

UCUENCA

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Civil.

Autores:

Flavio Josué Yunga Guamán

CI: 0106971732

Correo electrónico: josueyunga@hotmail.com

Anthony Leonardo Zumba Cabrera

CI: 0105550347

Correo electrónico: anthony.zumbac@gmail.com

Director:

Ing. Daniel Estuardo Mogrovejo Carrasco

CI: 0301500476

Cuenca - Ecuador

06-julio-2022

Resumen:

Los métodos no destructivos son una metodología usada para determinar las propiedades de los hormigones, estos ensayos son de interés, ya que conservan la integridad estructural, a más de esto resultan económicos y con el análisis adecuado los resultados son fiables; entre dichos ensayos se encuentra el de ultrasonido, existen numerosas investigaciones que han determinado los factores que influyen en estas mediciones, lo cual ha limitado su uso. Actualmente se lo emplea para determinar la profundidad de las fisuras y en ciertos casos se aplica para analizar el estado del hormigón de manera cuantitativa. Diversos estudios han podido identificar que no se puede establecer una relación general, debido a que las propiedades de los agregados dependen del sector del que provengan.

Por estos antecedentes, el presente trabajo tiene como objetivo determinar si es factible el uso del ensayo de ultrasonido para determinar la resistencia a la compresión, debido a que los agregados que se utilizan en la zona provienen del mismo sector, los resultados obtenidos son aplicables únicamente en la localidad. Por lo cual, se ha trabajado con más de 500 muestras provenientes de dos hormigoneras locales, con las cuales se realizó un análisis estadístico, con el fin de determinar la correlación existente. Posterior a esto, el ensayo se lo llevó a campo, donde se comparó los resultados de ultrasonido y de esclerometría; adicionalmente se establece la influencia que tiene la presencia de armaduras y las grietas en las mediciones.

Palabras claves: Ensayo no destructivo. Velocidad de pulso ultrasónico. Resistencia a la compresión. Ensayos en campo. Correlación.

Abstract:

Non-destructive methods are a methodology used to determine the properties of concrete, these tests are of interest since they preserve the structural integrity, in addition to this, they are economical and with the adequate analysis the results are reliable; Among these tests is the ultrasound test, there are numerous investigations that have determined the factors that influence these measurements, which has limited their use. It is currently used to determine the depth of cracks and in certain cases it is applied to quantitatively analyze the condition of concrete. Various studies have been able to identify that a general relationship cannot be established, since the properties of the aggregates depend on the sector from which they come.

Due to these backgrounds, the present work aims to determine if it is feasible to use the ultrasound test to determine the compressive strength, because the aggregates used in the area come from the same sector, the results obtained are applicable only in the locality. Therefore, we have worked with more than 500 samples from two local concrete mixers with which a statistical analysis was carried out, in order to determine the existing correlation. After this, the trial was taken to the field, where the results of ultrasound and rebound test were compared. Additionally, the influence of the presence of reinforcement and cracks on the measurements is established.

Keywords: Nondestructive test. Ultrasonic pulse rate. Compression resistance. Field trials. Correlation.

Índice

1	Introducción	14
1.1	Antecedentes	15
1.2	Definición y Justificación del problema	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo General	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
1.4	Alcance	18
2	Marco teórico.....	20
2.1	Diseño de hormigón	20
2.1.1	Cemento	20
2.1.2	Agua.....	21
2.1.3	Agregados.....	22
2.1.4	Aditivos.....	23
2.1.5	Diseño de mezclas	24
2.1.6	Estado fresco del hormigón	25
2.1.7	Fraguado del hormigón	27
2.1.8	Estado endurecido del hormigón.....	28
2.2	Ensayos no destructivos	30
2.2.1	Ensayo de detección de armaduras	30
2.2.2	Ensayo de ultrasonido	31
2.2.3	Ensayo de esclerometría.....	32
2.3	Ensayos destructivos	34
2.3.1	Ensayo de compresión simple	34
2.4	Análisis estadístico	36
2.4.1	Regresión lineal simple.....	36
2.4.2	Análisis de regresión.....	37
2.4.3	Análisis de Residuos.....	38
2.4.4	Prueba de Normalidad.....	38
2.4.5	Test de pendiente.....	39

3	Materiales y Metodología	39
3.1	Materiales	40
3.1.1	Probetas de hormigón	40
3.1.2	Prensa hidráulica	41
3.1.3	Equipo de Ultrasonido	42
3.1.4	Esclerómetro	43
3.1.5	Detector de armaduras.....	43
3.2	Metodología	44
3.2.1	Ensayos en Laboratorio	44
3.2.2	Ensayos en Campo	48
3.3	Estadística.....	51
4	Resultados y Discusión	52
4.1	Ensayos de laboratorio	52
4.1.1	Análisis de correlación entre la resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico	52
4.1.2	Influencia de la relación a/c.....	58
4.2	Ensayos en Campo.....	60
4.2.1	Esclerómetro-ultrasonido	60
4.2.2	Influencia de la presencia de acero	67
4.2.3	Impacto de los diferentes estados de fisuración en la velocidad de ultrasonido	71
5	Conclusiones y Recomendaciones	75
5.1	Conclusiones.....	75
5.2	Recomendaciones	76
6	Bibliografía	77
7	Anexos.....	82

Índice de figuras

Figura 1: Tipos de cementos distribuidos por Holcim.	21
Figura 2: Ensayo de Cono de Abrams.	26
Figura 3: Ensayo de Fluidez	26
Figura 4: Gráfico Resistencia a la compresion - relación a/c	28
Figura 5: Curva de resistencia a la compresión.	29
Figura 6: Ensayo de detección de armaduras	30
Figura 7: Equipo de ultrasonido	31
Figura 8: Tipos de medición ensayo de ultrasonido	32
Figura 9: Funcionamiento del esclerómetro.....	33
Figura 10: Ejecución del ensayo de compresión.....	35
Figura 11: Tipos de fractura.	35
Figura 12: Patrones para gráficos de residuos.....	38
Figura 13: Probetas cilíndricas (10cm diámetro y 20cm de altura)	40
Figura 14: Prensa Hidráulica - Hormigonera A	41
Figura 15: Prensa Hidráulica - Hormigonera B.....	42
Figura 16: Equipo ultrasonido TICO Proceq.....	42
Figura 17: Equipo de esclerometría NOVATEST.....	43
Figura 18: Detector de Armaduras ZIRCON MT 6	43
Figura 19: Muestras húmedas (Hormigonera B – hormigón bombeado)	44
Figura 20: Muestras después de periodo de secado (Hormigonera B – hormigón bombeado)	45
Figura 21: Registro de dimensiones y pesos de las muestras	45
Figura 22: Rotura de cilindros a compresión	46
Figura 23: Equipo de ultrasonido TICO PROCEQ.....	46
Figura 24: Calibración del equipo	47
Figura 25: Ensayo de Ultrasonido en laboratorio	48
Figura 26: Ensayo de detección de armaduras	48
Figura 27: Ensayo de Esclerometría	49
Figura 28: Ensayo de ultrasonido en obra	50
Figura 29: Mediciones realizadas para determinar influencia de las armaduras.....	50
Figura 30: Determinación visual de estado de fisuración (Fisura Superficial)	51
Figura 31: Ensayos sobre grietas y puntos intermedios para determinar la influencia	51
Figura 32: Datos de ensayo de laboratorio (VPU - f'c).....	53
Figura 33: Análisis de errores (Gráfico de residuales)	54
Figura 34: Transformación lineal de los datos obtenidos	54
Figura 35: Análisis de residuos de la transformación lineal	55
Figura 36: Normal Q-Q	56
Figura 37: Probabilidad Normal Acumulada.....	57
Figura 38: Modelo de correlación obtenido del análisis estadístico.....	58
Figura 39: Influencia de la relación a/c sobre la velocidad de pulso ultrasónico.....	59

Figura 40: Calibración para el ensayo de esclerometría	61
Figura 41: Transformación lineal para ecuación de datos filtrados	62
Figura 42: Grafico comparativo Esclerómetro - Ultrasonido (Modelo Obtenido)	63
Figura 43: Grafico comparativo Esclerómetro - Ultrasonido (Fórmula de Tomsett).....	64
Figura 44: Gráfico comparativo Ultrasonido – Ultrasonido	65
Figura 45: Análisis de relación entre el ensayo de esclerometría y ultrasonido	66
Figura 46: Análisis de residuos	66
Figura 47: Casos para mediciones sobre armaduras.	67
Figura 48: Influencia de la presencia de armaduras	68
Figura 49: Diagrama de caja y bigotes para el análisis de influencia de las armaduras	70
Figura 50: Análisis de influencia en mediciones indirectas.....	71
Figura 51: Análisis de influencia de los estados de agrietamiento en la velocidad de ultrasonido ..	74

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación del hormigón según Leslie y Cheesman	15
Tabla 2: Evaluación de la calidad del hormigón según Agraval	16
Tabla 3: Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas	16
Tabla 4: Resistencia y relación agua/cemento	41
Tabla 5: Test de normalidad de Shapiro-Wilk.....	56
Tabla 6: Comparación de estadísticos de los modelos analizados	57
Tabla 7: Estadísticos de la regresión lineal (VPU-a/c).....	59
Tabla 8: Estadísticos para validación de correlación	60
Tabla 9: Datos filtrados para las características del hormigón en obra	61
Tabla 10: Comparación entre coeficientes de la ecuación general vs ecuación con datos filtrados	62
Tabla 11: Clasificación visuales de las fisuras	72
Tabla 12: Resultado mediciones de fisuras en obras.....	73

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Flavio Josué Yunga Guamán en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de julio de 2022



Flavio Josué Yunga Guamán

C.I: 0106971732

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Anthony Leonardo Zumba Cabrera en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 06 de julio de 2022



Anthony Leonardo Zumba Cabrera

C.I: 0105550347

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Flavio Josué Yunga Guamán, autor del trabajo de titulación "Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 06 de julio de 2022



Flavio Josué Yunga Guamán

C.I: 0106971732

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Anthony Leonardo Zumba Cabrera, autor del trabajo de titulación “Análisis de propiedades del hormigón a través del ensayo no destructivo de ultrasonido”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 06 de julio de 2022



Anthony Leonardo Zumba Cabrera

C.I: 0105550347

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por su apoyo incondicional durante todos estos años de formación, su paciencia, consejos y motivación nos permitieron cumplir nuestras metas.

A nuestro director, Ing. Daniel Mogrovejo, quien con su experiencia y conocimiento nos orientó en el desarrollo de este trabajo, gracias por el tiempo dedicado.

A la Facultad de Ingeniería y sus docentes, por los valiosos conocimientos compartidos y la formación brindada.

A nuestros amigos, quienes nos ayudaron en el desarrollo de este trabajo y a nuestros compañeros por acompañarnos en nuestros estudios.

Finalmente, agradecidos con Dios por ayudarnos en nuestros momentos de debilidad y poner a todas estas personas en nuestro camino como profesionales.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas, pilares fundamentales en mi vida, quienes me apoyaron y aconsejaron durante este largo camino.

A mis amigos que me ayudaron en varias etapas de mi vida, su apoyo en largas jornadas de estudio, me ha permitido llegar hasta aquí.

Josué Yunga

A mis padres, porque el apoyo de ellos fue fundamental para alcanzar el objetivo.

A mi hermana, por toda la paciencia y cariño brindado.

A mis abuelos, tíos y primos; por siempre haber confiado en mí.

A Erika, por el cariño y la ayuda brindada ante las adversidades.

Anthony Zumba

1 Introducción

El ensayo no destructivo de ultrasonido se basa en el método físico de propagación de onda a través de un medio, por lo que está fuertemente relacionado con la densidad del elemento, al analizar las señales de las ondas se conoce su comportamiento durante su trayectoria y esta depende de las interrupciones que encuentre en su recorrido. Durante décadas tecnólogos del concreto se han dedicado a determinar las propiedades del hormigón mediante este tipo de ensayos. El profesor Sokolov en 1929 pensó que se podría utilizar las vibraciones ultrasónicas para detectar imperfecciones en los materiales, al descubrir que estas ondas pueden atravesar grandes espesores (Gómez, 2006). A raíz de este descubrimiento se empezaron a realizar pruebas con métodos vibratorios a partir de la década de 1930; producto de estas investigaciones en 1938 surge el método de frecuencia resonante, el cual consistía en ensayar especímenes de concreto, generalmente de 51x51x241 mm, donde se hacía coincidir el tono producido por estas muestras al ser golpeadas con un martillo, con el tono creado por un conjunto de campanas calibradas según la frecuencia; siendo este método el que sentó las bases para el desarrollo de métodos más sofisticados.

La Segunda Guerra Mundial impulsó la investigación de pruebas no destructivas al utilizar métodos de propagación de ondas de tensión. El desarrollo del método de pulso ultrasónico surge en Inglaterra y Canadá de manera simultánea en 1949. Por un lado tenemos a Leslie y Cheesman quienes en Canadá desarrollaron el soniscopio, mientras que en Inglaterra, Jones fabricaría el probador ultrasónico (Malhotra y Carino, 2003). En la década de 1960, se utiliza el método para evaluar el estado de obras existentes, pasando de ser un método únicamente de laboratorio a ser empleado para la evaluación del estado del hormigón in situ.

Leslie y Cheesman realizaron una correlación cualitativa, relacionando la calidad del hormigón y la velocidad de pulso ultrasónico, calificándolo como: excelente, bueno, cuestionable, pobre o muy pobre (Pellicer, 2014). Adicional a esto existen diversos estudios que han tratado de relacionar la resistencia a la compresión y la velocidad de ultrasonido, determinando que no se puede tener una relación universal ya que uno de los factores que influye en la medición es el origen de los agregados, teniendo diferentes relaciones para cada zona dependiendo de los áridos que se empleen (Solís & Moreno, 2004). Por lo que el presente trabajo se centra en obtener una correlación cuantitativa entre la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico. Sin embargo, hay que tener en cuenta la variabilidad que se puede presentar, debido a factores como humedad, proporciones de mezcla, edad del hormigón, tipo de agregados, frecuencia a la que se realiza los ensayos, adherencia entre los transductores y el hormigón, entre otros. Por todos estos factores es difícil obtener una predicción precisa de la resistencia, por lo que se intenta establecer una recomendación aceptable, basada en una amplia información de ensayos realizados en hormigoneras de la zona, así como de aplicaciones en obras donde se analiza no solo la resistencia que presenta el hormigón, sino la influencia que presenta la presencia de las armaduras, así como la influencia de las grietas.

1.1 Antecedentes

El hormigón y el acero son los materiales de construcción más utilizados a nivel mundial, el hormigón tiene como característica principal la resistencia a la compresión, su importancia se fundamenta en que a medida que se garantice la resistencia requerida indiferentemente del uso que se dé, la obra no tendrá problemas, por lo que es de suma importancia controlar y garantizar la resistencia de diseño mediante ensayos, debido a esto, se ha profundizado el estudio de su estado y la influencia de las diferentes propiedades del mismo; el análisis de las diferentes características se realizan mediante la aplicación de ensayos destructivos, como es el caso de la determinación de la resistencia del hormigón mediante el ensayo de compresión simple. Las distintas técnicas y correlaciones para definir las propiedades del hormigón implican un análisis de laboratorio, para el cual se deben aplicar técnicas destructivas como es el caso de la extracción de núcleos, los estudios no solo se realizan para hormigones recién fabricados sino también para estructuras existentes, por lo cual, para un estudio más completo se deberían realizar varias muestras de tal manera que los resultados sean representativos.

Producto de las primeras investigaciones de transmisión de ondas ultrasónicas, realizadas por Leslie y Cheesman en 1949, surge la primera caracterización del hormigón mediante este ensayo, los resultados que se presentan en la Tabla 1 son cualitativos, donde se dan rangos de velocidad de pulso ultrasónico para calificar la condición del hormigón.

Tabla 1: Clasificación del hormigón según Leslie y Cheesman

Velocidad de onda longitudinal [m/s]	Clasificación del concreto
Mayor a 4575	Excelente
Entre 4575 - 3660	Bueno
Entre 3660 - 3050	Cuestionable
Entre 3050 - 2135	Pobre
Menor a 2135	Muy Pobre

Nota: Información recopilada de (Pellicer, 2014)

Estudios posteriores han determinado otras clasificaciones cualitativas como la propuesta por Agraval (Tabla 2), la cual califica al hormigón como pobre, regular o bueno. Esta tabla es menos descriptiva que la propuesta por Leslie y Cheesman, sin embargo, coinciden que una velocidad menor a 2130 m/s es un indicador que el hormigón se encuentra en malas condiciones. Pellicer publica una clasificación de velocidad mínima de pulso ultrasónico en estructuras típicas de hormigón como se puede ver en la Tabla 3.

Tabla 2: Evaluación de la calidad del hormigón según Agraval

Velocidad de pulso ultrasónico [m/s]	Clasificación del concreto
Mayor a 3000	Buena
Entre 2500 - 3000	Regular
Menor a 2130	Pobre
Nota: Información recopilada de (Pellicer, 2014)	

Tabla 3: Velocidad mínima de pulso en estructuras típicas

Tipo de Obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación [m/s]
Secciones T de hormigón reforzado	4570
Unidades de anclaje de hormigón reforzado	4360
Marcos de edificios de hormigón reforzado	4110
Losas de entrepiso	4720
Nota: Información recopilada de (Pellicer, 2014)	

Estas tablas sirven para una caracterización inicial del hormigón, sin embargo, el crecimiento del uso de métodos no destructivos impulsó a desarrollar investigaciones para predecir mediante ensayos de ultrasonido la resistencia del hormigón, con el fin de satisfacer la demanda de ensayos en construcciones de hormigón dañadas (Turgut y Kucuk, 2006). Durante muchos años se han realizado estudios con el fin de predecir la resistencia a compresión a través del ensayo de ultrasonido (Anderson y Seals, 1981). Estudios realizados por Castellanos en Yucatán – México en 1985, se obtuvo un coeficiente de correlación (R) de 0.94, estos se ensayaron en concretos con un tiempo de curado de 28 días y utilizando un único agregado variando sus proporciones (Solís y Moreno, 2004). Leshchinsky resumió las ventajas de las pruebas no destructivas, al compararlas con la prueba de extracción de núcleos, presentando como principal ventaja que no se afecta a la estructura, se puede aplicar los ensayos en lugares de difícil acceso donde no se pueden perforar núcleos, además la utilización de estos métodos resulta menos costosa (Bilgehan y Turgut, 2010).

(Demirboğa et al., 2004) investigaron la relación existente entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión, estos ensayos se realizaron a los 3, 7, 28 y 120 días de curado, donde se determinó que tanto la resistencia como la velocidad de pulso aumentan con el tiempo de curado. Un estudio realizado por (Breyse, 2012) indica que se puede reducir la cantidad de núcleos a extraerse optando por ensayos de ultrasonido sin deteriorar la calidad de la evaluación y brindando protección a la integridad estructural.

En Ecuador ya se ha empleado el ultrasonido para evaluar las estructuras afectadas por el sismo de Pedernales ocurrido en 2016, el trabajo propuesto por (Aguilar, 2017) emplea la ecuación de Turgut para determinar la resistencia a la compresión de edificios de altura de Manta afectados por el

terremoto del 16 de abril. Existen estudios de correlaciones efectuadas en hormigoneras del Austro realizado por (Segarra et al., 2017), donde se determina curvas de calibración con relación a resultados de esclerometría, sin embargo, no hay estudios realizados con ultrasonido.

Las investigaciones realizadas por estos autores indican que el uso del ensayo de ultrasonido es viable bajo ciertas condiciones, hay tener en cuenta los factores que influyen en las mediciones y las limitaciones que se pueden presentar, para que de esta manera se pueda disminuir la variabilidad en los resultados. Por lo que el objetivo de esta investigación es determinar si existe una correlación entre la resistencia y la velocidad de pulso ultrasónico, para su aplicación en estructuras existentes, considerando la influencia de las armaduras y de grietas que se puedan presentar en obras. A más de esto se realizarán observaciones, las cuales servirán de precedente para futuras investigaciones con el fin de mejorar el método.

1.2 Definición y Justificación del problema

En nuestro medio el ensayo no destructivo de ultrasonido no tiene un buen desarrollo para su aplicación el análisis patológico de las estructuras, lo más común es optar por un ensayo destructivo como la extracción de núcleos, si bien los resultados son precisos este método resulta invasivo llegando a debilitar la estructura, otro de los inconvenientes que presenta el ensayo es que al tratarse de estructuras antiguas se desconoce el tamaño máximo nominal de los agregados por lo que no se puede extraer un núcleo de tamaño adecuado.

Si nos referimos a ensayos no destructivos el más común en el medio es el ensayo de esclerometría, permite determinar la dureza superficial del hormigón, con la que se puede inferir la resistencia mecánica del material. En ensayos en hormigón, habitualmente se usa el esclerómetro tipo Schmidt, que consiste en un vástago, a lo largo del cual se desliza una masa puesta en movimiento por un resorte, presentando el inconveniente de que debe ser calibrado constantemente y para una mejor aproximación se debe conocer la resistencia de algún espécimen ensayado para corroborar los datos.

Por lo antes expuesto, el problema principal radica en la falta de desarrollo y análisis del ensayo de ultrasonido; los resultados que se obtienen de este ensayo están sujetos a diversos factores, por lo que, la precisión que se obtiene al determinar la resistencia del hormigón se ve afectada por las condiciones en las que se efectúe, presentando resultados que no corresponden necesariamente con lo esperado.

Por consecuencia, el presente trabajo se encuentra plenamente justificado debido a que se busca plantear una ecuación que proporcione una correlación, entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión con una precisión adecuada, de igual forma se analizara la influencia de la presencia de armaduras y grietas para mediciones in-situ.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la factibilidad del uso del ensayo no destructivo de ultrasonido, para determinar la resistencia a la compresión del hormigón con una precisión técnicamente aceptable.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar las correlaciones respecto a la resistencia a la compresión en función de la velocidad de onda.
2. Realizar un estudio comparativo del ensayo de ultrasonido con el ensayo de esclerometría.
3. Establecer la influencia que puede tener la presencia del acero, en los resultados de velocidad de onda.
4. Identificar si se presentan variaciones en la velocidad de onda al existir cambios de relación a/c.
5. Identificar el impacto de los diferentes estados de fisuración, en los resultados de velocidad de onda.

1.4 Alcance

El proyecto de investigación, pretende determinar si se puede utilizar la técnica no destructiva de Ultrasonido, para definir valores de resistencia del hormigón; además, se busca identificar si existen variaciones en la velocidad de onda, que sea representativos en los resultados, ante la variación de la relación a/c o la presencia de acero.

Los casos de estudios de la aplicación del ensayo de ultrasonido, son los siguientes:

- Para hormigones diseñados por los fabricantes con resistencias comerciales de entre 140 kg/cm^2 y 450 kg/cm^2 , se realizará el ensayo destructivo de compresión simple, para correlacionar la resistencia del hormigón, donde se utilizarán muestras de dos hormigoneras (445 y 144 especímenes respectivamente), las resistencias de diseño podrían estar sujetas a cambios debido a la disponibilidad. Además, se requiere conocer el comportamiento de la resistencia en el tiempo, estableciendo tiempos de ejecución del ensayo de compresión simple a los 3, 7 y 28 días.
- Una característica importante a considerar en las estructuras existentes es definir las zonas donde no existe presencia del acero, con la aplicación del detector de armaduras se analizan 20 columnas, para luego proceder a determinar mediante el ensayo de esclerometría la resistencia del hormigón y también obtener la velocidad de onda ultrasónica.

- Además, para determinar la influencia de las fisuras estas serán clasificadas en 3 grupos en función de su profundidad, y se analizarán en tres construcciones locales, obteniendo resultados que nos permitan relacionar esta característica con las velocidades de onda.

En la fase inicial para el desarrollo del proyecto, se recolectará la mayor información posible acerca de los diferentes métodos y análisis a realizar, con esto se pretende conocer cada variable inmersa en el estudio (como son los ensayos, procedimientos de campo, sus normativas, entre otras) de forma clara y precisa. Además, la información obtenida nos permitirá tener una referencia inicial a partir de resultados y comparaciones, las cuales estarán relacionadas con los aspectos de ensayos destructivos, ensayos no destructivos, la relación a/c , correlaciones existentes entre los ensayos mencionados ya sean cualitativas o cuantitativas, variabilidad de la onda del ultrasonido por influencia de características como la presencia del acero o grietas.

La siguiente etapa corresponde a la fase de pruebas, donde el enfoque está relacionado con las muestras provenientes de 2 hormigoneras, el cual no deberá ser solo basado en la aplicación de los ensayos, también, se deberá conocer las propiedades y características de la muestra, como son los materiales utilizados, método de dosificación aplicado, las pruebas realizadas en el proceso de elaboración de las muestras. Los ensayos de compresión simple se realizarán utilizando prensas en laboratorio, se analizarán en total 588 muestras; en el caso de los ensayos ultrasonidos, se utilizará un equipo capaz de generar pulso a través de transductores sobre el hormigón, de este ensayo se identificará la velocidad de onda de propagación en el hormigón; el ensayo de esclerometría es no destructivo y su aplicación se la realiza con un esclerómetro, el cual realiza impactos sobre el hormigón. Para la aplicación del ensayo en hormigones in situ, será necesario un equipo de detección de armaduras conocido como el pachómetro, esto para que los resultados de los ensayos puedan estar definidos de manera correcta.

