaciones

4.2.1. Características de los materiales del hormigón para la calibración de los equipos a usar en este trabajo de investigación

Se puede estudiar para un futuro trabajo de investigación, la influencia del tipo de agregado, tamaño máximo, y granulometría en la elaboración de las probetas para la calibración de los equipos de ensayo no destructivo (esclerómetro, ultrasonido y pistola Windsor) tomando en cuenta el cumplimiento correspondiente de la norma ASTM.

Para el uso de cemento en la elaboración de probetas en gran cantidad, se recomienda comprar todas las bolsas de cemento necesarias para el trabajo de investigación donde su almacenamiento no supere los 3 meses desde la fecha de elaboración, para reducir la variable de la calidad de cemento, que se produce en el proceso de elaboración.

La misma recomendación que se realiza en el párrafo anterior se aplica para los agregados, con el propósito de trasladar todo el material necesario del lugar donde se realiza la producción, a un lugar libre de impureza, y cerca del laboratorio, para hacer la caracterización de los agregados y que sea la muestra representativa del material, y de esta manera evitar la incertidumbre de la variación de la calidad del material que se produce en la chancadora por cada 1000 m³ de producción o por cada mes.

4.2.2. Dosificación del hormigón

Para un futuro trabajo de investigación donde el propósito es alcanzar un hormigón igual o mayor a 40 MPa, con una cantidad de cemento requerida para un hormigón de 30 MPa, utilizando un cemento IP 30, se recomienda usar un aditivo superplastificante para mejorar la trabajabilidad, porque la cantidad de agua que se utilizaría para ese trabajo de

investigación sería igual al 30 % del agua requerida, también se aumentaría la relación de la grava y arena en masa igual o próximo a 1.2.

No se debe verter el aditivo superplastificante de forma directa en la mezcla de hormigón, es decir, primeramente se lo debe mezclar con un tercio de agua requerida en la dosificación para disolverlo y luego verterlo en el hormigón.

4.2.3. Aplicación de los equipos de END en las probetas

Para un futuro trabajo de investigación, se puede estudiar la variación de la velocidad del ultrasonido en el hormigón armado, haciendo variar la cantidad de acero para una medición directa, semidirecta o indirecta.

La temperatura de aplicación del equipo de ultrasonido no debe de superar los valores extremos que se ve en la Tabla 2.11.

Para la calibración del esclerómetro en probetas menor o igual a 7 días, es recomendable realizar la aplicación en la cara inferior de dicha probeta para tener una lectura más precisa.

Se puede hacer un estudio con la pistola Windsor y la resistencia a la flexión de una viga para hallar una ecuación que relacione las dos variables.

4.2.4. Rotura de probetas

Para un buen refrentado de la probeta de hormigón se puede usar mortero de azufre con el objetivo de cubrir las irregularidades de fabricación de la cara superior de la probeta, de manera que resulte una superficie totalmente plana y perpendicular a su arista, también se puede usar una piedra de carborundo para acondicionar la superficie de la probeta de hormigón.

4.2.5. Gráficas de la regresión simple y múltiple de los equipos de ensayo no destructivo

Se puede ampliar el estudio de la correlación de los equipos de ensayo no destructivo con una ampliación de datos a nivel nacional e internacional para una correspondiente extrapolación.

Se puede estudiar las zonas deterioradas en una viga o columna a causa del incendio, con los equipos de ensayo no destructivo usados en esta investigación para verificar si la estructura no supero su estado límite de servicio.

Esclerómetro

Al momento de hacer las gráficas correspondientes de cada equipo de ensayo no destructivo, es recomendable compararlo con estudios similares a la investigación que se está realizando, tal vez no sean totalmente iguales las ecuaciones obtenidas de la regresión, pero las gráficas realizadas tienen que ser similares.

Ultrasonido

Se puede usar la grasa o el aceite como alternativa de sustitución del gel acuoso, para los acoplantes del ultrasonido.

Los puntos que se deben de analizar en un edificio, con el equipo de ultrasonido, tienen que ser lugares accesibles, y seguros. Con el propósito de mejorar la lectura y la seguridad del operador.

Pistola Windsor

Verificar con el ultrasonido, esclerómetro y con la regresión lineal múltiple la resistencia del hormigón, antes de aplicar la pistola Windsor, si dos de las alternativas de cálculo que se acaba de mencionar llega a 30 MPa, no aplicar la pistola Windsor, por seguridad de la sonda.

Regresión lineal múltiple

Si las variables independientes de la regresión lineal múltiple tienen valor negativo, revisar el funcionamiento correcto de los equipos de ensayo no destructivo que se usaron para hacer esta ecuación de tres variables.

4.2.6. Aplicación de los equipos de ensayo no destructivo en los edificios

Trabajar con las nuevas tecnologías, como el Pachómetro para generar nuevas bases de datos, que permitan disponer de una mayor cantidad de información, que mejore las conclusiones, en una peritación.

Elaborar una metodología para mejorar el control de obra durante la construcción, con el uso de equipos de ensayos no destructivos para corroborar la homogeneidad del hormigón.

Reducir el tiempo de encofrado de una viga o columna con el uso de los equipos de ensayo no destructivo para verificar que el hormigón alcanzó la resistencia mínima necesaria para ser desencofrado el elemento.