Una vez realizados los ensayos se analizarán sus resultados, para lo cual se debe realizar una discretización de los mismos en busca de disminuir el error del análisis, para lo cual se utilizará métodos estadísticos, de tal manera que la muestra analizada sea representativa. Para identificar si se presentan correlaciones, se realizarán análisis gráficos de los resultados discretizados, aplicando líneas de tendencia estas pueden ser lineales o exponenciales, esto tanto para hormigones recién fabricados como para hormigones in situ. Además, se espera establecer la relación del hormigón en el tiempo de fraguado para lo cual el análisis se realizará a los 3, 7 y 28 días. Por último, se pretender determinar si existe influencia de las grietas y el acero, en la velocidad el ultrasonido.

2 Marco teórico

2.1 Diseño de hormigón

El hormigón es un material compuesto que se encuentra constituido por cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aditivos en caso de ser necesarios.

Actualmente, el hormigón dentro del ámbito de la construcción, es el material más utilizado, como consecuencia de sus diversas características, entre las cuales se puede identificar la facilidad de adaptarse a diversas formas, su capacidad estructural, y el aspecto más importante como es el económico (Sánchez de Guzmán, 1993). Cabe mencionar, que el hormigón brinda una capacidad de soportar esfuerzos de compresión elevados, mientras que la resistencia a la tracción es de apenas del 10% de la compresión.

También la Asociación Colombiana de Productores de Concreto - ASOCRETO (2010), menciona que para efectos económicos es importante considerar la dosificación de la mezcla, para lo cual, se debe tener en cuenta característica en estado fresco (tipo de construcción, temperatura, transporte) y en estado endurecido (resistencia).

El comportamiento del concreto tanto en estado fresco como endurecido, tiene influencia directa de sus materiales constituyentes.

2.1.1 Cemento

El cemento que se utiliza es de tipo hidráulico, este tipo de cemento tiene como característica que, ante la presencia de agua en su composición, reaccionan químicamente se fraguan y endurecen. Además, dentro del tipo hidráulico se encuentran los cementos portland (Holcim Ecuador S.A., 2015).

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 151, establece que el cemento portland se fundamenta en su proceso de formación (pulverización) y su composición de clinker; el cual se encuentra conformado de silicatos cálcicos hidráulicos cristalinos y adiciones tales como el yeso, que es un sulfato cálcico (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2010). Los requerimientos para el cemento portland se encuentran establecidos en las normas NTE INEN 152, NTE INEN 490 o NTE INEN 2380.

Actualmente, su clasificación es en función del desempeño, sin tener relevancia su composición química, se encuentran definidos en las normas NTE INEN 2380 (INEN, 2011) y ASTM C1157 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 1992):

- Tipo GU: Uso general (Tipo IP).
- Tipo HE: Alta resistencia inicial.
- Tipo HS: Alta resistencia a los sulfatos.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos (Tipo IP).

- Tipo MH: Moderado calor de hidratación (Tipo IP).
- Tipo LH: Bajo calor de hidratación.



Figura 1: Tipos de cementos distribuidos por Holcim.

Nota: Figura recopilada de (Holcim Ecuador S.A., 2015)

Cualquier tipo de cemento debe tener un proceso de fabricación controlado de manera que sea un producto eficiente. Debido a esto, se debe realizar un control de las diferentes características y propiedades del material, por lo cual se proponen en la norma NTE INEN 1504 (INEN, 2017), ensayos relacionados con:

- Análisis químico
- Contenido de agua
- Gravedad específica
- Finura
- Consistencia normal
- Expansión
- Tiempo de fraguado
- Contenido de aire
- Resistencia a la compresión de morteros de 50 mm de arista
- Contracción por secado

2.1.2 Agua

El agua es un factor vital en los hormigones, siempre considerando la calidad y cantidad de la misma. Este elemento puede afectar a los hormigones a lo largo de toda su vida útil, por lo cual, se debe realizar un control. Existen etapas claves en las cuales se debe realizar un control respecto a la cantidad de agua en el hormigón, siendo estas la etapa de producción (dosificación) y el fraguado (curado); durante la dosificación la cantidad de agua no puede ser ni escasa ni excesiva, ya que no se generará la hidratación completa del cemento (cantidad menor a la requerida) y se presentará una disminución de la resistencia. En la etapa de curado también se requiere la adicción de agua, siendo inclusive mucho mayor a la utilizada en la dosificación, el agua de curado tiene como

principales características crear condiciones adecuadas para favorecer el fraguado y ayudando a que alcance las resistencias de diseño; también, es importante considerar que el agua de fraguado ayuda a evitar la retracción (agrietamiento) del concreto (Del Valle Rodríguez, 1995).

Los requisitos respecto a la calidad del agua durante todo el proceso del hormigón se encuentran establecidos en la norma NTE INEN 1108 Y NTE INEN 1855, el agua debe cumplir requisitos respecto a características químicas y orgánicas (Instituto Ecuatoriano de Normalización [INEN], 2011d). En Cuenca la empresa encargada de brindar el servicio de agua potable es ETAPA EP, la cual dentro de los diseños para la ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán, entre los principales aspectos a considerar respecto al agua cruda de nuestra zona, es la presencia de turbiedad y el manganeso (ETAPA EP, 2015).

2.1.3 Agregados

Los elementos constitutivos de los agregados deben tener características relacionadas con la resistencia, dureza, cohesión entre partículas, limpieza, buena gradación y no deben generar una reacción con el álcali (Holcim Ecuador S.A., n.d.-a).

El agregado fino se caracteriza por ser tipo natural; mientras que el agregado grueso es de tipo artificial (triturados), ya que sus propiedades de interacción mejoran debido a su geometría (INEN, 2011c). Una propiedad que presentan los agregados es la humedad, su determinación es importante ya que parte de esta no es evaporable y se incluirá en el diseño de la mezcla, el ensayo se realiza en base a la NTE INEN-862 (INEN, 2011b).

El ensayo de granulometría, ayuda a definir si el material que se está utilizado es un agregado grueso o agregado fino. El árido fino según la norma NTE INEN 694 (INEN, 2011a), es el material que pasa el tamiz 3/8" y lo que se encuentra sobre el tamiz #200 (Holcim Ecuador S.A., n.d.-a). Mientras tanto, el agregado grueso es lo que se encuentra retenido a partir del tamiz 3/8", su límite es un tamaño de 3", la normativa para este agregado es la NTE INEN 872 (Holcim Ecuador S.A., n.d.-b).

Tanto para el control de agregados, como para diseño de hormigones se debe considerar el módulo de finura, según la NTE INEN 872 (INEN, 2011c), la misma que establece que el módulo de finura para agregado fino se debe encontrar entre 2.3 y 3.1; respecto a los agregados finos también se debe analizar las impurezas orgánicas que puedan presentar.

La norma NTE INEN 872 (INEN, 2011c), establece que para los áridos se pueden realizar los siguientes ensayos, a fin de determinar sus propiedades:

- Análisis granulométrico.
- Cantidad de finos (partículas pasan el tamiz #200).
- Módulo de finura.
- Impurezas orgánicas y su efecto.
- Densidades.
- Ensayo de degradación (En la máquina de los ángeles)
- Análisis respecto a los terrones de arcilla y partículas desmenuzables.

- Ácidos reactivos.
- Congelamiento y descongelamiento.

2.1.4 Aditivos

Los aditivos han tenido un crecimiento progresivo según Sika Colombia S.A.S.(2014); siendo importante el análisis químico, en conjunto con los requerimientos de modificar las propiedades del ligante, pero teniendo en consideración los objetivos para los cuales se diseñó el hormigón. Actualmente, existen diversos tipos de aditivos los cuales pueden estar relacionados con las propiedades en estado fresco o endurecido. Se debe indicar que al utilizar aditivos de la manera correcta estos generaran que los costos constructivos disminuyan.

La norma NTE INEN 1762 (INEN, 2015), establece que un aditivo es un producto químico que no sea cemento Portland, árido o agua; su uso puede ser en morteros u hormigones, y se coloca antes o durante el proceso de mezclado, además los clasifica como:

- Aditivos minerales (ASOCRETO, 2010):
 - *Cementantes*: Ayuda a sustituir el cemento.
 - *Puzolanas*: Está relacionada con la trabajabilidad, plasticidad, resistencia a los sulfatos, entre otras.
 - *Inertes*: Ayudan a la trabajabilidad y relleno.
- Aditivos químicos (Sika Colombia S.A.S., 2014), los que se mencionaran a continuación, también se puede combinar:
 - *Aditivos acelerantes*: Acelera el tiempo de fraguado o implica el desarrollo temprano de la resistencia.
 - *Aditivo densificador*: aumenta la densidad del mortero u hormigón.
 - *Aditivo estabilizador*: está relacionado con el hormigón en estado fresco, siendo su función generar una manejabilidad constante.
 - *Aditivo incorporador de aire*: desarrollo de un sistema de burbujas durante el mezclado en el mortero u hormigón.
 - *Aditivo hidrofugo*: proporciona a la mezcla propiedades que disminuyan la absorción del agua.
 - *Aditivo plastificante*: modifica la consistencia de la mezcla y se vuelve más trabajable.
 - *Aditivo superplastificante*: tienen un comportamiento semejante a los plastificantes, pero se usan una vez que los plastificantes hayan alcanzado su capacidad máxima.
 - *Aditivo reductor de agua*: permite reducir la relación agua cemento, manteniendo la trabajabilidad de la mezcla.
 - *Aditivo retardador*: retarda el fraguado.
 - *Aditivo expansor*: genera el aumento del volumen de la mezcla.
- Aditivos misceláneos (ASOCRETO, 2010):
 - *Formadores de gas*: el gas se expande durante el endurecimiento, su uso en cantidades grandes sirve para generar hormigones celulares.

- *Impermeabilizantes*: Se disminuye la velocidad de flujo del agua a través del concreto, generalmente se aplican aditivos minerales.
- *Ayudas de bombeo*: se mejoran las características de bombeo del hormigón, aumentan la viscosidad, lo que implica evitar deshidratación mientras se aplica la presión de bombeo.

2.1.5 Diseño de mezclas

El diseño de mezclas según Neville (1999), se trata de la selección de materiales y cantidades adecuadas que se utilizaran en el concreto, de tal manera que se cumpla con requerimientos de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía; teniendo en cuenta aspectos como el transporte, consistencia, colocación, propiedades en estado fresco y endurecido.

Como ya se mencionó para el diseño se debe tener en cuenta ciertas consideraciones, por lo cual Laura Huanca (2006) expresa que, en el caso de los *costos* se debe utilizar la menor cantidad posible de cemento, sin afectar la calidad, siendo posible ser reemplazado con agregado; esto indirectamente ayuda a disminuir las posibilidades de que se genere retracción, debido a una disminución del calor de hidratación. También es importante tener en cuenta a la *trabajabilidad* de la mezcla, la cual permite la colocación y compactación del hormigón en obra; al verificar el diseño si no se cumple con dicha característica, se debe realizar un rediseño, en donde no se debe plantear únicamente un aumento de agua en la mezcla (es lo que normalmente se escucha en obra), sino que se debe realizar un aplicar mayor cantidad de mortero (combinación de cemento, agua y agregado fino).

Para el caso de la *resistencia*, el diseño se establece únicamente para el requerimiento a los 28 días, pero en algunos casos se debe verificar para otras edades; esta propiedad está directamente relacionada con la máxima relación agua/cemento, la mínima cantidad de contenido de cemento; en caso de requerimientos especiales también se puede hacer uso de aditivos relacionados con el aumento de resistencia a edad temprana (Laura Huanca, 2006). En el caso de la *durabilidad*, se encuentra regido por el ambiente al que estará expuesto el concreto, los principales aspectos a tener en cuenta son los cambios bruscos de temperatura y ataques químicos; las variables que afectan la durabilidad, difieren respecto a las de resistencia en cuanto al tipo de aditivo.

2.1.5.1 Métodos de dosificación

La Asociación de Cemento Portland (Portland Cement Association-PCA) en su libro de Diseño y Control de Mezclas de Concreto (Kosmatka et al., 2004); indica que los métodos han evolucionado desde volumétricos empíricos hasta los métodos que propone el comité del ACI 211, los cuales son respecto a la masa específica relativa y volumen absoluto.

Los métodos de dosificación son procesos que se realizan en base a parámetros de diseño y las características de los elementos que conforman la mezcla, los resultados son obtenidos mediante ensayos de prueba y error (Giraldo Bolívar, 2006).

- Métodos empíricos: puede definirse sus proporciones estableciendo una masa supuesta por volumen unitario, se define la cantidad de *cemento: agregado fino: agregado grueso*; valido para construcciones pequeñas (Kosmatka et al., 2004).
- Métodos analíticos: establecen una dosificación inicial la cual cumplirá con la trabajabilidad y resistencia de diseño (Giraldo Bolívar, 2006). Los métodos analíticos son el de Weymouth, Fuller, Bolomey y Faury; los cuales se caracterizan por combinar diferentes agregados, que buscan ajustarse a una curva típica resultante de ensayos de trabajabilidad y del hormigón.
- Métodos racionales: son métodos más prácticos y precisos, por las correcciones constantes por asentamiento y resistencia (Giraldo Bolívar, 2006). Los métodos racionales consideran la masa específicas relativas de los elementos de la mezcla, para definir el volumen absoluto de estos dentro de una unidad de volumen de hormigón (Kosmatka et al., 2004). Dentro de los cuales se encuentra el Método ACI 211.1, el cual fue propuesto por el Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute [ACI], 1991); este método se utiliza para concretos de consistencia normal y alta densidad. Es importante indicar que para hormigones con otras características como son los hormigones ligeros se aplica el método de la guía ACI 211.2, para hormigones de revenimiento cero se aplica la guía ACI 211.3 y para concretos de alta resistencia con cemento portland y ceniza volante se aplica la guía ACI 211.4R.

El procedimiento de diseño del método ACI 211.1 es el siguiente (ACI, 1991):

- Determinar la resistencia a la compresión promedio
- Selección del asentamiento
- Estimación del tamaño máximo del agregado grueso
- Establecer la relación agua/cemento (a/c)
- Definir la cantidad de agua de mezclado y aire
- Establecer el contenido de cemento
- Fijar el contenido de aire atrapado
- Obtener la cantidad de agregado grueso
- Cálculo del contenido de agregado fino
- Realizar la corrección por humedad
- Corregir por absorción
- Establecer el diseño teórico húmedo
- Obtener las proporciones en peso

2.1.6 Estado fresco del hormigón

El estado fresco del hormigón, es la fase donde este es transportado, colocado y compactado; el control es necesario ya que se podrían generar problemas como la segregación, que posteriormente no permitirán que alcance el hormigón la resistencia de diseño (Neville, 1999). Es decir, durante esta etapa el hormigón aún tiene una trabajabilidad suficiente para ser utilizado en obra aplicando la metodología seleccionada (INEN, 2015); siendo importante controlar durante esta etapa las siguientes características:

Trabajabilidad. - Su fundamento se establece en la determinación del trabajo requerido para vencer la fricción entre los componentes, esta influenciado por la capacidad del concreto para ser colocada (consistencia, plasticidad), compactada y sin la presencia de segregación (ASOCRETO, 2010), mientras que la NTE INEN 1762 (INEN, 2015) establece que es la facilidad del hormigón o mortero para poder ser trasladado, mezclado y colocado. La cantidad de agua tiene vital importancia en esta propiedad, ya que establece la consistencia de la mezcla, a medida que la cantidad de agua aumenta esta pasa de ser seca hasta fluida (Abanto Castillo, 2009).

Para determinar la trabajabilidad se pueden aplicar los ensayos de:

- Ensayo de Cono de Abrams, el procedimiento se encuentra en las normas NTE INEN 1578 y ASTM C 143.

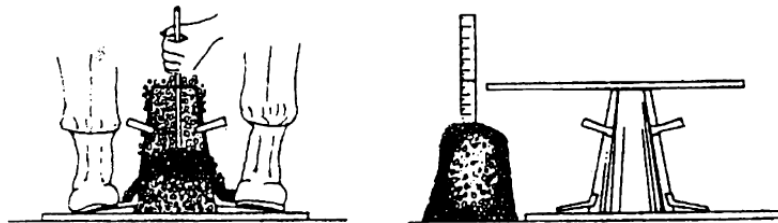


Figura 2: Ensayo de Cono de Abrams.

Nota: Figura recopilada de (Abanto Castillo, 2009)

- Prueba de fluidez, se rige a la normativa NTE INEN 488 y norma IRAM 1690.

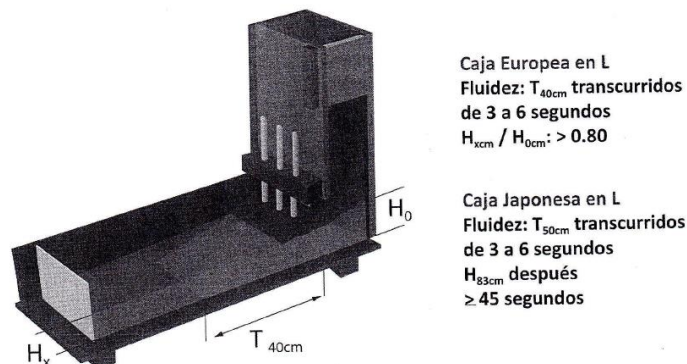


Figura 3: Ensayo de Fluidez

Nota: Figura recopilada de (ASOCRETO,2010)

También se debe conocer los factores que afectan la trabajabilidad y su influencia (ASOCRETO, 2010):

- Contenido de aire: el aire en la mezcla permite una mejor movilidad de los agregados, por lo cual para una misma manejabilidad al incrementar el contenido de aire se puede disminuir la relación agua-cemento, recuperándose así parte de la resistencia perdida.

- Granulometría de los agregados: cuando el agregado es mal gradado presenta excesiva cantidad de vacíos, generando porosidad; siendo importante tener en consideración parámetros como el módulo de finura, forma y textura.
- Relación pasta/agregado: esto debe ser controlado ya que el aumentar esta relación generaría mayor cohesión en la mezcla, pero el exceso podría generar segregación.
- Aditivos: los aditivos que permiten mayor trabajabilidad sin requerir mayor cantidad de agua, son los reductores de agua.
- Condiciones climáticas: estos factores pueden ocasionar el endurecimiento de la mezcla, por la evaporación generada y consecuente reducción del tiempo de fraguado; el caso opuesto es cuando se presente lluvia, esto ocasionaría un aumento de la relación agua/cemento y disminución de resistencia, inclusive se puede presentar segregación.

Segregación. - La segregación hace referencia a la pérdida de homogeneidad por falta de cohesión en la mezcla, generando que el agregado grueso se separe del mortero (cemento, agua y agregado fino)(Sánchez de Guzmán, 1993). Esto genera una mala distribución debido a la separación de los constituyentes (INEN, 2015). Esta propiedad también está relacionada con la consistencia, debido a que aumenta al riesgo a medida que es mayor la fluidez; la segregación también se puede controlar agregando finos (Abanto Castillo, 2009). Otros factores externos a los elementos de la mezcla son la colocación, transporte y vibrado. Para determinar la segregación se puede usar el ensayo de Popovics.

Exudación. - También se lo conoce como sangrado, siendo esta la presencia de agua debido al acomodo de partículas sólidas dentro de la mezcla (INEN, 2015). El acomodo ocurre debido al asentamiento de sólidos de la mezcla, generando que una parte del agua de mezclado, asciende hacia la superficie del concreto recién colocado (Neville, 1999). Las consecuencias de esta propiedad son la baja adherencia entre partículas, aumento de permeabilidad, variabilidad de la resistencia entre la parte inferior y superior del elemento. La cantidad y el tipo de elementos de la mezcla, los aditivos y la temperatura a la que será colocado el concreto, son factores que influyen en la presencia de exudación (Abanto Castillo, 2009). El ensayo de exudación se encuentra establecido en la norma IRAM 1604.

2.1.7 Fraguado del hormigón

El fraguado del hormigón es la etapa donde el hormigón desarrolla de manera gradual su rigidez, cambiando su consistencia de un estado fluido ha endurecido; también se debe indicar que, variaciones de temperatura y aditivos de características químicas pueden modificar el tiempo en el que se desarrolla el cambio de consistencia (Carrasco, 2013).

En esta etapa se requiere conocer el tiempo durante el cual la mezcla se puede transportar, colocar y vibrar sin inconvenientes, antes que se produzca el endurecimiento del hormigón. El tiempo en el que se da el cambio de consistencia de la mezcla se conoce como tiempo de fraguado; este se puede correlacionar este con el tiempo de fraguado del cemento (ASOCRETO, 2010), pero se debe indicar que este puede verse afectado por la presencia de otros elementos en la mezcla, por lo cual, para

identificar el tiempo de fraguado se recomienda realizar el ensayo sobre morteros con características propias de la mezcla (Carrasco, 2013).

Entre los ensayos que se pueden aplicar para determinar el tiempo de fraguado, se encuentra el ensayo de la aguja de Vicat, este ensayo se aplica en función de las normativas NTE INEN 158 y ASTM C191. El fraguado tiene dos etapas características el fraguado inicial y el final; el fraguado inicial se identifica cuando la resistencia a la penetración es de 35 kg/cm^2 , el tiempo referencial es entre 2 y 6 horas, mientras que el fraguado final es cuando la resistencia a la penetración es de 280 kg/cm^2 y sus tiempos referenciales son entre 4 y 12 horas (Kosmatka et al., 2004).

2.1.8 Estado endurecido del hormigón

La resistencia del hormigón se encuentra fundamentada en el estado endurecido del mismo, la cual está ligada a factores de resistencia de la pasta, agregados y la adherencia entre los mencionados (ASOCRETO, 2010)(INEN, 2015). De esta manera se presentan los factores que afectan directamente en la resistencia del concreto, independientemente de la calidad y tipo de materiales utilizados.

Contenido de cemento. - La cantidad de cemento es proporcional a la resistencia en un rango determinado, ya que la cantidad de cemento afecta directamente a la relación agua/cemento; en caso de alto contenido de cemento, el cemento no se hidratará completamente y tampoco se desarrollará toda la resistencia de diseño; en el caso de contenido de cementos bajos, la relación agua/cemento es elevada, debido a la debilidad de la pasta (Sánchez de Guzmán, 1993).

Relación agua/cemento (a/c). - es una relación de peso entre la masa de agua y el cemento, esta es inversamente proporcional a la resistencia, debido a que el agua al evaporar generará porosidad en el concreto; por lo cual, al existir una mayor relación a/c la resistencia disminuirá. Pese a esto se debe considerar que cuando la relación a/c es baja, la mezcla no se podrá compactar debido a que estará muy seca, por lo tanto, la resistencia disminuirá (Neville, 1999).

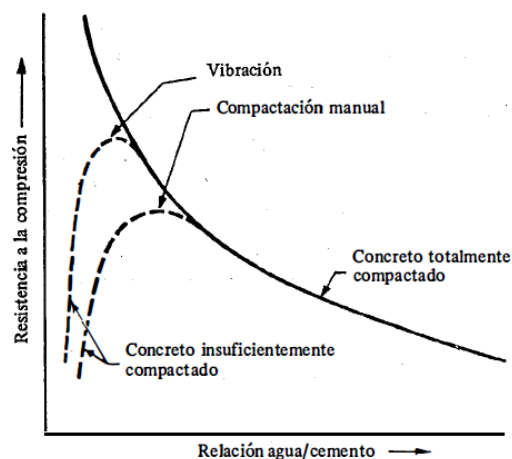


Figura 4: Gráfico Resistencia a la compresión - relación a/c

Nota: Figura recopilada de (Neville, 1999)

Agregados. – Los agregados aportan de diferentes maneras en la resistencia del concreto, entre las cuales está la granulometría, cuando se tiene agregados bien gradados la compacidad aumenta, generándose así un aumento significativo de la densidad y por ende de la resistencia. La textura y forma tiene influencia en la adherencia entre la pasta y el agregado, un agregado de forma rugosa y angular presenta mayor resistencia, pero la angularidad debe ser controlada ya que si es excesiva puede generar una disminución de la resistencia, por generación de porosidad. El tamaño máximo del agregado puede generar una variación de características, ya que cuando el tamaño máximo es mayor, se requiere una cantidad menor de agua, pero la resistencia disminuye. Por lo que en hormigones de alta resistencia se utilizan agregados de tamaño máximo menor (ASOCRETO, 2010).

Curado. - El concreto al entrar en contacto con el aire durante el proceso de fraguado, pierde humedad lo que puede generar que el hormigón no se hidrate completamente, perdiendo así resistencia. Por lo cual un curado efectivo consiste en controlar la temperatura y humedad, buscando mantener el concreto lo más saturado posible, de tal manera que la humedad disminuya de manera gradual y controlada, buscando que se genere el desarrollo completo de las propiedades del hormigón (Sánchez de Guzmán, 1993).

Resistencia a la compresión. – La resistencia está ligada directamente con el diseño estructural, siendo la propiedad más estricta a controlar; la misma que a medida el que tiempo de fraguado aumenta la mezcla gana resistencia, por lo cual el ensayo de compresión se realiza a los 28 días, este tiempo ha sido definido ya que la mezcla alcanza una resistencia superior al 95% con respecto al valor de diseño (Neville, 1999).

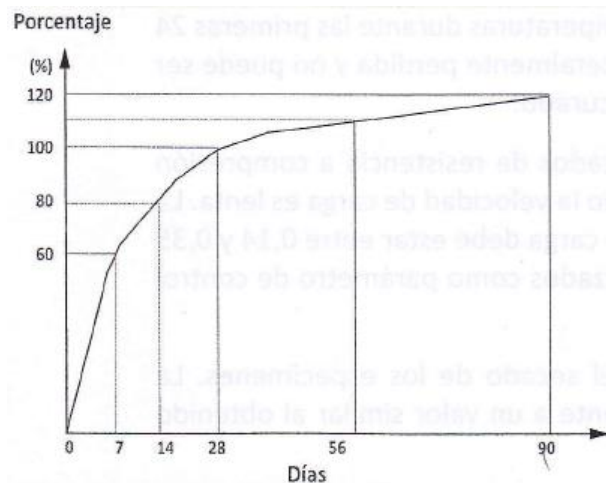


Figura 5: Curva de resistencia a la compresión.

Nota: Figura recopilada de (ASOCRETO, 2010)

Anteriormente se pensaba que la durabilidad del hormigón era alta, pero se ha podido evidenciar que esta se ve afectada por causas internas como la relación álcali-agregado o externas como el medio ambiente al que se encuentran expuestas, por lo cual es importante

realizar consideraciones relacionadas a esta variable en la etapa de diseño del hormigón. Ante lo mencionado es importante considerar ciertos criterios con respecto a la relación a/c, pero también el contenido de agua y la resistencia a la fisuración (agregados y cemento) (ASOCRETO, 2010).

2.2 Ensayos no destructivos

Estos ensayos no causan daños físicos a las estructuras, se puede realizar mediciones in situ debido a la factibilidad de los equipos para ser trasladados, y los resultados obtenidos deben ser analizados e interpretados, de tal manera que los resultados sean confiables. Estos métodos presentan ciertas limitaciones y de ser requerido deben ser complementados con ensayos destructivos para verificar su eficiencia del procedimiento (Oliveros Padrón, 2015).

2.2.1 Ensayo de detección de armaduras

Este ensayo no destructivo es utilizado para identificar las zonas que se encuentran reforzadas con acero, sin la necesidad de remover el hormigón (Duran Ormaza & España Bermeo, 2018).

El equipo que se utiliza es el pachómetro, el cual en función del modelo identifica diferentes características del refuerzo; los más simples indican solo posición y dirección del acero, los más sofisticados pueden inclusive indicar una estimación del diámetro y recubrimiento sobre el acero (Oliveros Padrón, 2015).



Figura 6: Ensayo de detección de armaduras

Nota: Figura recopilada de (Vanegas, n.d.)

El pachómetro tiene como principio de funcionamiento los campos electromagnéticos, generados a partir de una corriente alterna, ante la presencia de un conductor eléctrico como lo es el hierro, el circuito se cierra actuando como transformador, identificando la distorsión del campo magnético (Andrade et al., 1992).

Este ensayo para el caso de hormigones presenta una desventaja cuando el cemento utilizado es aluminoso, ya que la señal recibida es débil, por la influencia de la presencia

ferromagnéticas en el hormigón (Andrade et al., 1992). También se puede aplicar para detectar grietas y fisuras.

Las normas para la aplicación del ensayo son las siguientes:

- ACI 228.2R
- BS 1881-204

2.2.2 Ensayo de ultrasonido

Este ensayo es considerado para determinar la calidad del hormigón, considerando la homogeneidad del elemento, para lo cual se analiza el tiempo de propagación de un pulso ultrasónico longitudinal entre los transductores, con frecuencias de transmisión de pulsos varían entre 20 y 500kHz. (Antola, 2004). El fundamento de aplicación del ensayo es un pulso ultrasónico el cual emite una señal de alto voltaje y corta duración, el pulso es transmitido a un transductor que vibra a su frecuencia de resonancia, y cuando el pulso es receptado por el otro transductor se identifica el tiempo en el cual realizo el recorrido, y a partir de este valor con la distancia conocida se obtiene la velocidad del pulso a través del elemento (Rojas Henao, 2012).

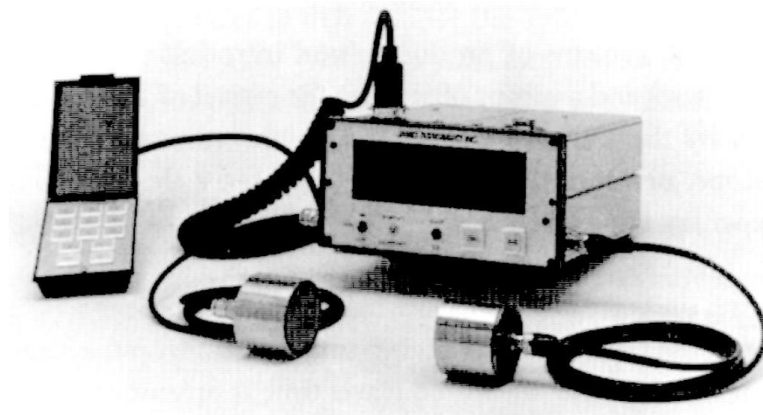


Figura 7: Equipo de ultrasonido

Nota: Figura recopilada de (Antola, 2004)

Los tipos de mediciones se clasifican en 3, las cuales son directa, semidirecta e indirecta (Antola, 2004).

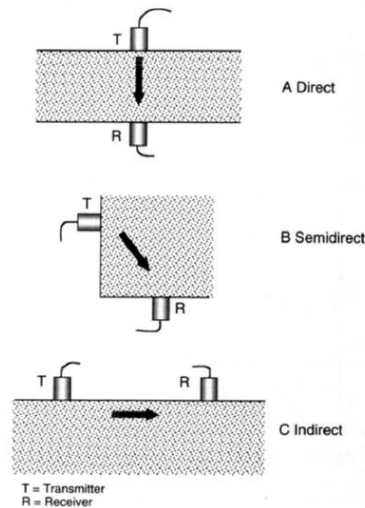


Figura 8: Tipos de medición ensayo de ultrasonido

Nota: Figura recopilada de (Antola, 2004)

Los resultados pueden verse afectados directamente por la humedad, en la cual existe un incremento del 5% respecto a las muestras secas, habilidad del operador, equipo de ultrasonido en lo que respecta a calibración, refuerzo de acero existe un aumento de cerca del doble respecto a los no reforzados (Antola, 2004)(Rojas Henao, 2012) y edad del concreto, para las edades de 28 días a 6 meses existe un incremento de aproximadamente del 30%, entre 6 meses y un año ha disminuido apenas al 3% el incremento.

Las normas para la aplicación de este ensayo son:

- ASTM C597
- NTE INEN-ISO 7963
- NTE INEN-ISO 2400
- ACI 228.1R
- ACI 228.2R

2.2.3 Ensayo de esclerometría

El ensayo de esclerometría tiene como principio establecer una relación entre la fuerza y el número de rebote, para estimar la resistencia de elementos de concreta in situ, debido a su bajo costo, facilidad de traslado del equipo y simplicidad de ejecución; es importante indicar que también permite identificar zonas que están deterioradas o de calidad menor (Oliveros Padrón, 2015).

El principio de funcionamiento del ensayo, está relacionado con la energía que se recupera una vez que la masa golpe a un vástago de acero que se encuentra en contacto con el elemento de hormigón, la impulsión de la masa es generada por un resorte; la energía que

se recupera permite definir un índice de rebote que es la medida de este ensayo (Rojas Henao, 2012). El número de rebotes que se obtiene se encuentra definido entre valores de 10 y 100, el menor valor está relacionado con menor dureza del elemento. Los resultados pueden presentar variaciones significativas debido al lugar donde se aplicó, en el caso de realizarse sobre agregado grueso los resultados puede ser altos, mientras que al realizar en cavidades el índice es bajo; Es importante indicar que si el acero se encuentra cerca de la superficie podría afectar a los resultados. Otro factor que genera influencia es el contenido de cemento, a medida que es puede ser pobre o elevado, puede generar una sobreestimación o subestimación respectivamente.

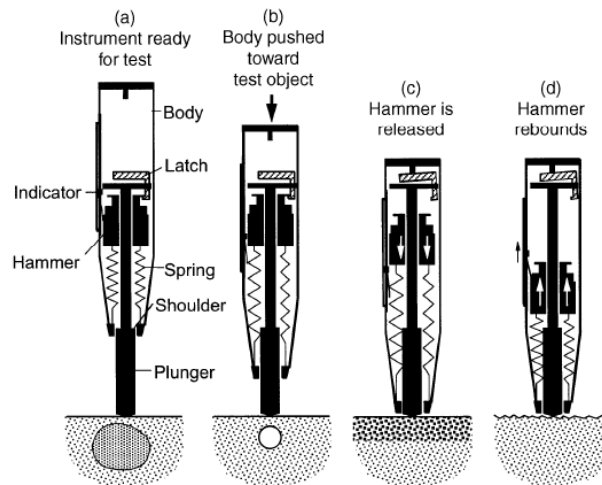


Figura 9: Funcionamiento del esclerómetro.

Nota: Figura recopilada de (ACI, 2003)

Según la norma NTE INEN 3121 (INEN, 2016) los ensayos se deben realizar para espesor no menores a 10, también el área mínima del ensayo debe ser de 15cm, en donde se debe realizar mínimo 10 lecturas, las cuales varíen su posición entre si 25mm y con respecto a los bordes de los elementos debe existir como mínimo 50mm. La superficie sobre la cual se aplique debe evitar ser rugosa, en caso de ser necesario se deberá pulir; es importante aclarar que el martillo con el que se realice los ensayos deberá ser el mismo, ya que los resultados podrían verse alterados, otros aspectos a considerar al realizar la prueba son identificar la presencia de acero, la humedad de la muestra y existencia de carbonatación superficial ya que son características que influyen directamente en los resultados.

Esta prueba no determina el rechazo o aceptación del hormigón, ya que únicamente sirve para estimar la resistencia, por lo cual, debe ser complementado con la extracción de núcleos, ya que únicamente y posterior ensayo destructivo de compresión simple (Rojas Henao, 2012).

Las normativas para la aplicación de este ensayo son:

- ASTM C805
- NTE INEN 3121
- ACI 228.1R
-

2.3 Ensayos destructivos

Estos ensayos afectan físicamente al elemento de análisis, tienen costos elevados y es complejo trasladar el equipo al campo, por lo cual de ser necesario solo se realizan de manera complementaria, además, ayudan al control de calidad de los elementos que se fabrican.

2.3.1 Ensayo de compresión simple

El ensayo de compresión simple permite determinar la resistencia del hormigón que se entregó en obra, para el cual se puede realizar con cilindros moldeados o núcleos de hormigón, el ensayo consiste en aplicar una carga axial hasta que el espécimen falle (Haro Lescano, 2014). Las muestras se fabrican de acuerdo a la norma ASTM C 192, la cual establece que los cilindros pueden tener 2 geometrías la una de 150mm de diámetro y 300mm de altura, la otra con un diámetro de 100mm y 200mm de altura (Haro Lescano, 2014).

El procedimiento del ensayo puede diferir de la norma que se aplica, en el caso del ensayo para especímenes en general se rige a la norma ASTM C 39, para el caso de los cilindros in situ, se debe aplicar la normativa ASTM C 873; el ensayo se debe realizar con la muestra húmeda (Arévalo Arévalo y Pilacúan Tepud, 2020).

El procedimiento del ensayo en función de la normativa ASTM C 39 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2018):

- Se debe limpiar los cabezales de la máquina y luego colocar la muestra.
- Se debe colocar la muestra, de tal manera de que esta se encuentre en el centro de la máquina, referenciándose por los círculos concéntricos que esta posee.
- El ensayo se debe realizar aplicando la carga de forma continua.
- Cuando en el monitor de la máquina los valores de carga comienzan a disminuir, ya se fracturó el elemento llegando a su carga máxima.
- Se anota la carga máxima aplicada y se identifica el patrón de fractura.



Figura 10: Ejecución del ensayo de compresión

Nota: Figura recopilada de (Vanegas, n.d.)

Un factor importante a considerar en este ensayo es la velocidad con la que se aplica la carga, según la normativa NTE INEN 1573 (INEN, 2010), dicha velocidad se encuentra definida por el rango de 0.25 ± 0.05 MPa/s, lo recomendable sería realizar todo el ensayo a esta velocidad, pero la normativa acepta que por lo menos esta sea durante la última mitad del tiempo de ensayo esperado.

Los tipos de fracturas que se identifican en la norma ASTM C 39 (ASTM, 2018) y la NTE INEN 1578 (INEN, 2010), son 6 y se presentan en la siguiente figura.

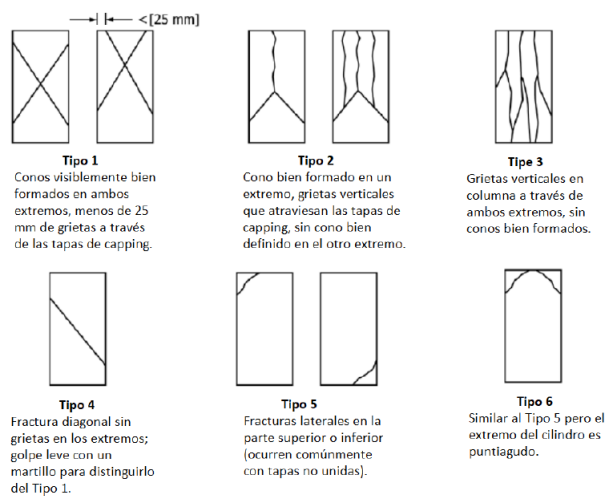


Figura 11: Tipos de fractura.

Nota: Figura recopilada de (ASTM, 2018)

La resistencia a compresión, se determina dividiendo la carga axial aplicada hasta que se genere la falla, para el área de la sección transversal del cilindro (Vanegas, n.d.).

Las normativas para el ensayo de compresión simple son:

- ASTM C39 - Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- ASTM C873 - Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de hormigón vaciados in situ en moldes cilíndricos.
- NTE INEN 1573 – Hormigón de cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de hormigón de cemento hidráulico.

2.4 Análisis estadístico

El objetivo principal del presente trabajo busca analizar la factibilidad del uso del ensayo de ultrasonido para determinar la resistencia a la compresión del hormigón. Para un análisis adecuado se requiere de un análisis estadístico para determinar la correlación existente entre estas dos variables, que mediante el uso de regresiones lineales y pruebas de normalidad se establecerá si tiene validez. A continuación, se indica conceptos fundamentales para estos análisis.

2.4.1 Regresión lineal simple

La regresión lineal es una regresión simple que cuenta con una única variable de entrada (independiente) y una variable de salida (dependiente). Este modelo describe una recta que se ajusta para un grupo de puntos, por lo que, para un dado valor de respuesta y existe una variable independiente x , que pertenece a la recta:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \varepsilon \quad (1)$$

Donde la constante β_0 representa la intersección con el eje de las ordenadas, β_1 es la pendiente de la recta, siendo estos coeficientes desconocidos y ε es un error aleatorio con media cero y varianza desconocida, que se determina con la diferencia entre la respuesta observada y la calculada. Para determinar el mejor ajuste, se debe estimar los coeficientes β_0 y β_1 con el método de mínimos cuadrados (Montgomery & Runger, 2014). Entonces para n observaciones se tiene que la línea de regresión verdadera es:

$$L = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (2)$$

La estimación de mínimos cuadrados para la intersección (β_0) y la pendiente (β_1) del modelo de regresión lineal viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (3)$$

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \quad (4)$$

Donde:

$\bar{y}$ = Media de los datos observados de la variable dependiente

$\bar{x}$ = Media de los datos observados variable independiente

S_{xy} = Covarianza de las dos variables

S_{xx} = Varianza de la variable independiente al cuadrado

2.4.2 Análisis de regresión

La validez de una regresión depende de indicadores estadísticos, los cuales determinan como se relacionan las variables, es decir, la idoneidad del modelo, siendo el coeficiente de determinación (R^2) una medida ampliamente utilizada, $0 \leq R^2 \leq 1$, se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (5)$$

Donde:

R^2 = Coeficiente de determinación

SS_R = Suma de los cuadrados por regresión (Sum of Squares due to Regression)

SS_E = Suma de errores cuadrados (Sum of Squares Error)

SS_T = Suma de cuadrados totales (Sum of Squares Total) ($SS_E + SS_R$)

El estadístico R^2 debe usarse con criterio porque es posible aumentar su valor simplemente añadiendo más términos al modelo, esto no implica que el modelo sea mejor, en este caso un valor de R^2 ajustado, permite mostrar cómo influye la adición de nuevas variables (Montgomery y Runger, 2014).

2.4.3 Análisis de Residuos

Este análisis resulta de utilidad para verificar que los errores se distribuyen normalmente, son independientes con media cero y varianza, determinando si se requiere de términos adicionales para el modelo. Para este estudio es de utilidad el gráfico de residuos, donde se puede identificar valores atípicos, no obstante, para poder descartar cualquiera de estos valores, se requiere analizar la influencia que tienen en el modelo, ya que nos pueden dar información importante sobre circunstancias inusuales en las mediciones.

Los gráficos de errores pueden presentar cuatro patrones típicos, como se muestra en la imagen a continuación:

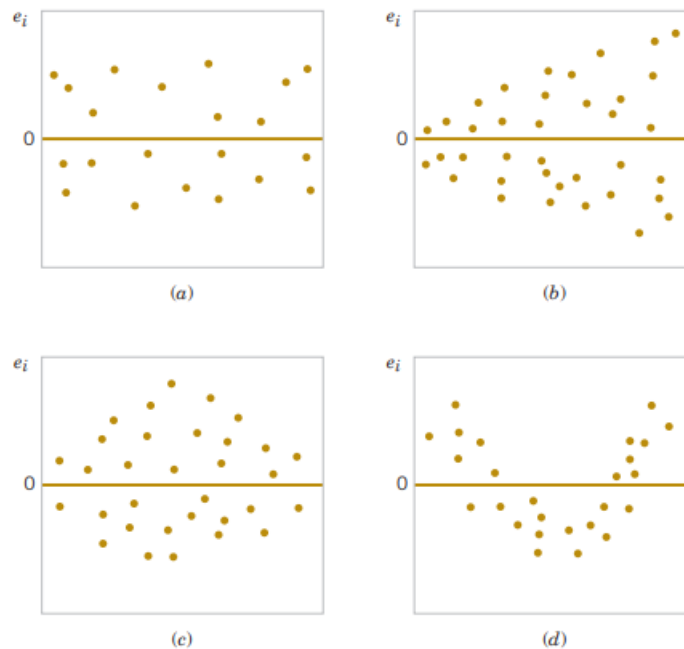


Figura 12: Patrones para gráficos de residuos

Nota: Figura recopilada de (Montgomery y Runger, 2014)

En la Figura 12, se observa que el caso a) muestra el patrón idóneo, a diferencia de los casos b), c) y d) en los cuales se observan anomalías. Si se tiene el caso b), la varianza aumenta con respecto a la variable independiente, por lo que resulta conveniente una transformación en la variable de respuesta, pudiendo usarse una transformación logarítmica, inversa o raíz.

2.4.4 Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad de los residuos determina si el análisis es fiable, puesto a que determina que los residuos cumplen con la distribución normal y son independientes. Existen métodos gráficos y analíticos para determinar normalidad, en este apartado nos centraremos en dos; el método

grafico Normal Q-Q, este es un diagrama de dispersión cuantil – cuantil en el que se compara los cuantiles normales teóricos y los cuantiles de la distribución observada, en este método mientras más se aproxime a la normalidad los datos, los puntos estarán cercanos a una línea recta. El segundo método a utilizarse es la prueba de Shapiro-Wilk, el cual plantea como hipótesis nula que existe normalidad, la misma que será rechazada si el P-value es menor que el nivel de significancia de 0.05 ($P\text{-value} < 0.05$), caso contrario no se puede rechazar y se concluye que los datos están normalmente distribuidos (Kutner, 2005).

2.4.5 Test de pendiente

Este test consiste en demostrar que la pendiente β_1 existe y es diferente de cero, por lo que se parte de las siguientes hipótesis:

- $H_0: \beta_1 = \beta_{1,0}$ Hipótesis nula
- $H_A: \beta_1 \neq \beta_{1,0}$ Hipótesis alterna

Para rechazar la hipótesis nula se debe cumplir que:

$$|T_0| > t_{\alpha/2, n-2} \quad (6)$$

Para determinar T_0 se tiene la siguiente ecuación:

$$T_0 = \frac{\hat{\beta}_1 - \beta_{1,0}}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 / S_{xx}}} \quad (7)$$

De esta manera se comprueba si existe una correlación, concluyendo que existe una relación lineal donde para cada valor de X corresponde un valor de Y, es decir la pendiente de la regresión no es constante (Montgomery y Runger, 2014).

3 Materiales y Metodología

En la presente sección se detallará el procedimiento realizado para la toma de lecturas tanto del ensayo de ultrasonido como el de esclerometría, conjuntamente con la normativa utilizada como referencia. Como punto inicial se realizaron ensayos de ultrasonido en los laboratorios de dos hormigoneras, con lo cual se recopiló una base de datos amplia para determinar la correlación existente entre la resistencia a la compresión y la velocidad de onda empleada por el ultrasonido. Posterior a esto se realizaron los ensayos en obras existentes donde se determina si las grietas y la presencia de armaduras tienen influencia en las mediciones.

3.1 Materiales

3.1.1 Probetas de hormigón

Para determinar la correlación existente entre ensayo de ultrasonido y la resistencia a la compresión del hormigón, se empezó por la elección de 2 hormigoneras importantes de la zona, las cuales ensayan un número significativo de muestras diarias. En estas dos hormigoneras se trabaja con probetas cilíndricas de 10cm de diámetro y 20cm de altura, por lo que, el tamaño de las probetas para ambos casos será el mismo. Tanto la norma ASTM C597 como la norma española UNE 83-308-86 nos indica que las dimensiones del elemento que se ensaya no tienen influencia sobre la velocidad de propagación de onda, teniendo en cuenta que las dimensiones transversales a la dirección de propagación no deben ser menores que la longitud de onda empleada para hacer el ensayo.



Figura 13: Probetas cilíndricas (10cm diámetro y 20cm de altura)

Existen muestras tanto de hormigón bombeable como de vertido directo, siendo la primera de la que se tiene un mayor número de registros. Las resistencias de diseño de las muestras van desde los 140 kg/cm² hasta los 450 kg/cm², las relaciones a/c que se utilizan dependen del revenimiento que sea solicitado, a continuación, se muestra esta información:

Tabla 4: Resistencia y relación agua/cemento

$f'c$ [kg/cm ²]	a/c
140	0,675
180	0,645
210	0,612
240	0,591
250	0,592
280	0,565
300	0,546
350	0,51
400	0,48

Nota: Valores correspondientes para hormigón bombeable con revenimiento de 18cm

En la Tabla 4, se puede ver la información para un concreto con revenimiento de 18cm, información de las relaciones a/c se puede ver en el Anexo 1

3.1.2 Prensa hidráulica

En el caso de la primera hormigonera, se utiliza una prensa semiautomática de la marca ELE International, Serie ACCU-TEK Touch; calibrada por METRO-TEST el 30 de abril del 2021, como se puede ver en la imagen a continuación:



Figura 14: Prensa Hidráulica - Hormigonera A

En la Figura 15 se puede observar la prensa hidráulica utilizada en la segunda hormigonera, es de la marca MATEST, se trata de una máquina de compresión de la serie Servo – Plus evolution, calibrada en abril del 2021.



Figura 15: Prensa Hidráulica - Hormigonera B

3.1.3 Equipo de Ultrasonido

El equipo de ultrasonido empleado es de la marca TICO, de la serie PROCEQ Testing Instruments, el cual cuenta con:

- Equipo generador de pulso.
- 2 transductores de 54 kHz.
- 2 cables BNC de 1.5m.
- Testigo de calibración.
- Maletín de transporte.

A continuación, se puede observar el equipo en mención:



Figura 16: Equipo ultrasonido TICO Proceq

3.1.4 Esclerómetro

El equipo utilizado es de la marca NOVATEST, es un martillo de tipo Schmidt, en la Figura 17 se puede apreciar el equipo utilizado



Figura 17: Equipo de esclerometría NOVATEST

3.1.5 Detector de armaduras

Es un equipo sencillo de fácil utilización, de la marca ZIRCON, modelo 58-E00588 que se observa a continuación:



Figura 18: Detector de Armaduras ZIRCON MT 6

3.2 Metodología

Se realizaron ensayos en dos instancias, en primer lugar, se hacen ensayos de laboratorio, aquí se ejecutan los ensayos de ultrasonido y de compresión simple, estableciendo si existe o no una relación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia del hormigón, además se establece si las mediciones realizadas con el ultrasonido son influenciadas por la relación a/c de las muestras. En segunda instancia se realizan ensayos en obras, estableciendo si las armaduras y la presencia de grietas afecta en las mediciones, en este punto se lleva a cabo el ensayo de esclerometría y el ensayo de ultrasonido.

3.2.1 Ensayos en Laboratorio

Como ya se mencionó en el primer punto tenemos las pruebas de laboratorio aquí se realizan dos ensayos, para determinar la correlación existente entre la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico, los cuales se describen a continuación:

3.2.1.1 Ensayos de compresión simple

Los ensayos de rotura en las dos hormigoneras se realizan después de 3, 7 y 28 días de su elaboración, según lo especificado en la norma NTE INEN 1573. La normativa específica que los especímenes deben ser ensayados en condición húmeda, sin embargo, al ser la humedad un factor que influye en la velocidad de propagación de onda, se deja secar las probetas para que de esta manera no influya en la medición del ultrasonido, el secado se lo hace por un par de horas a la sombra hasta que superficialmente no presente humedad.



Figura 19: Muestras húmedas (Hormigonera B – hormigón bombeado)



Figura 20: Muestras después de periodo de secado (Hormigonera B – hormigón bombeado)

Antes de efectuar el ensayo de compresión:

- Se mide el diámetro, la altura y el peso de cada muestra
- Se realiza el ensayo de ultrasonido y se registran los datos.
- Al momento de colocar el espécimen se debe asegurar que los contactos de los bloques de carga estén limpios, estén debidamente colocados y alineados.

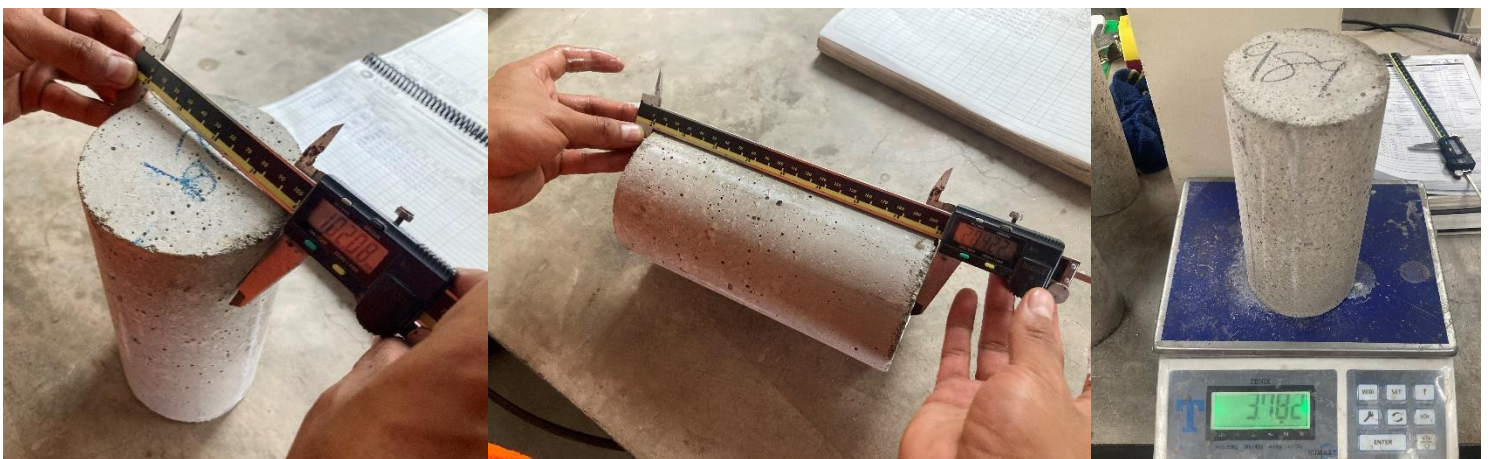


Figura 21: Registro de dimensiones y pesos de las muestras

Previo a realizar el ensayo se debe asegurar que la prensa se encuentre encendida, y el bloque se encuentre debidamente asentado, al momento de realizar el ensayo la velocidad de carga aplicada debe ser continua y sin impacto.



Figura 22: Rotura de cilindros a compresión

Para determinar la resistencia a la compresión, se divide la carga máxima registrada por el equipo para el área de la sección transversal del espécimen.

3.2.1.2 Ensayo de ultrasonido

Para realizar esta prueba se debe verificar:

- El estado del equipo.
- Revisar que los cables BNC se encuentren en buenas condiciones.
- La batería del equipo sea la adecuada (se recomienda que la vida útil restante de las baterías este sobre las 15 horas).
- Disponer del cilindro de calibración.
- Contar con vaselina o gel para el acoplamiento.



Figura 23: Equipo de ultrasonido TICO PROCEQ

Como punto inicial se debe armar y calibrar el equipo, para lo cual:

- Conectaremos los transductores y el generador de pulso, por medio de los cables BNC
- Se tiene que comprobar que el equipo este calibrado
- Colocar vaselina en la cara de los transductores y se los posiciona en las caras circulares del cilindro de calibración
- Se toma la lectura y se comprueba que el tiempo que indica el equipo sea el marcado en el testigo de prueba. En caso de que el resultado no corresponda con el marcado en el cilindro o se quiere realizar el ensayo con una frecuencia diferente, revisar el instructivo del equipo.

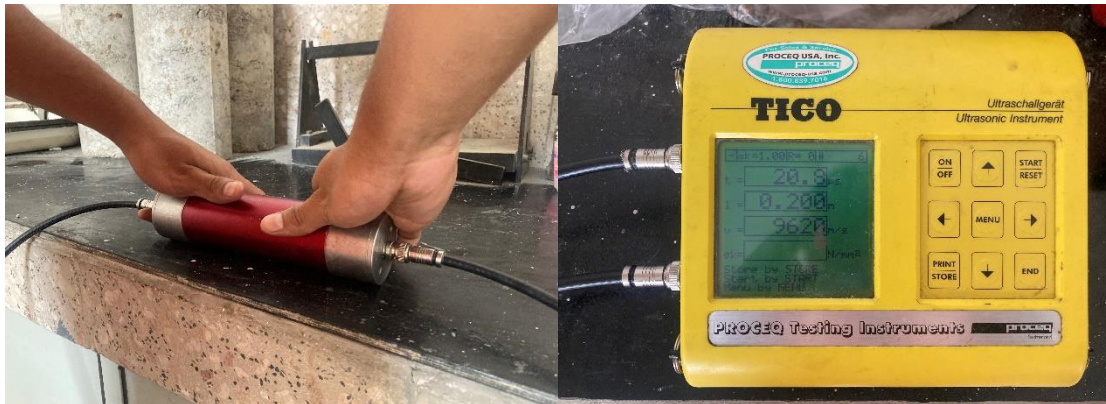


Figura 24: Calibración del equipo

Nota: El valor de la velocidad de onda para una frecuencia de 54 kHz en el testigo de calibración es de 20.8 us.

Una vez calibrado el equipo, se limpia la cara de las probetas a ensayarse y colocamos una capa de vaselina en los transductores, los cuales se ponen uno en cada extremo de la probeta aplicando un poco de presión para que se garantice un buen acoplamiento.

En el presente estudio se utiliza el método de transmisión directa, con lo cual se mide de manera precisa la longitud del recorrido, presentando resultados fiables y precisos. Se debe considerar los siguientes aspectos:

- Registrar por lo menos tres lecturas (si el tiempo que marca el equipo en las tres pruebas presenta una gran variación, colocar una cantidad adecuada de vaselina para un mejor acoplamiento y repetir las lecturas).
- Se anota el tiempo y la distancia entre los transductores, con lo cual se determina la velocidad para dicho espécimen.



Figura 25: Ensayo de Ultrasonido en laboratorio

3.2.2 Ensayos en Campo

Aquí se determina la influencia que tienen las armaduras y las fisuras en el ensayo de ultrasonido y también se establece una comparación con el ensayo de esclerometría. Por lo que se aborda tres ensayos que se describen a continuación:

3.2.2.1 Ensayo de detección de armaduras

Este ensayo se lo realiza tomando en cuenta las limitaciones descritas en ACI 228.2R, para realizar esta prueba se debe seleccionar el elemento estructural en el cual se determina la ubicación del refuerzo longitudinal y transversal, para esto se desliza el detector de armaduras ZIRCUS mostrado anteriormente, sobre la superficie del elemento. Es importante que el operador retire cualquier elemento metálico que lleve para que no interfiera en la medición.



Figura 26: Ensayo de detección de armaduras

3.2.2.2 Ensayo de esclerometría

De manera preliminar para este ensayo se debe:

- Verificar que el equipo este calibrado
- Adicionalmente si se dispone de ensayos a compresión del elemento a estudiar, se puede establecer una relación con el número de rebote dado por el equipo, de esta manera se obtiene una estimación más precisa, ya que como indica ACI 228.1R el resultado no solo depende de la resistencia del hormigón, sino también de la rigidez afectando al ensayo.

Al momento de realizar el ensayo se debe:

- Comprobar que la superficie sea lisa, de lo contrario con ayuda de una piedra abrasiva se elimina las rugosidades que presente.
- Sostener el esclerómetro perpendicular a la superficie, se empuja el martillo de manera progresiva ejerciendo presión contra el elemento estructural en análisis, hasta que impacte el martillo.
- Se presiona el botón lateral para bloquear el embolo con la lectura obtenida.
- Se registran los resultados.

Según ASTM C805, se deben tomar 10 lecturas en cada área de prueba, para las mediciones se tomaron dos lecturas extras, con lo que se dispone de un registro de 12 mediciones en cada ensayo, los cuales deben estar separados mínimo 2.5mm según lo especificado en la norma. Para que la medición sea válida los valores registrados no deben diferir en más de seis unidades del promedio de todas las lecturas, si más de dos lecturas difieren de la media por 6 unidades se descarta el ensayo.

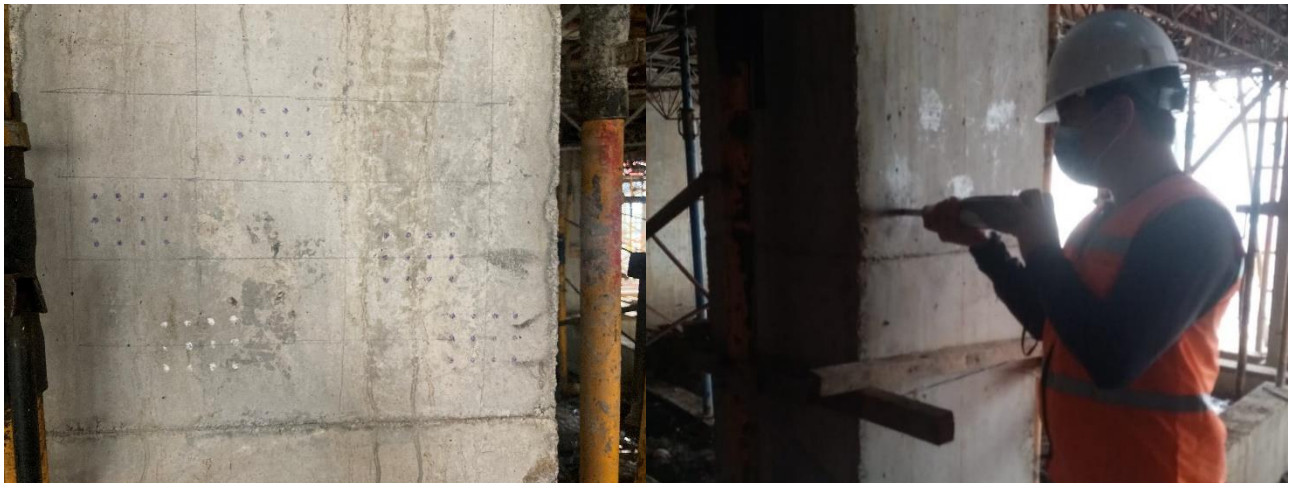


Figura 27: Ensayo de Esclerometría

3.2.2.3 Ensayo de Ultrasonido

El montaje y la calibración del equipo es el mismo descrito en la sección 3.2.1.2, el método de ensayo que se emplea es de transmisión directa e indirecta. Para relacionar con el ensayo de esclerometría se debe tener en cuenta que:

- La superficie está limpia
- Garantizar un buen acoplamiento entre el elemento y los transductores, por lo que se debe colocar una capa de vaselina que garantice una buena transmisión.
- Para el correcto posicionamiento de los transductores se debe medir las distancias las distancias en ambas caras del elemento con el fin de que la trayectoria sea lo más horizontal posible.



Figura 28: Ensayo de ultrasonido en obra

Para la identificación de la influencia de las armaduras se realiza el ensayo en cinco puntos donde se ha encontrado refuerzo tanto longitudinal como transversal y en puntos intermedios, con lo que se determina si existe una variación importante en estas mediciones.



Figura 29: Mediciones realizadas para determinar influencia de las armaduras

Para determinar la influencia de las fisuras, se realiza una inspección visual en la cual se determina que fisura es superficial, o pronunciada, se realizan mediciones de pulso ultrasónico directamente sobre la fisura y alrededor donde se vea que el elemento no está afectado por las mismas.



Figura 30: Determinación visual de estado de fisuración (Fisura Superficial)



Figura 31: Ensayos sobre grietas y puntos intermedios para determinar la influencia

3.3 Estadística

Una vez realizado los ensayos y tabulado los datos obtenidos tanto de campo como de laboratorio, se procede a realizar el análisis estadístico; de esta manera, se determinará si existe una correlación entre la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico, respondiendo así el objetivo principal del trabajo.

Como punto de partida se utilizarán los 588 datos obtenidos de los ensayos a compresión efectuados en las dos hormigoneras locales, los mismos se organizarán tal que: en el eje de las abscisas estará ubicado la velocidad de pulso ultrasonido, teniendo como variable de respuesta la resistencia a la compresión, ubicado en el eje de las ordenadas. Para lo cual:

- Se realiza una regresión lineal, donde se debe evaluar que los residuos (diferencia entre datos obtenidos y datos proyectados) sean homogéneos; es decir, que se cumpla el caso a) descrito en la sección 2.4.3.
- De no cumplirse el paso anterior, se deberá probar con una transformación lineal, de esta forma se garantiza que los residuos cumplan con la normalidad, uno de los aspectos importantes para determinar una correlación según lo descrito en (Montgomery & Runger, 2014).
- De forma adicional se realizará el test de pendiente, en donde se plantea como hipótesis nula que: no existe una pendiente, por lo que esta debe ser refutada para así determinar que existe una pendiente diferente de cero, por lo que también existirá una correlación.

4 Resultados y Discusión

En esta sección se elaboran los cálculos en base a la información obtenida, como primer punto se analizará los datos de laboratorio, aquí se verifica si existe o no una correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión, además se establece cual es la influencia de la relación agua/cemento en las mediciones. En segunda instancia para los datos obtenidos en campo, se realizará un análisis comparativo entre las diferentes mediciones realizadas, con lo que se evalúa si la presencia de grietas o la de armaduras tiene efecto en las mediciones. Como punto adicional se efectúa un estudio comparativo entre los resultados del ensayo esclerométrico y de ultrasonido.

4.1 Ensayos de laboratorio

4.1.1 Análisis de correlación entre la resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico

Es necesario realizar medidas en laboratorio para tener una amplia información que abarque varias características del hormigón, durante diferentes etapas del periodo de curado, con lo que se garantiza tener una curva con un rango considerable de resistencias, en la literatura se indica varios factores característicos del hormigón, que pueden influir en las mediciones, por lo que, para los ensayos se ha probado con materiales de la zona y se debe buscar un factor de corrección en el caso de que las condiciones cambien; con esto el ensayo es aplicable para hormigones que cumplan con las mismas características de agregados especificados en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 872.

Para determinar si existe una correlación entre los datos medidos, se debe realizar un análisis de errores con el fin de determinar la normalidad del modelo, de lo contrario se debe realizar una transformación lineal con lo que se tendrá una distribución normal de los mismos. A continuación, se muestra la información obtenida de los ensayos de laboratorio.

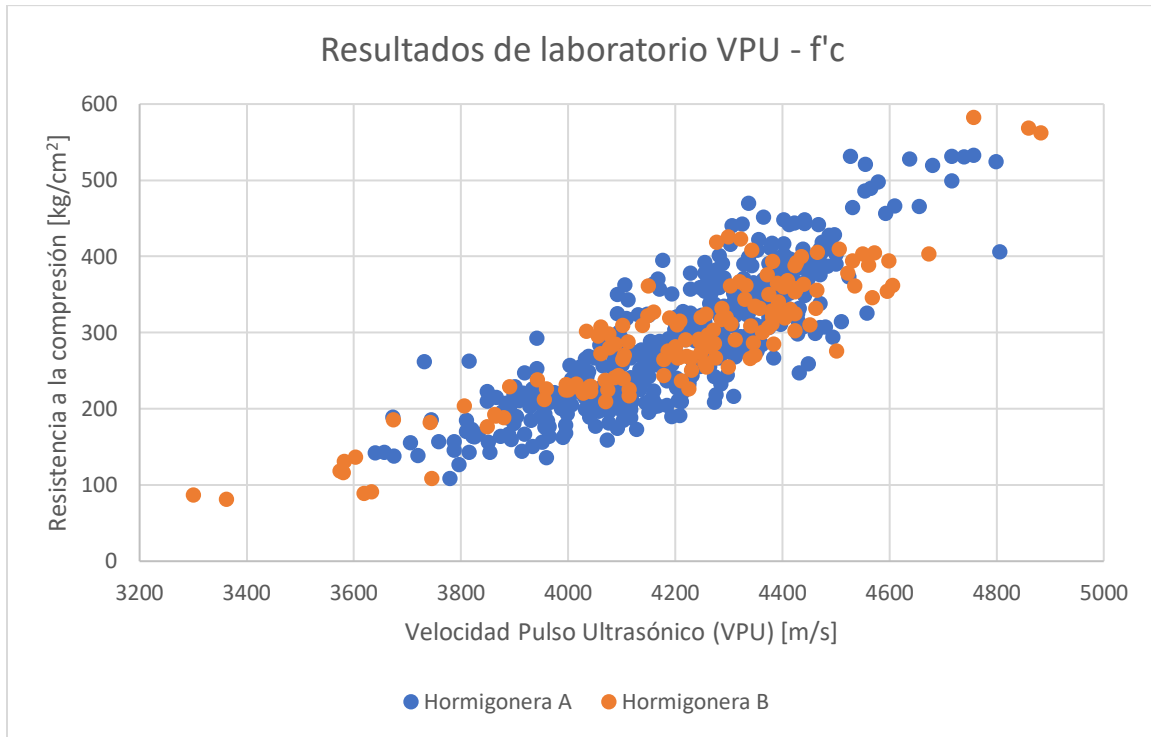


Figura 32: Datos de ensayo de laboratorio (VPU - f'_c)

En la Figura 32, se puede apreciar que la información obtenida de las dos hormigoneras se relaciona entre sí; se cuenta con 588 datos los cuales se dividen en: 444 datos provenientes de la hormigonera A y 144 provenientes de la hormigonera B. Al ser el objetivo la obtención de un modelo generalizado, se unificarán todos los datos para realizar el análisis estadístico, se puede destacar que se cuentan con hormigones con resistencia de diseño de: 140, 180, 210, 240, 280, 300, 400 hasta 450 kg/cm², con periodos de curado de 3, 7 y 28 días.

Se procede a realizar una regresión lineal de los datos unificados, y se realiza un análisis de residuos para determinar si el modelo es conveniente o es necesario una transformación lineal del mismo.

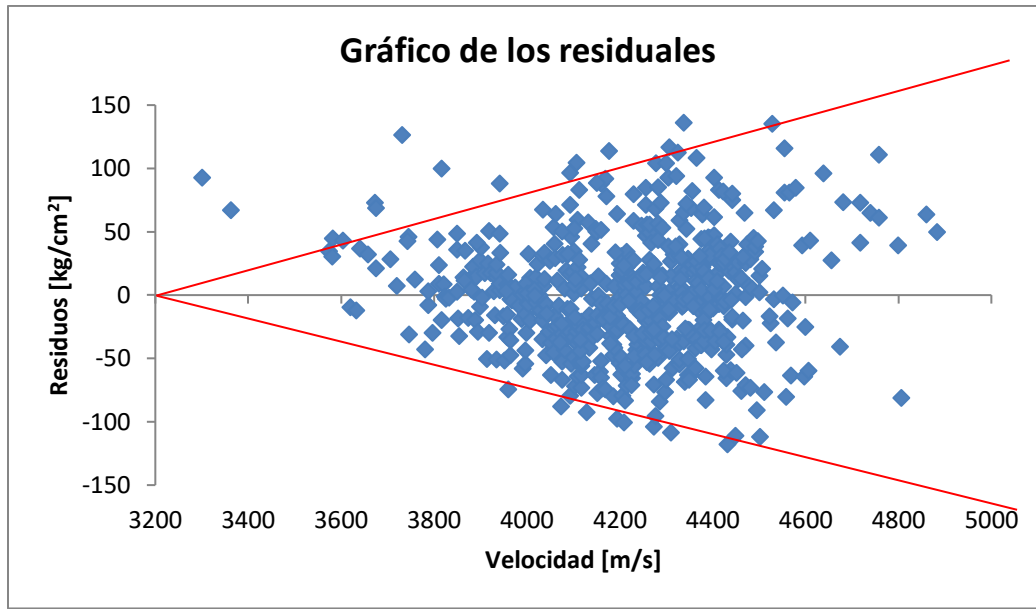


Figura 33: Análisis de errores (Gráfico de residuales)

La Figura 33 nos ayuda a realizar un análisis preliminar de forma visual, donde se puede apreciar que los errores no son homogéneos, dado que los residuos aumentan con el aumento de velocidad, por lo que se asemeja al caso b) expuesto en la sección 2.4.3. Por esto, es necesario una transformación lineal, para normalizar los errores; se han probado diferentes transformaciones para la variable de respuesta, siendo la más favorable una transformación logarítmica ($y' = \ln(y)$), como se muestra a continuación:

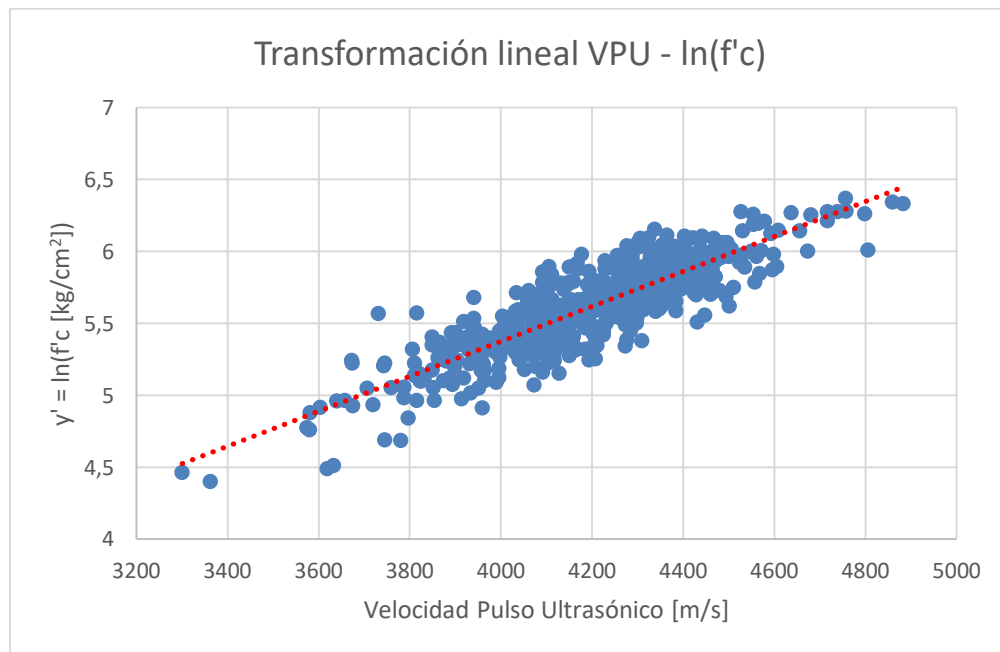


Figura 34: Transformación lineal de los datos obtenidos

Al efectuar el análisis de residuos de la función transformada, se puede ver que existe homogeneidad en los errores (Figura 35), debido a que la gráfica de errores se asemeja al modelo idóneo en términos de estadística, sin embargo, esta aseveración debe ser comprobada; para corroborar esto es necesario realizar un análisis de normalidad y una prueba de pendiente, lo cual determinará si existe o no la correlación.

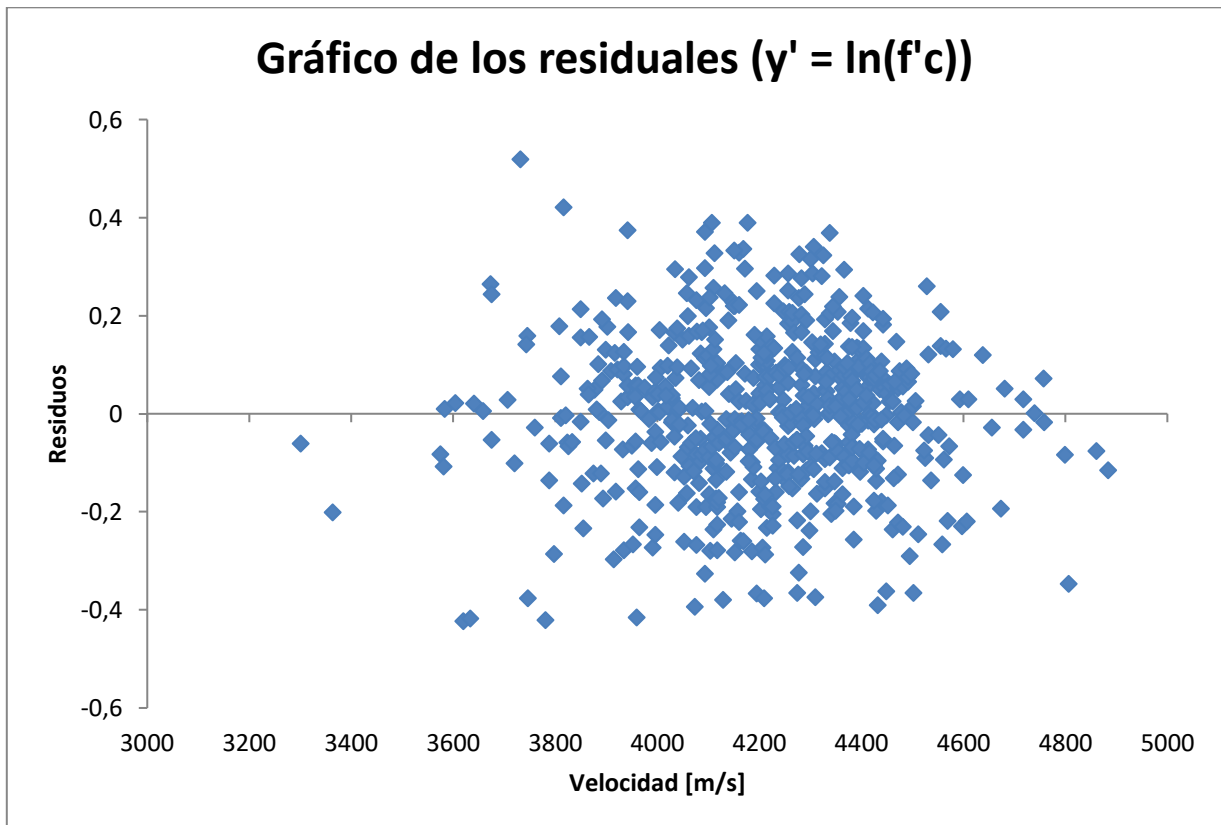


Figura 35: Análisis de residuos de la transformación lineal

Continuando con la validación de la correlación se realiza una prueba de normalidad, para esto se ha optado por dos métodos: el primero es un análisis visual con la ayuda de un gráfico normal Q-Q, estableciendo cuanto difiere los datos observados respecto a los esperados, concluyendo que los datos provienen de una población normalmente distribuida. Como segundo punto y de manera adicional se requiere un método analítico que valide la hipótesis nula, determinando que existe normalidad en los residuos, para esto se emplea la prueba de Shapiro Wilk.

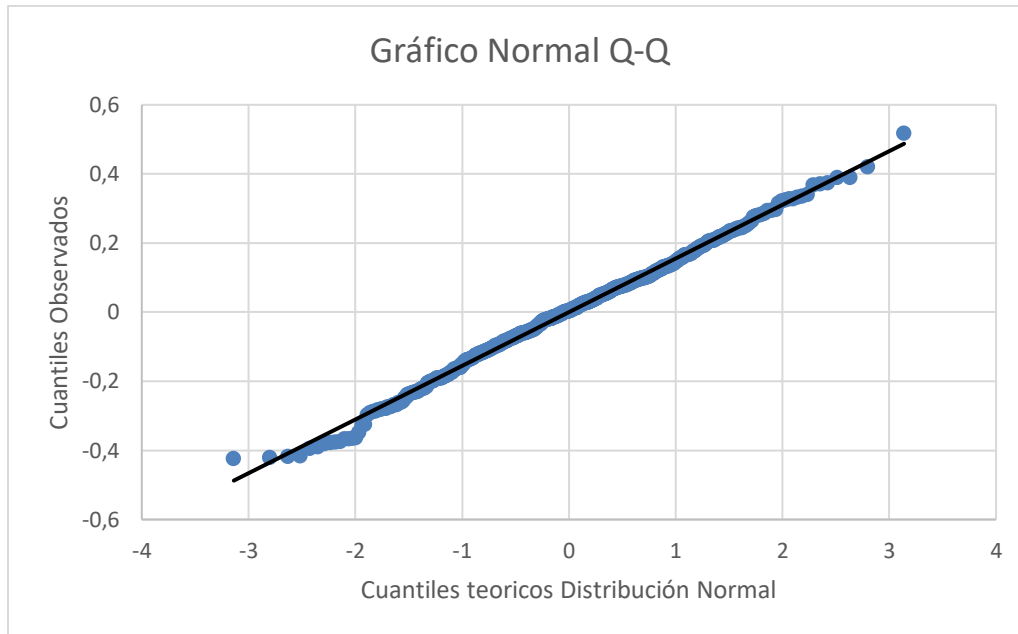


Figura 36: Normal Q-Q

En la Figura 36 se puede identificar que las diferencias entre los datos cumplen con la normalidad, dado a que sus valores se aproximan bastante a la recta, esto también se verifica en la Tabla 5 con la prueba de normalidad de Shapiro Wilk; se elige un nivel de significancia de 0.05, al realizar el test se obtiene un p-value es de 0.1802, al ser este mayor que el nivel elegido (0.05), no se puede rechazar la hipótesis nula, con lo que se verifica que se trata de una distribución normal.

Tabla 5: Test de normalidad de Shapiro-Wilk

Test de Normalidad Shapiro-Wilk			
W=	0.99625	P-value=	0.1802

Adicionalmente, se analizan los estadísticos tanto de la función sin transformar como de la obtenida con la transformación lineal, de acuerdo a la Tabla 6, se observa que la transformación lineal mejora la relación de los datos.

Tabla 6: Comparación de estadísticos de los modelos analizados

Estadísticas de la regresión		
	Función sin Transformación	Función Transformada
Coefficiente de correlación múltiple	0.8507	0.8684
Coefficiente de determinación R^2	0.7237	0.7541
R^2 ajustado	0.7233	0.7536
Error típico	45.3830	0.1557
P-value	7.80E-166	1.25E-180

Se identifica que la transformación lineal presenta mejores estadísticos, teniendo un coeficiente de correlación mayor; el cual viene ligado a un mejor coeficiente de determinación, que ha pasado de 0.723 a 0.754; al analizarse una única variable independiente, el valor de R^2 ajustado no presenta una variación significativa, donde se aprecia una mejoría considerable es en el error típico o error cuadrático medio (RMSE), teniendo un valor de 0.1557 esto se debe principalmente al análisis residual realizado donde se consiguió homogeneizar los errores gracias a las transformación de la variable de respuesta.

De forma adicional, se presenta el grafico de distribución normal acumulada de los errores, con lo que se corrobora la normalidad de la muestra.

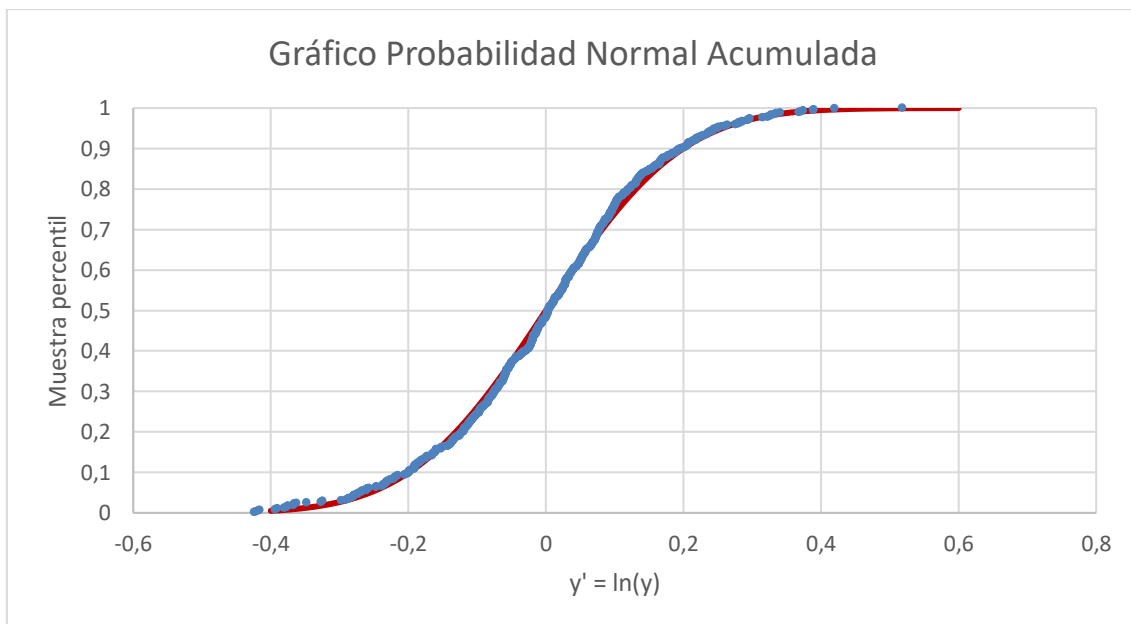


Figura 37: Probabilidad Normal Acumulada

Por lo tanto, se puede verificar la hipótesis de que estadísticamente existe una correlación entre la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión; puesto a que los errores en las mediciones son normalmente distribuidos, independientes con media cero y de varianza σ^2 .

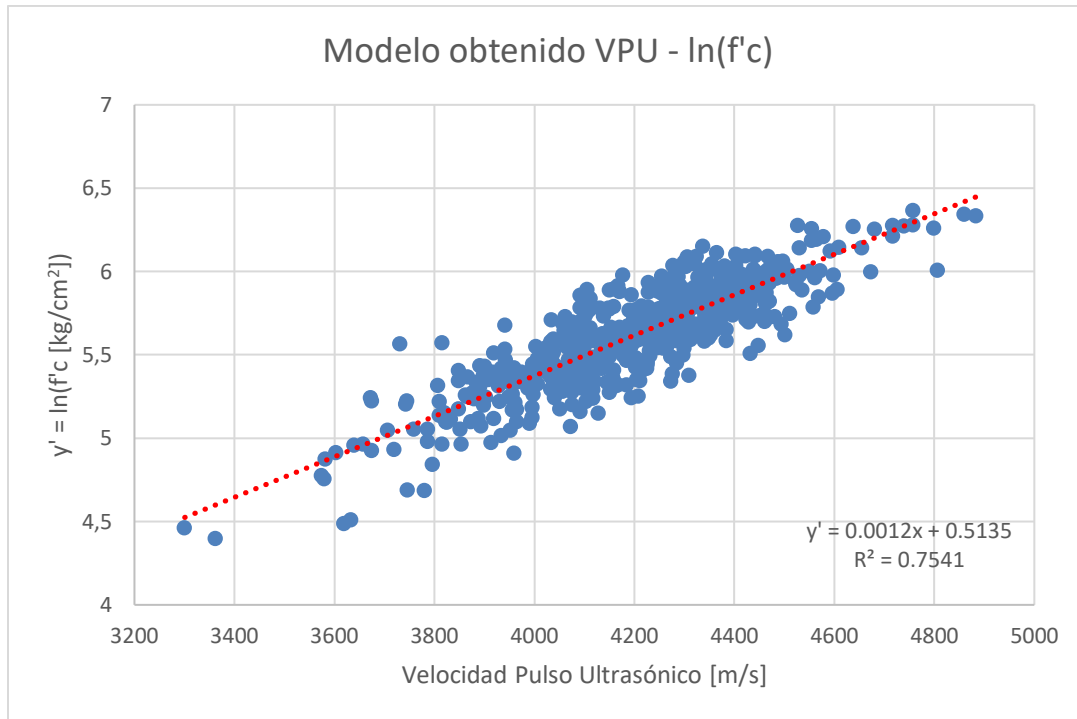


Figura 38: Modelo de correlación obtenido del análisis estadístico

Para finalizar, se determina que la correlación estadísticamente significativa existente entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión, de las muestras ensayadas viene dada por:

$$y' = 0.0012x + 0.5135$$

Siendo $y' = \ln(y)$, la expresión para la resistencia a la compresión se define como:

$$f'c = 1.6712e^{0.0012x}$$

Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión [kg/cm²]

x = Velocidad de pulso ultrasónico [m/s]

4.1.2 Influencia de la relación a/c

Otro punto de estudio es determinar cómo afecta la relación agua/cemento a la velocidad de pulso ultrasónico, por esto se ha complementado la información obtenida de los ensayos, adicionando la relación a/c de cada una de las muestras, esta información fue facilitada por parte de los laboratorios de las hormigoneras. De igual forma, se requiere de un análisis estadístico que nos

ayude a identificar si hay o no dicha dependencia, por lo que se plantea la hipótesis estadística de que existe una relación entre la VPU y la relación a/c.

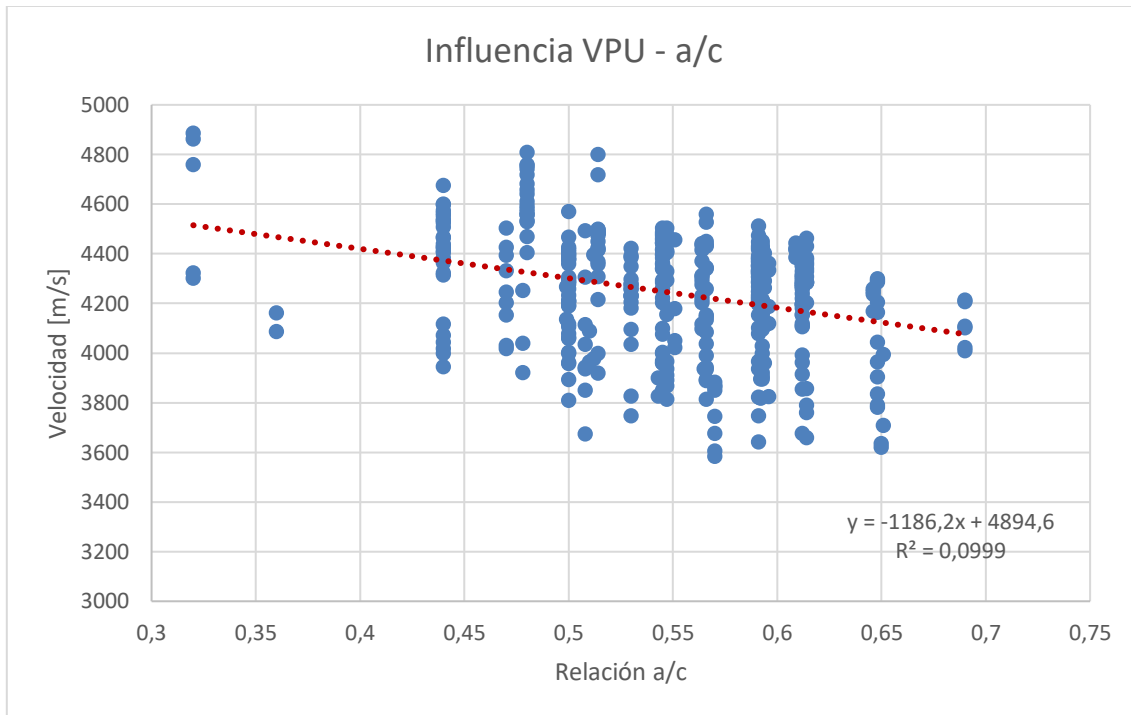


Figura 39: Influencia de la relación a/c sobre la velocidad de pulso ultrasónico

Para validar la hipótesis se plantea la recta de regresión de los datos obtenidos (Figura 39), se puede observar que existe un coeficiente de determinación bajo (0.099), lo que corresponde a un coeficiente de correlación de 0.316, inicialmente esto nos sugiera que es probable que no exista una correlación entre dichos datos, sin embargo, estos indicadores no son los adecuados para aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

Tabla 7: Estadísticos de la regresión lineal (VPU-a/c)

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.3161
Coeficiente de determinación R^2	0.0999
R^2 ajustado	0.0977
Error típico	224.644

Una forma de validar la hipótesis, es mediante la prueba estadística de la pendiente; descrita en la sección 2.4.5, donde se debe determinar que la pendiente de la regresión (β_1) existe y es diferente de cero. Para este test se parte de la hipótesis nula que la pendiente es cero, paralelamente se

realiza una prueba t-student de dos colas, determinando el p—value. A continuación, se pueden ver los resultados:

Tabla 8: Estadísticos para validación de correlación

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	P-value
Intercepción	4894.56397	96.8778271	50.5230569	2.222E-179
A/C	-1186.1685	174.749225	-6.7878324	3.9476E-11

Al ser p-value menor que 0.05 y el estadístico t (prueba de la pendiente) mayor que cero, se rechaza la hipótesis nula de que no existe pendiente, y se ha verificado que β_1 existe y es diferente de cero. Producto del análisis se denota que existe una correlación entre la relación a/c y la VPU, si bien no presenta un coeficiente de correlación alto, se ha demostrado que la relación existe; determinando que a mayor relación agua cemento la velocidad de pulso ultrasónico disminuirá.

4.2 Ensayos en Campo

Para los estudios en campo se realizaron mediciones en tres edificaciones de la zona, actualmente se encuentran todos en construcción, como punto de partida se realizaron ensayos en el edificio Montano, ubicado en el control sur, de esta construcción se dispone de los resultados de laboratorio como son los de compresión simple y de ultrasonido, con estas muestras se determina la relación entre el ensayo de esclerometría y ultrasonido; adicionalmente se determinara si la presencia de armaduras influye en el ensayo. En las otras dos construcciones se realizará un análisis donde se establece la influencia de las grietas en las mediciones.

4.2.1 Esclerómetro-ultrasonido

Para determinar una relación entre los ensayos in-situ es importante calibrarlos con los resultados obtenidos en laboratorio. Para empezar, se establece una relación entre el número de rebote (ensayo de esclerometría) y la resistencia a la compresión, por tal motivo se desplaza la curva de calibración del equipo hasta que coincida con la resistencia establecida, como se puede ver en la Figura 40.

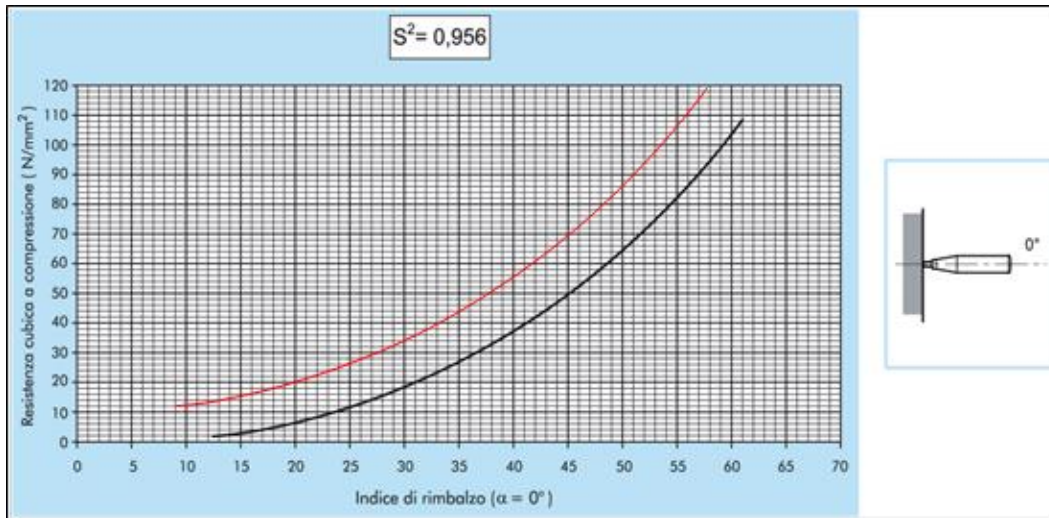


Figura 40: Calibración para el ensayo de esclerometría

Al disponer de información sobre el hormigón utilizado en obra, se ha propuesto la obtención de una ecuación bajo esas condiciones; es decir, se reducirá el conjunto de datos, tomando en cuenta únicamente aquellos valores que cumplan con la relación a/c utilizada para su elaboración. Se ha reducido el número de datos a un total de 23 como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9: Datos filtrados para las características del hormigón en obra

Velocidad [m/s]	f'c [kg/cm2]	A/C
3811,0	170,0	0,566
3931,6	184,6	0,566
3886,4	188,5	0,566
3988,2	200,2	0,566
3891,4	202,2	0,566
4081,8	206,7	0,566
3941,7	207,9	0,566
4027,8	219,3	0,566
4134,4	225,7	0,566
4117,6	240,8	0,566
4151,3	242,0	0,566
4035,8	242,3	0,566
4145,7	247,7	0,566
4065,4	256,2	0,566
4255,8	270,6	0,566
4087,3	283,2	0,566
4429,1	324,7	0,566
4337,6	350,6	0,566
4255,8	353,8	0,566

4448,6	370,9	0,566
4524,5	372,8	0,566
4435,6	385,0	0,566
4343,8	387,8	0,566

Con los datos filtrados se realizó el mismo proceso que en la sección 4.1.1, para determinar la correlación existente, obteniendo un coeficiente de determinación $R^2=0.8705$, pese a esto los coeficientes resultantes β_1 y β_0 son bastante próximos a los establecidos en la ecuación general como se puede apreciar en la Tabla 10. Para fines prácticos la ecuación resulta la misma, esto responde al análisis previo realizado donde se determinó que la relación a/c , tiene una leve influencia en la velocidad de pulso ultrasónico.

Tabla 10: Comparación entre coeficientes de la ecuación general vs ecuación con datos filtrados

Coeficientes		
	Modelo con Datos Filtrados	Modelo General
Intercepción	0,5279	0,5135
Velocidad [m/s]	0,0012	0,0012

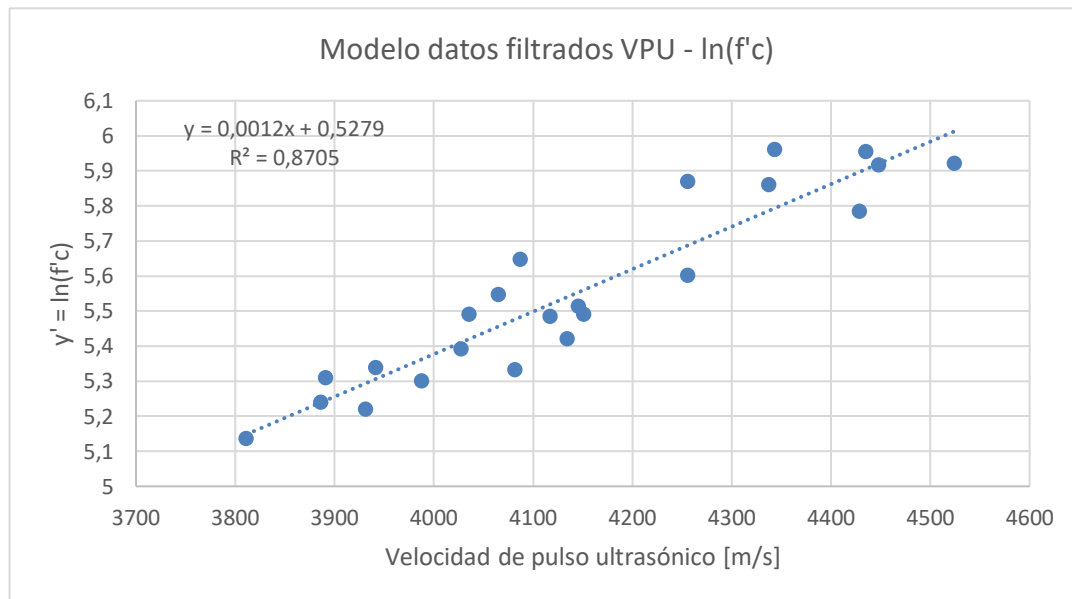


Figura 41: Transformación lineal para ecuación de datos filtrados

Establecidos estos parámetros se realizaron 100 mediciones para realizar el estudio (Anexo 4); se van a comparar los valores obtenidos del ensayo de esclerometría, con los valores resultantes del

ensayo de ultrasonido, utilizando el modelo obtenido en el presente trabajo y la ecuación planteada por Tomsett; este autor establece la siguiente relación:

$$f_{insitu} = f_{laboratorio} * e^{-k*f_{laboratorio}(V_{laboratorio}-V_{insitu})}$$

$f_{laboratorio}$: es la resistencia de la probeta

f_{insitu} : resistencia in situ del hormigón

$V_{laboratorio}$: velocidad de impulso en la probeta

V_{insitu} : velocidad de impulso a través del hormigón in situ

k: es una constante, este valor según Tomsett para hormigones de tipo estructural estándar es de 0.015

Establecido esto se realizan 2 gráficos comparativos entre el ensayo de esclerometría y el ultrasonido; y un gráfico adicional relacionando las dos mediciones de resistencia dadas por el ensayo de pulso ultrasónico.

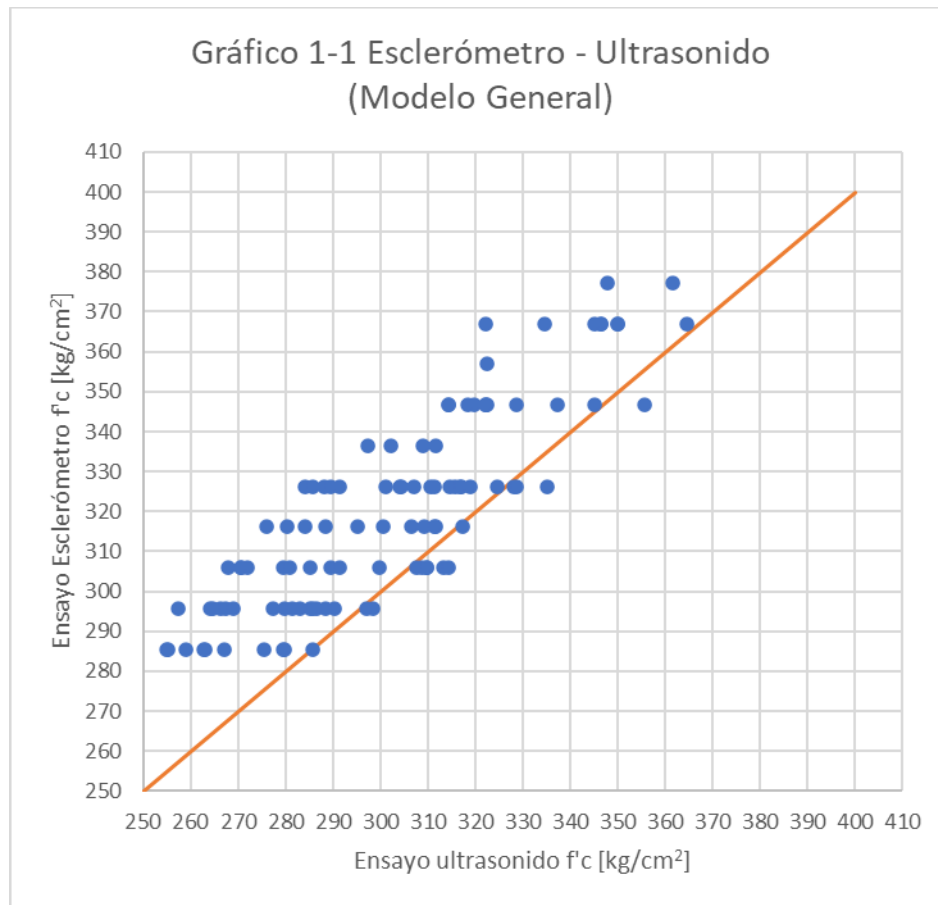


Figura 42: Grafico comparativo Esclerómetro - Ultrasonido (Modelo Obtenido)

Como se puede observar en la Figura 42, los valores de resistencia obtenidos por el método esclerométrico son mayores a los obtenidos con la ecuación desarrollada en el presente trabajo; según Tomsett (1980) esto se debe principalmente a que las condiciones de curado en obra son distintas que en laboratorio, por lo que resulta conveniente realizar un estudio de especímenes en obra, de esta manera se establece un factor de correlación para poder replicar este ensayo in-situ. Consecuentemente, se calculó la velocidad de pulso ultrasónico con la ecuación propuesta por Tomsett y se lo comparó con los resultados de esclerometría (Figura 43), se determina que para valores bajos de resistencia la ecuación de Tomsett no resulta precisa ya que de valores elevados; conforme aumenta la resistencia los resultados de resistencia decaen, presentando valores menores a los esperados, por lo que, el autor recomienda que esta fórmula se use para fines comparativos y se establezca una relación producto de una evaluación directa, para ejecutar estimaciones en obra.

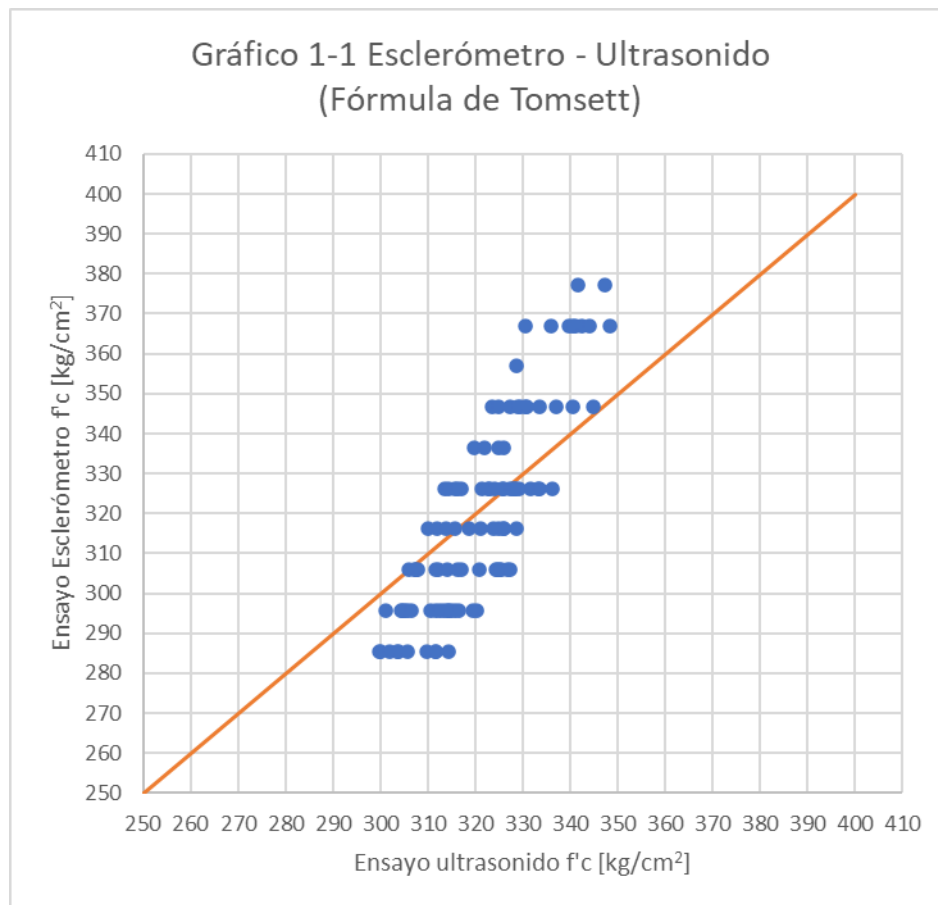


Figura 43: Grafico comparativo Esclerómetro - Ultrasonido (Fórmula de Tomsett)

Adicionalmente se compara los resultados de resistencia dados por la ecuación de Tomsett, con los obtenidos por el modelo obtenido. Se evidencia nuevamente que la formula planteada por Tomsett da valores altos hasta los 335 kg/cm², a partir de este punto los valores disminuyen, esto se debe

principalmente a que la ecuación dada por el autor relaciona el valor de velocidad obtenido en laboratorio, con el que se mide en campo; es decir, se necesitaría tener un valor de velocidad medido en laboratorio correspondiente a cada columna a ensayarse, para obtener mejores resultados, esto resulta poco práctico, ya que no es viable tener una probeta de cada elemento a construirse.

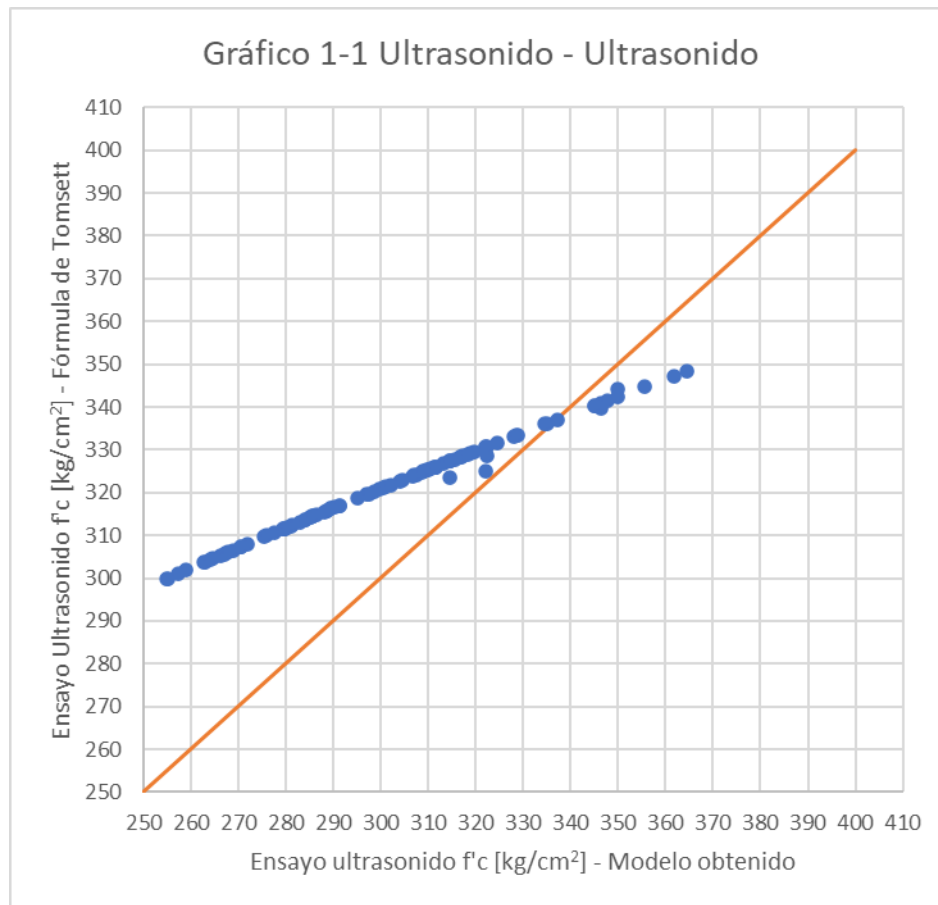


Figura 44: Gráfico comparativo Ultrasonido – Ultrasonido

Para finalizar, se realiza un gráfico adicional donde se comparan las 3 mediciones, para esto se ha ordenado de menor a mayor la resistencia a la compresión obtenida con el ensayo de esclerometría. En este gráfico se puede apreciar lo antes descrito en el análisis 1 vs 1 de los ensayos; se evidencia que el resultado de la ecuación obtenida es menor que el de esclerometría, esto nos sugiere que es necesario determinar un valor de calibración para obtener mejores resultados en campo. De igual forma la fórmula de Tomsett actúa según el comportamiento ya establecido, si bien inicialmente parece tener mejores resultados, según aumenta la resistencia, el error en la medición va aumentando. Esto se puede apreciar de mejor manera en la siguiente imagen.

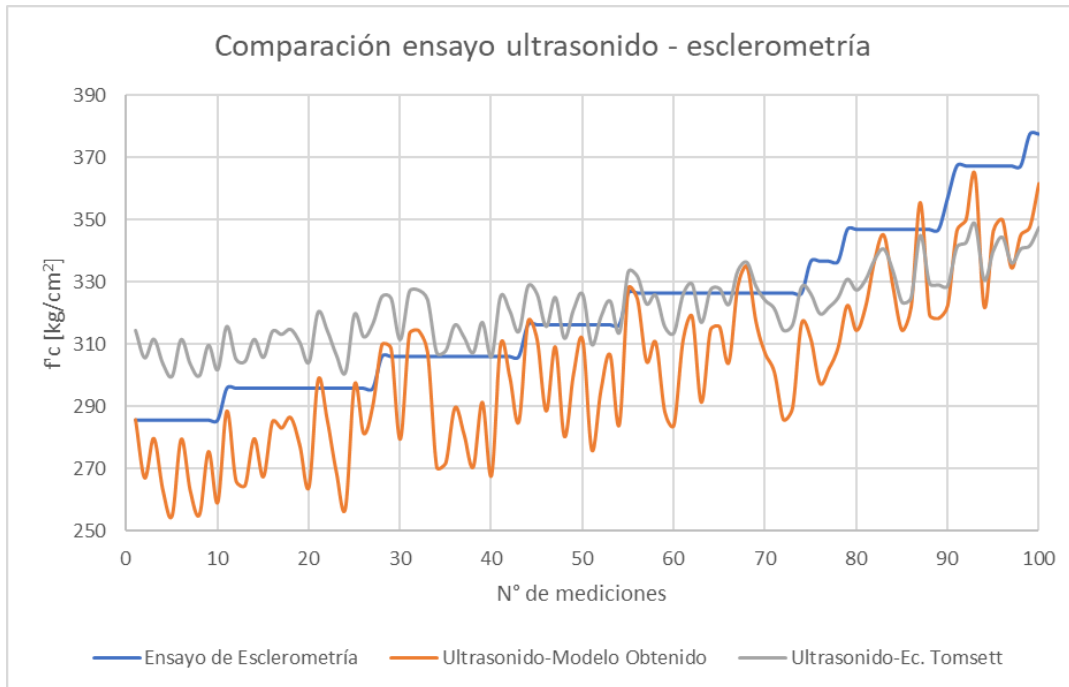


Figura 45: Análisis de relación entre el ensayo de esclerometría y ultrasonido

Al analizar los residuos de los datos ordenados, se puede observar que los errores producto del modelo obtenido en el presente trabajo, son homogéneos, es decir, no aumentan conforme aumenta la resistencia; estos errores resultan significativos, llegando a alcanzar diferencias de hasta 45 kg/cm². Por lo que, la determinación de un coeficiente de corrección para realizar los ensayos en campo, ayudaría que estos errores se encuentren en un rango aceptable para fines prácticos.

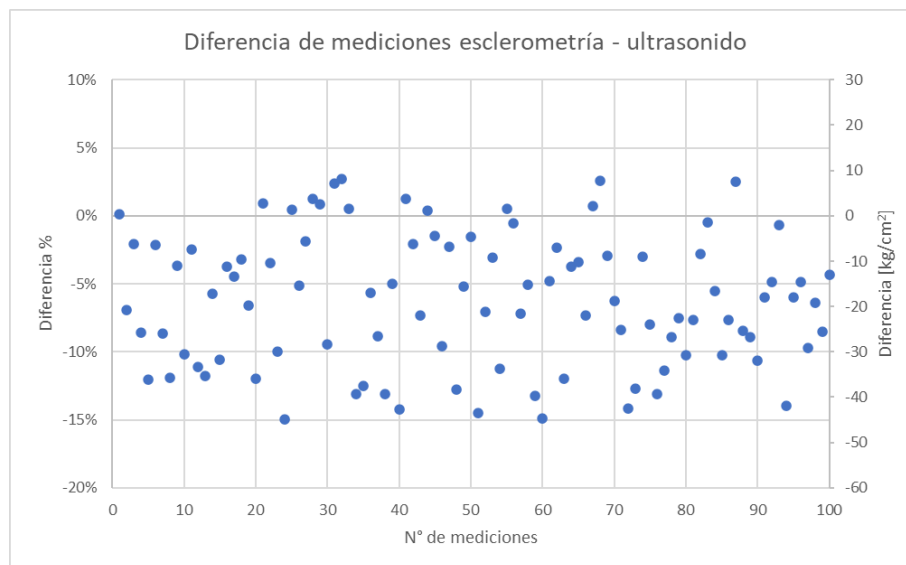
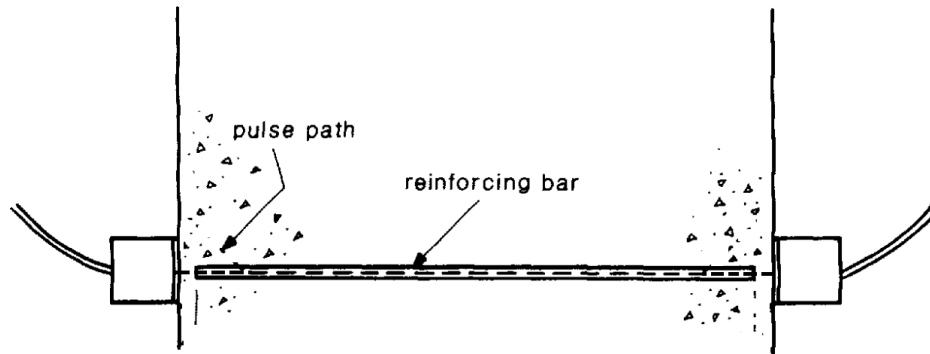


Figura 46: Análisis de residuos

4.2.2 Influencia de la presencia de acero

Para el análisis de este punto, se tomaron las mediciones realizadas en las columnas y se las dividió en tres grupos: el primero corresponde a aquellas mediciones que se realizaron sobre la armadura paralela a la dirección de propagación de onda, el segundo grupo son de aquellas mediciones donde la armadura se encuentra transversal a la dirección de pulso y por último se realizó el ensayo sin la influencia de la armadura.



*Figura 47: Primer caso medición sobre la armadura paralela a la dirección de onda.
Nota: Figura adaptada de (Chapman, 1996)*

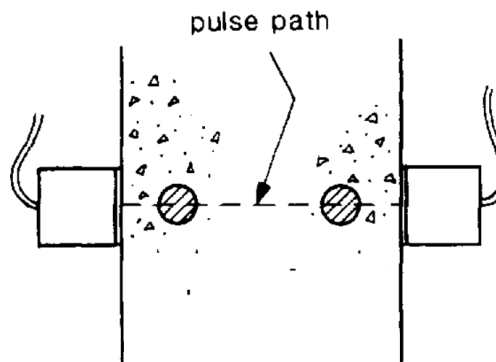


Figura 48: Segundo caso medición sobre la armadura perpendicular a la dirección de propagación de onda.

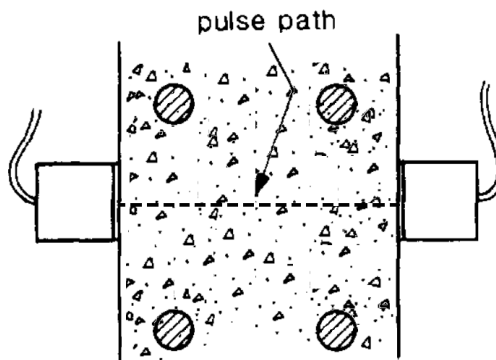


Figura 49: Ensayo sin la influencia de la armadura

Con esto se elaboró un gráfico comparativo en el que se puede apreciar que las mediciones realizadas sobre las armaduras son mayores en el primer caso, este comportamiento se repite en todas las mediciones, no obstante, para el caso dos y tres no se aprecia esta tendencia, si bien en algunos casos las mediciones son mayores, existen casos donde esos valores muy próximos.

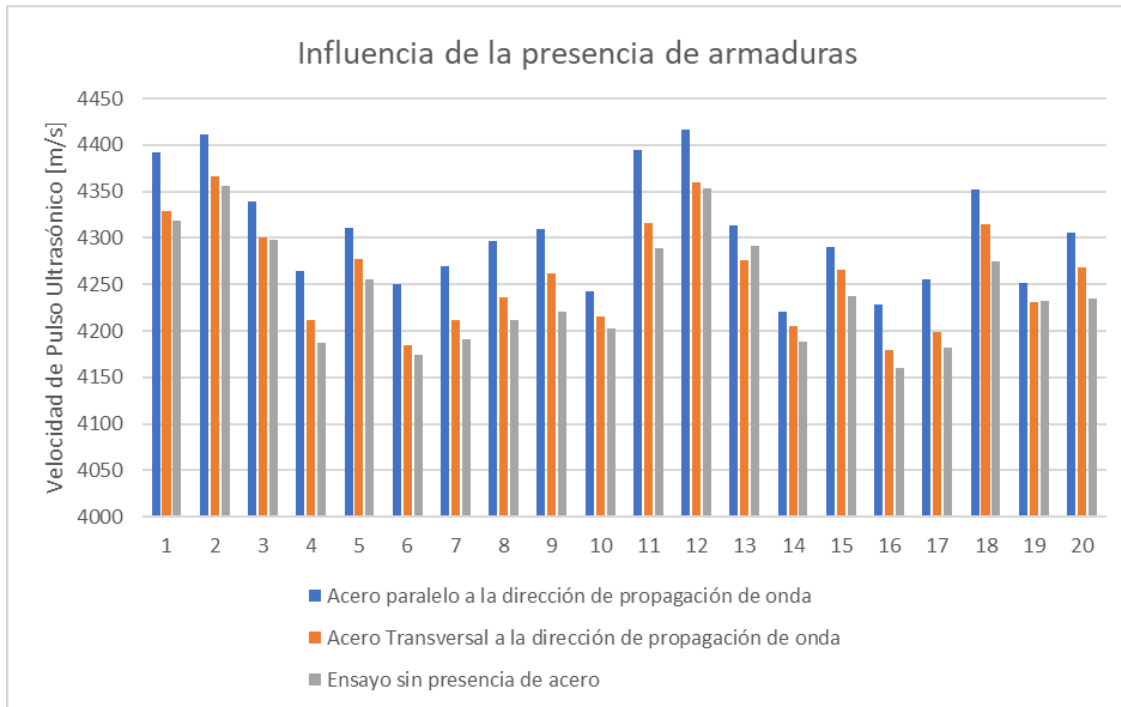


Figura 50: Influencia de la presencia de armaduras

Al realizar un análisis de la Figura 50, se puede determinar que:

- Las mediciones sobre el acero paralelo a la dirección de propagación de onda, siempre son mayores que en los otros dos casos.
- Se nota que la diferencia no es significativa, al comparar los ensayos sin presencia de acero con aquellos bajo la influencia de acero transversal. De tal manera, se esperaría que si la armadura tiene mayor cuantía y mayor longitud de varilla de estribo las diferencias serian mayores

De acuerdo a la literatura, la velocidad de pulso ultrasónico a través de hormigón armado, depende de diversos factores como son: el número y diámetro de las varillas, el recubrimiento empleado, y la orientación de las varillas respecto a la dirección del ensayo, siendo este último el más influyente. Velocidades de onda superior a 4000 m/s, en mediciones aplicadas sobre varillas de 20mm en posición transversal respecto a la dirección del ensayo, no tiene influencia significativa (Bungey, 2004). Sin embargo, el mismo autor indica que varillas de 6 mm de diámetro en dirección paralela a la propagación de onda del ensayo, puede provocar efectos importantes.

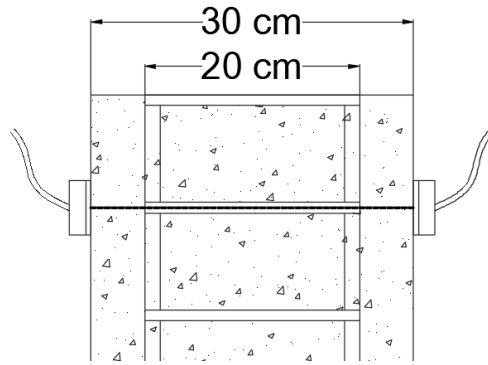


Figura 51: Columna de 30cm, el 67% de la trayectoria de la onda esta influenciada por el acero.

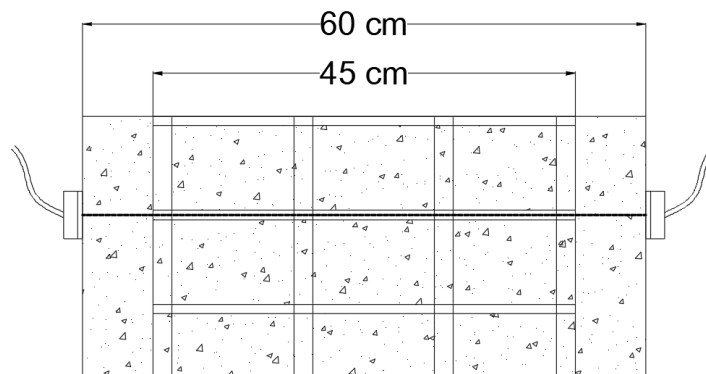


Figura 52: Columna de 60cm, el 75% de la trayectoria de la onda esta influenciada por el acero.

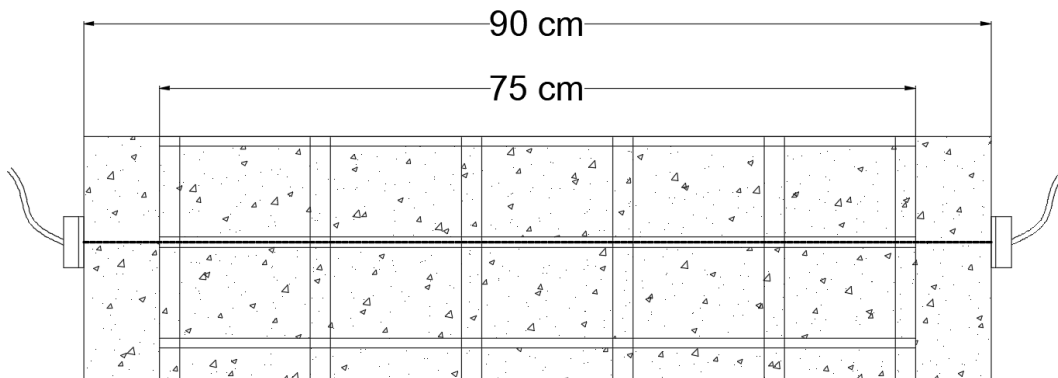


Figura 53: Columna de 90cm, el 83% de la trayectoria de la onda esta influenciada por el acero.

Por lo antes expuesto, se esperaría que, al realizar el ensayo en columnas mas pequeñas, como puede ser el caso de un estudio de una construcción menor, la influencia del acero disminuiría ya que un menor porcentaje de la trayectoria se ve influenciado. Caso contrario al analizar edificaciones mayores, los requerimientos de acero aumentan, por lo que, se esperaría que la influencia aumente ya que un mayor porcentaje de la trayectoria se lo realiza sobre el acero.

De forma adicional, se realizó un diagrama de cajas y bigotes, para analizar este efecto; en la Figura 54, se puede observar que la mediana de los valores medidos para el caso uno, es mayor que el cuartil superior que el caso tres y semejante al cuartil superior del caso dos, esto evidencia que en las mediciones registradas sobre la armadura paralela a la propagación de onda se pueden presentar diferencias de hasta 100 m/s, lo que significa diferencias correlacionadas de hasta 40 kg/cm².

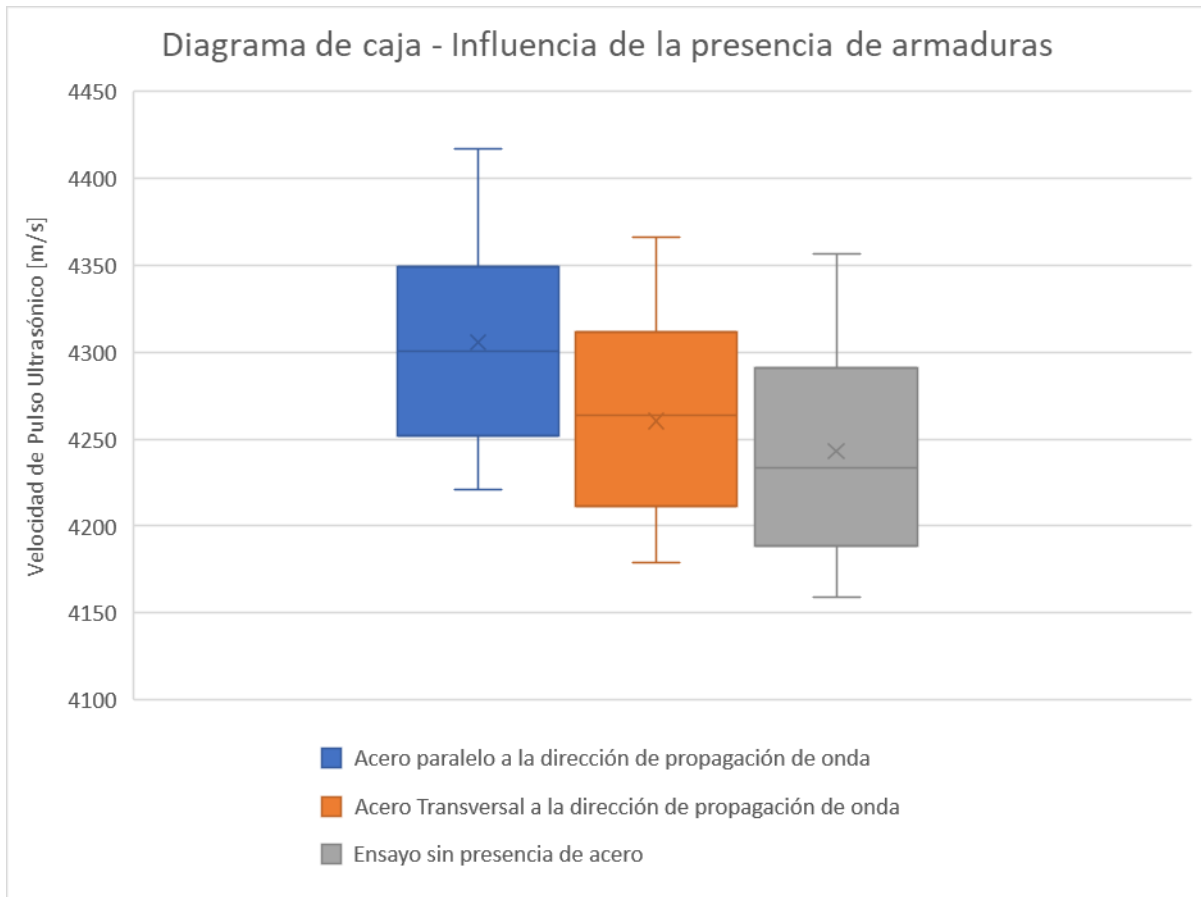


Figura 54: Diagrama de caja y bigotes para el análisis de influencia de las armaduras

Se puede concluir que para fines prácticos se debe evitar realizar mediciones directamente sobre la armadura cuando esta sea paralela a la dirección de propagación de onda, dado a que los ensayos realizados en estas zonas dan resultados mayores que cualquiera de los otros dos casos; para lo cual se recomienda acompañar el ensayo de ultrasonido con el detector de armaduras, para identificar estas zonas y evitar su influencia.

Como estudio complementario se realizaron mediciones indirectas, es decir, se colocó los transductores en la misma cara de la columna y se analizaron dos escenarios, en primera instancia se realizaron medidas sobre las armaduras y se contrastó con mediciones donde no existía presencia de acero.

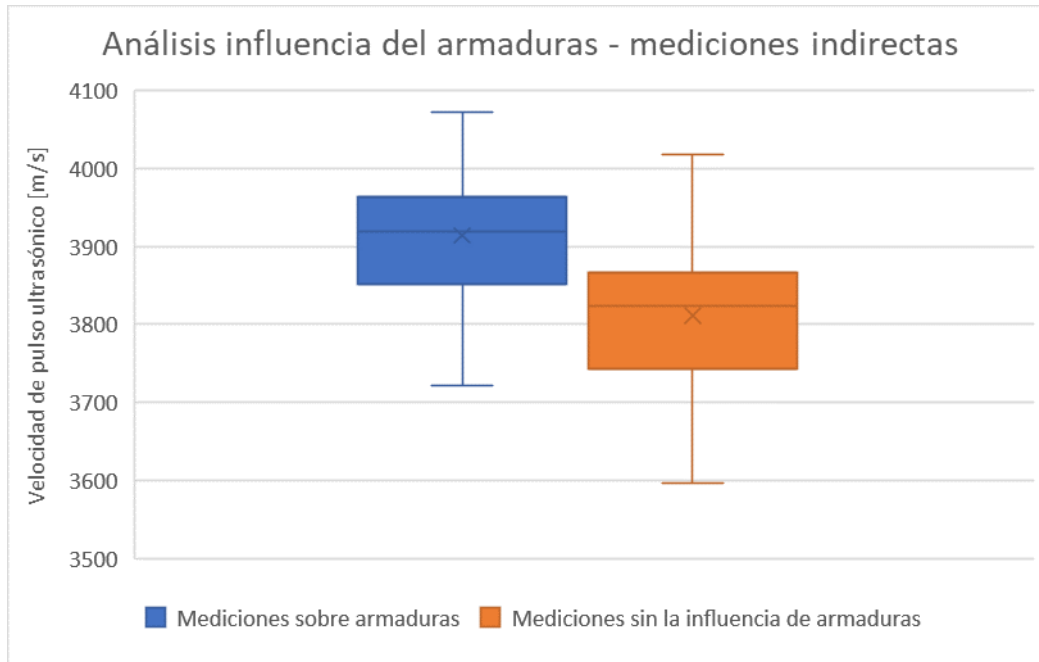


Figura 55: Análisis de influencia en mediciones indirectas

En la Figura 55, se puede observar que las mediciones realizadas sobre las armaduras, son mayores que las mediciones donde no está influenciada por la armadura, la dispersión de datos para ambos casos es semejante, sin embargo, la diferencia radica en sus valores medios ya que estos difieren en más de 100 m/s. Esto corrobora lo establecido con las mediciones directas; se recomendaría realizar un análisis para determinar si las diferencias al medir sobre armadura o no, son estadísticamente significativas.

4.2.3 Impacto de los diferentes estados de fisuración en la velocidad de ultrasonido

El estudio fue aplicado a 3 construcciones, la primera se encuentra ubicada entre las calles Daniel Córdova, Inés Salcedo y Agustín Cueva; la segunda se encuentra entre las calles Paseo Tres de Noviembre y Av. Ordoñez Lasso a la altura de la Gasolinera Clyan y la última en la calle de los Claveles y Av. Ordoñez Lasso. Para definir el impacto que tienen las grietas en la velocidad de ultrasonido, se clasifico de forma cualitativa y visual a las grietas en 3 tipos: leves, medias y grandes. La clasificación se realizó en función del grosor y profundidad de la grieta.

Tabla 11: Clasificación visuales de las fisuras

Tipo de grieta	Imagen de referencia		
Leve			
Media			
Grande			

Los resultados se encuentran en el Anexo 3, para lo cual se comparó la velocidad de onda en la zona de la grieta y de una zona cercana donde no exista influencia de las grietas, los ensayos se realizaron de forma que las longitudes sean paralelas entre ensayos; a continuación, se presenta la tabla de resultados en función del tipo de grieta y del porcentaje de disminución de la velocidad ante la presencia de la grieta.

Tabla 12: Resultado mediciones de fisuras en obras

Tipo grieta	Tiempo (μ s) no grieta	Tiempo (μ s) grieta	Longitud elemento(m)	Velocidad (m/s) no grieta	Velocidad (m/s) grieta	Porcentaje	Mínimo	Máximo
Leve	94.07	97.00	0.36	3773.92	3659.79	3.0%	2.0%	5.1%
Leve	94.07	95.97	0.36	3773.92	3699.20	2.0%		
Leve	94.07	97.00	0.36	3773.92	3659.79	3.0%		
Leve	94.00	99.00	0.36	3776.60	3585.86	5.1%		
Leve	92.57	95.30	0.36	3835.07	3725.08	2.9%		
Leve	93.30	96.10	0.36	3804.93	3694.07	2.9%		
Leve	93.13	95.53	0.36	3811.74	3715.98	2.5%		
Leve	93.13	97.87	0.36	3811.74	3627.38	4.8%		
Media	91.07	97.03	0.36	3898.24	3658.54	6.1%	6.1%	16.6%
Media	92.97	101.03	0.36	3818.57	3513.69	8.0%		
Media	94.00	108.00	0.36	3776.60	3287.04	13.0%		
Media	92.57	98.93	0.36	3835.07	3588.27	6.4%		
Media	91.23	97.83	0.36	3891.12	3628.62	6.7%		
Media	92.03	98.57	0.36	3857.30	3601.62	6.6%		
Media	91.30	99.63	0.36	3888.28	3563.06	8.4%		
Media	91.30	98.77	0.36	3888.28	3594.33	7.6%		
Media	119.70	135.70	0.46	3842.94	3389.83	11.8%		
Media	131.57	157.83	0.48	3648.34	3041.18	16.6%		
Media	128.63	147.90	0.48	3731.54	3245.44	13.0%		
Media	129.30	154.13	0.48	3712.30	3114.19	16.1%		
Grande	164.37	250.00	0.62	3772.05	2480.00	34.3%	26.8%	69.3%
Grande	161.50	294.00	0.62	3839.01	2108.84	45.1%		
Grande	159.80	312.00	0.62	3879.85	1987.18	48.8%		
Grande	116.73	380.00	0.42	3597.94	1105.26	69.3%		
Grande	112.30	153.37	0.42	3739.98	2738.54	26.8%		
Grande	114.30	158.60	0.42	3674.54	2648.17	27.9%		
Grande	127.30	177.53	0.46	3613.51	2591.06	28.3%		
Grande	119.83	283.00	0.46	3838.66	1625.44	57.7%		
Grande	121.20	196.67	0.46	3795.38	2338.98	38.4%		
Grande	132.10	185.27	0.48	3633.61	2590.86	28.7%		
Grande	129.80	190.77	0.48	3698.00	2516.16	32.0%		
Grande	119.03	323.00	0.46	3864.46	1424.15	63.1%		
Grande	131.27	183.57	0.48	3656.68	2614.85	28.5%		
Grande	125.60	184.53	0.48	3821.66	2601.16	31.9%		
Grande	132.90	183.50	0.48	3611.74	2615.80	27.6%		
Grande	113.03	296.03	0.25	2211.74	844.50	61.8%		
Grande	83.67	179.43	0.25	2988.05	1393.28	53.4%		
Grande	75.60	193.40	0.25	3306.88	1292.66	60.9%		

Los resultados que se encuentran en la Tabla 12, establecen que cuando existe una grieta el tiempo de recorrido es mayor, dando como resultado una velocidad menor para el mismo elemento con respecto a las zonas no agrietadas.

A partir de la Tabla 12, también se puede identificar que existe una relación entre el análisis cualitativo y los resultados cuantitativos de velocidad, esta relación es inversamente proporcional ya que a medida que el tamaño de la grieta crece, la velocidad de la onda a través del elemento disminuye; por lo tanto, se ha identificado que una grieta se puede establecer como leve si su porcentaje de variación (disminución) de la velocidad de recorrido de la onda es menor al 5.1%; si la variación se encuentra entre el rango de 6.1 al 16.6% se considera como grieta de tamaño medio y si el porcentaje excede el 26.8% se considerara como grieta grande.

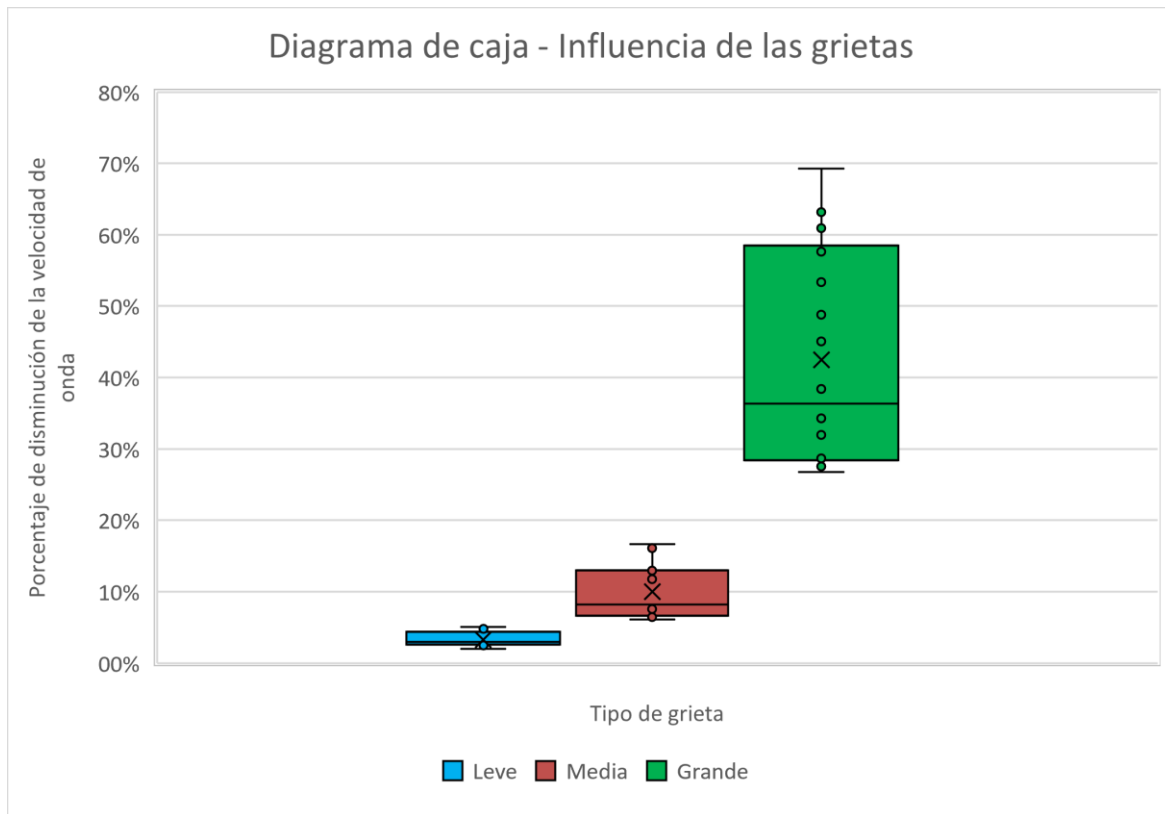


Figura 56: Análisis de influencia de los estados de agrietamiento en la velocidad de ultrasonido

El Figura 56, se observa que a medida que el estado de agrietamiento (determinado de forma cualitativa) crece, el porcentaje de disminución de la velocidad también aumenta. Por lo cual, se determina que los estados de fisuración tienen influencia significativa en la velocidad de pulso ultrasónico y a medida que la grieta crece en profundidad su influencia en la disminución de la velocidad aumenta drásticamente.

5 Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal analizar la factibilidad del empleo del ensayo no destructivo de ultrasonido para la determinación de la resistencia a la compresión. Para este fin se analizaron 588 muestras de laboratorio, provenientes de dos hormigoneras de la zona, de estos especímenes se obtuvo la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión de cada uno, adicionalmente se complementó esta información con la relación a/c utilizada.

Al analizar la factibilidad del uso del ensayo de ultrasonido, se determinó que existe una correlación estadísticamente significativa, de esta forma se estableció una ecuación para determinar la resistencia a la compresión a través de la velocidad de pulso ultrasónico.

La correlación obtenida producto del análisis estadístico de los resultados de laboratorio dio un coeficiente de correlación igual a 0.868, con un R^2 de 0.754; estos valores sumados a las pruebas de normalidad realizadas, conjuntamente con el test de pendiente, nos indica que es evidente la existencia de una correlación estadística.

Al llevar la prueba de ultrasonido a campo y compararlo con el ensayo de esclerometría se evidenció que: los resultados producto del modelo obtenido son menores a los medidos con el esclerómetro, al analizar la diferencia entre estas mediciones se evidencia que los errores son homogéneos; es decir, no aumentan o disminuyen según se incrementa la resistencia del elemento. Si bien se presentan errores de hasta un -15% correspondiente a -45 kg/cm², se plantea analizar estas diferencias para determinar un factor de corrección con lo que se espera no tener únicamente diferencias negativas. Por lo cual, para un uso técnico en el ámbito profesional es necesario disponer de más información sobre las muestras, de esta manera se podrá afinar esta relación. (Tomsett, 1980) señala que si se quiere emplear el ensayo en campo es necesario determinar la relación existente entre las muestras in-situ y las de laboratorio, ya que en obra el hormigón se encuentra en diferentes condiciones de secado, condición que afecta la velocidad de onda.

La presencia de las armaduras, influye de manera significativa cuando las mediciones se realizan de forma paralela a las varillas de refuerzo, debido a que la onda viajara más rápido por el acero ya que este se encuentra en la dirección de propagación de onda; se ha evidenciado que existe una diferencia de hasta 100 m/s cuando el 75% del recorrido de la onda esta influenciado por el acero, lo que resulta en una variación correlacionada de hasta 40 kg/cm². Las mediciones que se realizan de forma perpendicular al acero no afectan de manera considerable en los resultados, se pudo observar que los valores obtenidos de estas mediciones se asemejan a los obtenidos sin la influencia del acero.

Al determinar la influencia de la relación a/c, se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.316, si bien este valor es bajo, mediante el análisis de pendiente se estableció que existe una correlación; tal que, la velocidad de pulso ultrasónico disminuye cuando la relación a/c aumenta.

Cuando las grietas son leves se establece que el rango de disminución porcentual respecto al mismo elemento, pero cuando no presenta agrietamiento, este rango se encuentra entre 2% y 5.1%; para las grietas de tamaño medio el rango está entre 6.1% y 16.6%, y para las grietas grandes el porcentaje es mayor al 26.8%.

La bibliografía consultada, indica diversos factores que son influyentes al momento de realizar las mediciones como es el acoplamiento y la humedad de la muestra, en relación a esto, se tomaron medidas que nos lleven a tener resultados fiables, para ello se colocó una capa adecuada de vaselina que garantice un correcto acoplamiento entre el transductor y la superficie del ensayo; además se secaron las muestras a la sombra para que la humedad no afecte a las mediciones (pese a que la norma NTE INEN 1573 indica que el ensayo a compresión se debe hacer en condiciones húmedas).

5.2 Recomendaciones

Para mejorar la correlación establecida, se recomienda muestreos más extensos que abarquen un mayor número de variables con lo que se podrá garantizar mejores resultados; entre las variables que se deben estudiar están: el efecto de diferentes humedades, la influencia del porcentaje de agregado fino y grueso en la mezcla, el uso de diferentes equipos de ultrasonido para determinar su precisión, la aplicación de diferentes frecuencias al realizar el ensayo.

En cuanto al uso del equipo, una buena práctica es verificar que este calibrado antes de efectuar cualquier ensayo, caso contrario calibrarlo según la frecuencia que se vaya a utilizar (consultar manual del fabricante), de igual forma se aconseja revisar el estado de la batería para que no se presenten errores en las lecturas.

Adicionalmente, para llevar el ensayo a campo se recomienda realizar más medidas para establecer la relación existente entre las mediciones de laboratorio y los ensayos in-situ, con esto se podrá determinar un valor de corrección y disminuir errores de mediciones producto de factores externos a los encontrados en laboratorio.

Para finalizar, al momento de realizar el ensayo en obra este debe ser acompañado con el detector de armaduras o bien disponer los planos estructurales, así pues, se podrá evitar la influencia de estos en las mediciones; si se presentan grietas no se debe realizar el ensayo para determinar la resistencia a compresión sobre estas zonas, sin embargo, se puede aprovechar el equipo para determinar la profundidad de las fisuras y realizar un análisis patológico de las mismas.

6 Bibliografía

Aguiar, R. (2017). *NO SE ACEPTA EL DISEÑO POR DUCTILIDAD. CASO DEL EDIFICIO FRAGATA QUE INCURSIONÓ EN EL RANGO NO LINEAL DUCTILE DESIGN IS NOT ACCEPTED. CASE OF THE FRAGATA BUILDING THAT INCURRED IN THE NON-LINEAR RANGE.*

<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35416.60164>

Anderson, D. A., y Seals, R. (1981). *Pulse Velocity as a Predictor of 28- and 90-Day Strength.*

<https://doi.org/10.14359/6929>

Andrade, C., Lozano, J. L., Seguí, V., Vlcens, E., & Hernández, E. (1992). IDENTIFICACIÓN DE PRESENCIA DE CEMENTO ALUMINOSO EN HORMIGONES MEDIANTE EL USO DEL PACHÓMETRO. *Informes de la construcción*, 44(419), 1-6.

Antola, R. S. (2004). *Ensayo No Destructivo de Hormigones por Ultrasonidos* (pp. 1-33).

Arévalo, E. A. A., y Tepud, G. M. P. (2020). *COMPRESIÓN SIMPLE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE NÚCLEOS DE HORMIGÓN EXTRAÍDOS DE DIÁMETROS 4", 3", 2"y 1 1/4" CON DIFERENTES TAMAÑOS DE AGREGADO GRUESO.* Escuela Politécnica Nacional.

Bilgehan, M., y Turgut, P. (2010). Artificial Neural Network Approach to Predict Compressive Strength of Concrete through Ultrasonic Pulse Velocity. *Research in Nondestructive Evaluation*, 21(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/09349840903122042>

Bolívar, O. G. (2006). *Dosificación de mezclas de hormigón* (pp. 1-58). Universidad Nacional de Colombia.

Breysse, D. (2012). Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods. *Construction and Building Materials*, 33, 139-163. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.103>

Bungey, J. H. (2004). *The testing of concrete in structures.* Taylor & Francis.

Carrasco, F. (2013). *Unidad 6—Propeidades de la mezcla fresca de hormigón* (pp. 1-37).

Universidad Tecnologica Nacional.

Castillo, F. A. (2009). *TECNOLOGIA DEL CONCRETO* (Segunda edición). Editorial San Marcos E.I.R.L.

Concreto [ASOCRETO, A. C. de P. de. (2010). *Tecnología del concreto* (J. R. N. H, Ed.; Tercera, Vol. 1). ASOCRETO.

Demirboğa, R., Türkmen, İ., & Karakoç, M. B. (2004). Relationship between ultrasonic velocity and compressive strength for high-volume mineral-admixtured concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2329-2336. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.017>

EP, E. (2015). *Ampliación de la planta de tratamiento de Agua Potable de Tixan* (pp. 1-152).

https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoriatixan/12.MEMORIAS_TECNICAS_PARTE_1.pdf

Gómez, E. (2006a). *Ultrasonidos (Nivel II)*. Fundación Confemetal.

Gómez, E. (2006b). *ULTRASONIDOS (NIVEL II)*. FUND. CONFEMETAL.

Guzmán, D. S. de. (1993). *Tecnología del concreto y del mortero* (Segunda). Bhandar editores.

Henao, L. M. R. (2012). *Ensayos de información y extracción de probetas testigo en hormigones autocompactantes*. Universidad Politécnica de Madrid.

Huanca, S. L. (2006). *Diseño de mezclas de concreto* (pp. 1-19). Universidad Nacional del Altiplano.

Institute [ACI, A. C. (1991a). *ACI 211.1 Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete* (pp. 1-57).

Institute [ACI, A. C. (1991b). *ACI 211.1 Standard practice for selecting proportions for normal heavyweight, and mass concrete* (pp. 1-57).

Institute [ACI, A. C. (2003). *ACI 228.1R Métodos in situ para estimar la resistencia del hormigón* (pp. 1-44).

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.
- Kutner, M. H. (Ed.). (2005). *Applied linear statistical models* (5th ed). McGraw-Hill Irwin.
- Lescano, J. F. H. (2014). *Estudio comparativo para determinar la reducción del esfuerzo a compresión simple de los núcleos de hormigón comparados con la resistencia de cilindros normalizados de hormigón*. Universidad Internacional del Ecuador.
- Malhotra, V. M., y Carino, N. J. (2003). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete* (0 ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420040050>
- Malhotra, V. M., y Carino, N. J. (2004). *NONDESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE*. CRC PRESS. www.astm.org,
- Martin, J., y Forde, M. C. (1995). Influence of concrete properties on impulse hammer spectrum and compression wave velocity. *Construction and Building Materials*, 9(4), 245-255. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00027-D](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00027-D)
- Montgomery, D. C., y Runger, G. C. (2014). *Applied statistics and probability for engineers* (Sixth edition). John Wiley and Sons, Inc.
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto* (Primera edición). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Normalización [INEN, I. E. de. (2010a). *NTE INEN 1 573 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes de cilindros de hormigón de cemento hidráulico*. (pp. 1-14).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2010b). *NTE INEN 151 Cemento hidráulico. Definición de términos* (pp. 1-8).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2011a). *NTE INEN 694 Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología*. (pp. 1-11).

- Normalización [INEN, I. E. de. (2011b). *NTE INEN 862 Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.* (pp. 1-8).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2011c). *NTE INEN 872 Áridos para hormigón. Requisitos* (pp. 1-19).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2011d). *NTE INEN 1108 Agua potable. Requisitos* (pp. 1-9).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2011e). *NTE INEN 2380 Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos* (pp. 1-11).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2015). *NTE INEN 1762 Hormigón. Definiciones y terminología* (pp. 1-10).
- Normalización [INEN, I. E. de. (2016). *NTE INEN 3121 Hormigón endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo* (pp. 1-9). Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Ormaza, B. A. D., & Bermeo, C. M. E. (2018). *Determinación de patologías estructurales y comportamiento de vigas a esfuerzos de flexión reforzadas con fibra de carbono.* Universidad de Guayaquil.
- Padrón, J. O. (2015). *EVALUACIÓN, DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN DEL PUENTE HEREDIA.* Universidad de Cartagena.
- Pellicer, V. (2014). *Ensayos no destructivos en hormigón. Georadar y ultrasonidos.* 151. *Proceq_tico_user_manual_en.pdf.* (s. f.).
- S.A, H. E. (s. f.-a). *FICHA TÉCNICA Agregados finos* (pp. 1-3). Holcim Ecuador S.A.
<https://www.holcim.com.ec/agregados-arena-no-lavada>
- S.A, H. E. (s. f.-b). *FICHA TÉCNICA Agregados gruesos* (pp. 1-3). Holcim Ecuador S.A.
<https://www.holcim.com.ec/agregados-premezclados-agremix-prefabricado-sacos>
- S.A, H. E. (2015). *Holcim Fuerte—Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general* (pp. 1-15). https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf

Sabbağ, N., y Uyanık, O. (2017). Prediction of reinforced concrete strength by ultrasonic velocities.

Journal of Applied Geophysics, 141, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.04.005>

S.A.S, S. C. (2014). *ADITIVOS PARA CONCRETO* (pp. 1-27).

<https://col.sika.com/content/dam/dms/co01/7/BROCHURE%20ADITIVOS%20PARA%20CONCRETO.pdf>

Segarra, M., Miguitama, B., Fierro, J., & Mogrovejo, D. (2017). Implementación de curvas de calibración esclerométricas para hormigones convencionales de las hormigoneras más importantes del Austro. *Maskana*, 8(1), 229-238.

Solís, R., y Moreno, É. I. (2004). *Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados*. 13.

Testing, A. S. for, y Materials [ASTM. (1992). *Standard Performance Specification for Hydraulic Cement-C1157* (pp. 1-5).

Testing, A. S. for, y Materials [ASTM. (2018). *ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*.

Tomsett, H. N. (1980). The practical use of ultrasonic pulse velocity measurements in the assessment of concrete quality. *Magazine of Concrete Research*, 32(110), 7-16.
<https://doi.org/10.1680/mac.1980.32.110.7>

Turgut, P., y Kucuk, O. F. (2006). Comparative relationships of direct, indirect, and semi-direct ultrasonic pulse velocity measurements in concrete. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 42(11), 745. <https://doi.org/10.1134/S1061830906110064>

Vanegas, J. (s. f.). *Rehabilitacion estructural Refineria Managua Nicaragua* (pp. 1-13). Refineria Puma Energy.

7 Anexos

Anexo 1: Resultados ensayo Hormigonera "A"

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f' c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]			
34908	280	0.566	48.1	48.2	48.4	20.3	4220.37	4211.62	4194.21	4208.74	7	179.80	233.44
34909	210	0.612	49.3	49.4	49.3	20.3	4117.65	4109.31	4117.65	4114.87	7	172.60	224.09
34910	180	0.648	49	48.9	49	20.3	4142.86	4151.33	4142.86	4145.68	7	160.00	207.74
34911	210	0.614	50.4	49.9	50.2	20.3	4027.78	4068.14	4043.82	4046.58	7	161.20	209.29
34912	240	0.593	48	48.1	48	20.3	4229.17	4220.37	4229.17	4226.24	7	180.90	234.87
34913	240	0.593	49	49.4	49.4	20.3	4142.86	4109.31	4109.31	4120.49	7	161.90	210.20
34914	300	0.545	50.8	51.1	50.7	20.3	3996.06	3972.60	4003.94	3990.87	7	170.00	220.72
34915	350	0.514	46.5	46.9	47.3	20.3	4365.59	4328.36	4291.75	4328.57	7	215.50	279.79
34916	240	0.591	48.1	48.3	48.2	20.3	4220.37	4202.90	4211.62	4211.63	7	231.50	300.57
30-mar	240	0.591	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	7	216.40	280.96
34719	280	0.566	49	49.3	49.1	20.3	4142.86	4117.65	4134.42	4131.64	28	249.20	323.55
34719	280	0.566	45.9	45.8	45.8	20.3	4422.66	4432.31	4432.31	4429.10	28	250.10	324.72
34720	300	0.545	45.4	45.2	45.2	20.3	4471.37	4491.15	4491.15	4484.56	28	297.90	386.78
34720	300	0.545	45.2	45	45.1	20.3	4491.15	4511.11	4501.11	4501.12	28	300.00	389.50
34721	240	0.593	46	46.2	46.3	20.3	4413.04	4393.94	4384.45	4397.14	28	264.10	342.89
34721	240	0.593	45.9	46.4	46.4	20.3	4422.66	4375.00	4375.00	4390.89	28	260.00	337.57
34722	240	0.591	47.9	47.9	48.1	20.3	4238.00	4238.00	4220.37	4232.12	28	239.60	311.08
34722	240	0.591	48	48.3	48.4	20.3	4229.17	4202.90	4194.21	4208.76	28	237.50	308.36
34723	400	0.48	44.7	44.5	44.5	20.3	4541.39	4561.80	4561.80	4554.99	28	374.30	485.97
34723	400	0.48	44.5	44.4	44.5	20.3	4561.80	4572.07	4561.80	4565.22	28	376.80	489.22
34724	400	0.48	44.3	44.4	44.3	20.3	4582.39	4572.07	4582.39	4578.95	28	383.10	497.40
34724	400	0.48	43.1	43	43	20.3	4709.98	4720.93	4720.93	4717.28	28	384.60	499.34
34725	210	0.612	47.3	47	47	20.3	4291.75	4319.15	4319.15	4310.02	28	166.50	216.17
34725	210	0.612	47.6	47.4	47.4	20.3	4264.71	4282.70	4282.70	4276.70	28	168.20	218.38
34726	400	0.48	44	44	44.1	20.3	4613.64	4613.64	4603.17	4610.15	28	358.90	465.98
34726	400	0.48	44.2	44.5	43.9	20.3	4592.76	4561.80	4624.15	4592.90	28	351.50	456.37
34730	350	0.514	45.3	45.2	45.4	20.3	4481.24	4491.15	4471.37	4481.25	28	315.10	409.11
34730	350	0.514	45.3	45.3	45.3	20.3	4481.24	4481.24	4481.24	4481.24	28	316.70	411.19
34731	300	0.547	46.1	46	46	20.3	4403.47	4413.04	4413.04	4409.85	28	306.10	397.42
34731	300	0.547	47.1	46.8	46.8	20.3	4309.98	4337.61	4337.61	4328.40	28	300.00	389.50
34732	240	0.591	45.8	45.9	46	20.3	4432.31	4422.66	4413.04	4422.67	28	283.60	368.21
34732	240	0.591	46.5	46.5	46.5	20.3	4365.59	4365.59	4365.59	4365.59	28	280.10	363.67
34940	300	0.545	51.3	51.3	51.3	20.3	3957.12	3957.12	3957.12	3957.12	3	163.30	212.02
34941	210	0.614	52.7	52.4	52.9	20.3	3851.99	3874.05	3837.43	3854.49	3	110.20	143.08

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[dias]	kN	[kg/cm2]
34942	250	0.596	53.2	53	53.1	20.3	3815.79	3830.19	3822.98	3822.98	3	126.30	163.98
34943	280	0.566	51.8	51.5	51.6	20.3	3918.92	3941.75	3934.11	3931.59	3	142.20	184.63
34944	300	0.547	53.5	53.3	53	20.3	3794.39	3808.63	3830.19	3811.07	3	142.50	185.01
34945	350	0.51	51.3	51.2	51.2	20.3	3957.12	3964.84	3964.84	3962.27	3	168.00	218.12
34948	240	0.593	51.3	51.1	51.2	20.3	3957.12	3972.60	3964.84	3964.85	3	135.60	176.06
34951	300	0.551	50.3	50.8	50.4	20.3	4035.79	3996.06	4027.78	4019.88	3	187.70	243.70
34953	350	0.508	50.3	50.3	50.4	20.3	4035.79	4035.79	4027.78	4033.12	3	169.70	220.33
34918	300	0.545	49.7	49.8	49.6	20.3	4084.51	4076.31	4092.74	4084.52	7	208.10	270.19
34919	240	0.593	52.4	52.3	52.4	20.3	3874.05	3881.45	3874.05	3876.51	7	150.10	194.88
34920	250	0.594	52.4	51.9	51.9	20.3	3874.05	3911.37	3911.37	3898.93	7	167.40	217.34
34921	240	0.593	49.4	49.2	49.3	20.3	4109.31	4126.02	4117.65	4117.66	7	160.00	207.74
34922	210	0.612	51	50.9	51	20.3	3980.39	3988.21	3980.39	3983.00	7	161.00	209.03
34923	180	0.648	52.4	52.4	52.4	20.3	3874.05	3874.05	3874.05	3874.05	7	126.20	163.85
34925	350	0.508	48.7	48.6	48.7	20.3	4168.38	4176.95	4168.38	4171.24	7	222.00	288.23
34926	350	0.514	49.1	48.9	48.8	20.3	4134.42	4151.33	4159.84	4148.53	7	249.70	324.20
34927	140	0.69	51.4	51.5	51.2	20.3	3949.42	3941.75	3964.84	3952.00	7	120.00	155.80
34733	240	0.593	45.6	45.8	45.5	20.3	4451.75	4432.31	4461.54	4448.54	28	199.40	258.89
34733	240	0.593	45.9	45.7	45.8	20.3	4422.66	4442.01	4432.31	4432.33	28	190.20	246.95
34734	210	0.612	48.3	48.2	47.9	20.3	4202.90	4211.62	4238.00	4217.50	28	139.80	181.51
34734	210	0.612	49.3	49.7	49.4	20.3	4117.65	4084.51	4109.31	4103.82	28	142.50	185.01
34735	400	0.48	42.9	42.4	42.8	20.3	4731.93	4787.74	4742.99	4754.22	28	304.40	395.22
34735	400	0.48	42.3	42.2	42.2	20.3	4799.05	4810.43	4810.43	4806.64	28	312.80	406.12
34736	180	0.648	47.5	47	47.2	20.3	4273.68	4319.15	4300.85	4297.89	28	188.10	244.22
34736	180	0.648	47.3	47.3	47.5	20.3	4291.75	4291.75	4273.68	4285.73	28	179.20	232.66
34737	350	0.514	42.3	42.3	42.3	20.3	4799.05	4799.05	4799.05	4799.05	28	403.50	523.88
34737	350	0.514	43.1	42.9	43.1	20.3	4709.98	4731.93	4709.98	4717.30	28	409.00	531.02
34738	400	0.48	45.8	45.2	45.3	20.3	4432.31	4491.15	4481.24	4468.23	28	340.00	441.44
34738	400	0.48	46.2	45.9	46.2	20.3	4393.94	4422.66	4393.94	4403.51	28	345.00	447.93
34739	240	0.591	46.8	46.4	46.7	20.3	4337.61	4375.00	4346.90	4353.17	28	314.00	407.68
34739	240	0.591	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	308.70	400.80
34740	325	0.53	46.3	46.3	46.1	20.3	4384.45	4384.45	4403.47	4390.79	28	297.10	385.74
34740	325	0.53	46	45.9	45.9	20.3	4413.04	4422.66	4422.66	4419.45	28	301.50	391.45
34741	300	0.545	45.9	45.9	46.1	20.3	4422.66	4422.66	4403.47	4416.26	28	305.10	396.13
34741	300	0.545	45.5	45.3	45.4	20.3	4461.54	4481.24	4471.37	4471.38	28	310.40	403.01
34742	140	0.69	48.4	48.2	48	20.3	4194.21	4211.62	4229.17	4211.67	28	161.20	209.29

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34742	140	0.69	48.3	48.1	48.4	20.3	4202.90	4220.37	4194.21	4205.83	28	162.40	210.85
34743	240	0.591	46.8	47.1	46.9	20.3	4337.61	4309.98	4328.36	4325.31	28	340.60	442.22
34743	240	0.591	47.3	47.1	47	20.3	4291.75	4309.98	4319.15	4306.96	28	238.50	309.66
34744	240	0.591	46.2	46.2	46.3	20.3	4393.94	4393.94	4384.45	4390.78	28	305.60	396.78
34744	240	0.591	47.5	47.3	47.2	20.3	4273.68	4291.75	4300.85	4288.76	28	301.00	390.80
34745	280	0.564	48.4	48.4	48.2	20.3	4194.21	4194.21	4211.62	4200.02	28	234.20	304.07
34745	280	0.564	48.2	48.1	48.2	20.3	4211.62	4220.37	4211.62	4214.54	28	226.00	293.43
34746	210	0.614	48.4	48.3	48.3	20.3	4194.21	4202.90	4202.90	4200.00	28	234.20	304.07
34746	210	0.614	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	248.50	322.64
34954	180	0.651	50.9	50.8	50.8	20.3	3988.21	3996.06	3996.06	3993.45	3	102.00	132.43
34955	210	0.612	52	51.9	51.7	20.3	3903.85	3911.37	3926.50	3913.90	3	111.20	144.38
34956	240	0.591	51.8	51.6	51.4	20.3	3918.92	3934.11	3949.42	3934.15	3	173.90	225.78
34957	350	0.514	51.9	51.8	51.8	20.3	3911.37	3918.92	3918.92	3916.40	3	169.90	220.59
34958	300	0.547	52.3	52.3	52	20.3	3881.45	3881.45	3903.85	3888.92	3	128.50	166.84
34959	240	0.593	51.8	51.8	51.8	20.3	3918.92	3918.92	3918.92	3918.92	3	128.40	166.71
34960	300	0.545	50.8	50.6	50.8	20.3	3996.06	4011.86	3996.06	4001.33	3	167.30	217.21
34961	210	0.614	53.5	53.7	53.6	20.3	3794.39	3780.26	3787.31	3787.32	3	120.70	156.71
34962	350	0.508	49.5	49.3	49.3	20.3	4101.01	4117.65	4117.65	4112.10	3	181.50	235.65
34963	280	0.566	49.8	49.7	49.7	20.3	4076.31	4084.51	4084.51	4081.77	3	159.20	206.70
34928	240	0.593	51.8	51.8	51.7	20.3	3918.92	3918.92	3926.50	3921.45	7	165.30	214.62
34929	300	0.547	48.8	48.6	48.8	20.3	4159.84	4176.95	4159.84	4165.54	7	198.60	257.85
34930	240	0.593	48.9	48.8	48.8	20.3	4151.33	4159.84	4159.84	4157.00	7	164.80	213.97
34931	350	0.508	47.8	47.7	47.8	20.3	4246.86	4255.77	4246.86	4249.83	7	208.20	270.32
34932	350	0.514	48.6	48.4	48.4	20.3	4176.95	4194.21	4194.21	4188.46	7	187.30	243.18
34933	240	-	49.4	49.3	49.3	20.3	4109.31	4117.65	4117.65	4114.87	7	160.60	208.51
34934	300	0.545	49.3	49.1	48.9	20.3	4117.65	4134.42	4151.33	4134.47	7	186.00	241.49
34935	180	0.648	54.5	54.5	54.7	20.3	3724.77	3724.77	3711.15	3720.23	7	106.90	138.79
34936	210	0.612	49.5	49.7	49.6	20.3	4101.01	4084.51	4092.74	4092.75	7	134.10	174.11
34937	280	0.566	50.7	50.5	49.9	20.3	4003.94	4019.80	4068.14	4030.63	7	203.60	264.34
34938	240	0.591	50.4	50	50.4	20.3	4027.78	4060.00	4027.78	4038.52	7	191.40	248.50
34939	280	0.566	50.1	49.8	49.9	20.3	4051.90	4076.31	4068.14	4065.45	7	197.30	256.16
34747	250	0.594	47.3	47.4	47.3	20.3	4291.75	4282.70	4291.75	4288.74	28	221.00	286.93
34747	250	0.594	47.6	47.6	47.7	20.3	4264.71	4264.71	4255.77	4261.73	28	224.00	290.83
34748	240	0.593	46.5	46.5	46.5	20.3	4365.59	4365.59	4365.59	4365.59	28	237.20	307.97
34748	240	0.593	46.8	46.6	46.5	20.3	4337.61	4356.22	4365.59	4353.14	28	236.50	307.06

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34749	300	0.547	45.7	45.8	45.7	20.3	4442.01	4432.31	4442.01	4438.78	28	315.10	409.11
34749	300	0.547	46.2	46	46.1	20.3	4393.94	4413.04	4403.47	4403.48	28	310.00	402.49
34750	400	0.48	44.8	44.5	44.4	20.3	4531.25	4561.80	4572.07	4555.04	28	401.20	520.90
34750	400	0.48	43.8	43.6	43.9	20.3	4634.70	4655.96	4624.15	4638.27	28	406.70	528.04
34751	400	0.48	42.8	42.9	42.8	20.3	4742.99	4731.93	4742.99	4739.31	28	408.40	530.25
34751	400	0.48	43.4	43.4	43.3	20.3	4677.42	4677.42	4688.22	4681.02	28	400.00	519.34
34752	300	0.545	46.3	46	46.3	20.3	4384.45	4413.04	4384.45	4393.98	28	295.40	383.53
34752	300	0.545	45.2	45.5	45.3	20.3	4491.15	4461.54	4481.24	4477.98	28	297.90	386.78
34753	210	0.612	46.9	46.9	46.9	20.3	4328.36	4328.36	4328.36	4328.36	28	212.60	276.03
34753	210	0.612	47.5	47.7	47.5	20.3	4273.68	4255.77	4273.68	4267.71	28	211.10	274.08
34754	400	0.48	42.8	42.6	42.6	20.3	4742.99	4765.26	4765.26	4757.84	28	410.10	532.45
34754	400	0.48	44.8	44.8	44.9	20.3	4531.25	4531.25	4521.16	4527.89	28	409.30	531.41
34755	240	0.591	44.9	45.2	44.9	20.3	4521.16	4491.15	4521.16	4511.16	28	241.80	313.94
34755	240	0.591	46.9	46.8	46.8	20.3	4328.36	4337.61	4337.61	4334.52	28	249.30	323.68
34756	280	0.566	45.9	45.5	45.5	20.3	4422.66	4461.54	4461.54	4448.58	28	285.70	370.94
34756	280	0.566	44.8	44.9	44.9	20.3	4531.25	4521.16	4521.16	4524.52	28	287.10	372.76
34757	300	0.551	48.8	48.9	48.1	20.3	4159.84	4151.33	4220.37	4177.18	28	304.20	394.96
34757	300	0.551	45.7	45.5	45.5	20.3	4442.01	4461.54	4461.54	4455.03	28	306.50	397.94
34758	280	0.566	45.9	45.7	45.7	20.3	4422.66	4442.01	4442.01	4435.56	28	296.50	384.96
34758	280	0.566	46.8	46.7	46.7	20.3	4337.61	4346.90	4346.90	4343.80	28	298.70	387.82
34759	240	0.591	45.8	45.6	45.6	20.3	4432.31	4451.75	4451.75	4445.27	28	301.00	390.80
34759	240	0.591	46.4	46.4	46.4	20.3	4375.00	4375.00	4375.00	4375.00	28	300.60	390.28
34760	280	0.564	49.7	49.5	49.5	20.3	4084.51	4101.01	4101.01	4095.51	28	231.40	300.44
34760	280	0.564	45.8	45.7	45.7	20.3	4432.31	4442.01	4442.01	4438.78	28	236.70	307.32
34983	300	0.547	47.3	47.3	47.3	20.3	4291.75	4291.75	4291.75	4291.75	3	211.00	273.95
34983	300	0.545	48.1	48.1	48.1	20.3	4220.37	4220.37	4220.37	4220.37	3	179.60	233.18
34984	240	0.591	51.2	51.2	51.2	20.3	3964.84	3964.84	3964.84	3964.84	3	126.30	163.98
34986	210	0.612	51.3	51.2	51.3	20.3	3957.12	3964.84	3957.12	3959.69	3	104.40	135.55
34987	300	0.545	47.3	47.3	47.3	20.3	4291.75	4291.75	4291.75	4291.75	3	239.90	311.47
34988	280	0.566	50.3	50.3	50.3	20.3	4035.79	4035.79	4035.79	4035.79	3	186.60	242.27
34989	180	0.648	52.1	52	52	20.3	3896.35	3903.85	3903.85	3901.35	3	176.00	228.51
34990	240	0.591	53.2	53.1	53.1	20.3	3815.79	3822.98	3822.98	3820.58	3	133.10	172.81
34991	210	0.612	55.3	55.2	55.2	20.3	3670.89	3677.54	3677.54	3675.32	3	106.20	137.88
34992	240	0.591	54.2	54.2	54.2	20.3	3745.39	3745.39	3745.39	3745.39	3	142.90	185.53
34993	210	0.614	54	54	54	20.3	3759.26	3759.26	3759.26	3759.26	3	120.50	156.45

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34994	350	0.508	55.3	55.2	55.3	20.3	3670.89	3677.54	3670.89	3673.10	3	145.50	188.91
34995	350	0.508	52.8	52.7	52.7	20.3	3844.70	3851.99	3851.99	3849.56	3	161.60	209.81
34996	240	0.593	52.1	52.2	52.1	20.3	3896.35	3888.89	3896.35	3893.87	3	122.80	159.44
34997	280	0.566	53.2	53.3	53.3	20.3	3815.79	3808.63	3808.63	3811.02	3	130.90	169.95
34998	280	0.566	52.3	52.2	52.2	20.3	3881.45	3888.89	3888.89	3886.41	3	145.20	188.52
34999	250	0.594	51.3	51.3	51.3	20.3	3957.12	3957.12	3957.12	3957.12	3	135.40	175.80
35000	180	0.651	54.8	54.7	54.8	20.3	3704.38	3711.15	3704.38	3706.64	3	119.70	155.41
35001	300	0.547	51.2	51.2	51.2	20.3	3964.84	3964.84	3964.84	3964.84	3	160.50	208.38
35002	350	0.51	49.7	49.6	49.7	20.3	4084.51	4092.74	4084.51	4087.25	3	170.00	220.72
35003	180	0.648	51.3	51.2	51.2	20.3	3957.12	3964.84	3964.84	3962.27	3	141.70	183.98
35004	280	0.566	52.2	52.2	52.1	20.3	3888.89	3888.89	3896.35	3891.38	3	155.70	202.15
34940	300	0.545	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	7	212.60	276.03
34941	210	0.614	50.1	50.1	50.1	20.3	4051.90	4051.90	4051.90	4051.90	7	155.70	202.15
34942	250	0.596	52.2	52.3	52.3	20.3	3888.89	3881.45	3881.45	3883.93	7	159.70	207.35
34943	280	0.566	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	7	185.50	240.84
34944	300	0.547	49.2	49	49	20.3	4126.02	4142.86	4142.86	4137.24	7	213.70	277.46
34945	350	0.51	48.2	48.3	48.2	20.3	4211.62	4202.90	4211.62	4208.71	7	206.90	268.63
34946	210	0.612	49.2	49.2	49.1	20.3	4126.02	4126.02	4134.42	4128.82	7	132.90	172.55
34947	180	0.648	50.1	50.1	50.1	20.3	4051.90	4051.90	4051.90	4051.90	7	136.30	176.96
34948	240	0.593	49.2	49.3	49.3	20.3	4126.02	4117.65	4117.65	4120.44	7	181.10	235.13
34949	180	0.648	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	7	145.10	188.39
34950	240	0.591	50.3	50.4	50.3	20.3	4035.79	4027.78	4035.79	4033.12	7	204.10	264.99
34951	300	0.551	46	46	46.1	20.3	4413.04	4413.04	4403.47	4409.85	7	248.70	322.90
34953	350	0.508	47.1	47	47.1	20.3	4309.98	4319.15	4309.98	4313.04	7	247.90	321.86
34772	240	0.591	47.8	47.8	47.8	20.3	4246.86	4246.86	4246.86	4246.86	28	276.30	358.73
34772	240	0.591	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	28	270.10	350.68
34773	210	0.614	46.9	46.9	46.9	20.3	4328.36	4328.36	4328.36	4328.36	28	225.70	293.04
34773	210	0.614	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	228.90	297.19
34774	210	0.612	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	28	206.10	267.59
34774	210	0.612	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	28	205.40	266.68
34775	240	0.591	48	48.1	48.1	20.3	4229.17	4220.37	4220.37	4223.31	28	250.10	324.72
34775	240	0.591	48.9	48.9	48.9	20.3	4151.33	4151.33	4151.33	4151.33	28	248.70	322.90
34776	350	0.514	46.6	46.6	46.6	20.3	4356.22	4356.22	4356.22	4356.22	28	325.00	421.96
34776	350	0.514	45.3	45.2	45.2	20.3	4481.24	4491.15	4491.15	4487.85	28	329.60	427.94
35005	300	0.545	50.8	50.8	50.8	20.3	3996.06	3996.06	3996.06	3996.06	3	137.30	178.26

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
35006	240	0.593	50.8	50.8	50.8	20.3	3996.06	3996.06	3996.06	3996.06	3	129.20	167.75
35007	180	0.648	53.7	53.7	53.7	20.3	3780.26	3780.26	3780.26	3780.26	3	83.50	108.41
34954	180	0.651	49.8	49.8	49.8	20.3	4076.31	4076.31	4076.31	4076.31	7	139.50	181.12
34955	210	0.612	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	7	152.90	198.52
34956	240	0.591	47.8	47.8	47.8	20.3	4246.86	4246.86	4246.86	4246.86	7	230.60	299.40
34957	350	0.514	48.8	48.8	48.8	20.3	4159.84	4159.84	4159.84	4159.84	7	206.90	268.63
34958	300	0.547	49.7	49.7	49.7	20.3	4084.51	4084.51	4084.51	4084.51	7	175.00	227.21
34959	240	0.593	48.8	48.8	48.8	20.3	4159.84	4159.84	4159.84	4159.84	7	172.00	223.32
34960	300	0.545	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	7	221.00	286.93
34961	210	0.614	48.8	48.8	48.8	20.3	4159.84	4159.84	4159.84	4159.84	7	161.80	210.07
34962	350	0.508	47.9	47.9	47.9	20.3	4238.00	4238.00	4238.00	4238.00	7	233.90	303.68
34963	280	0.566	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	7	208.40	270.58
34779	240	0.593	46.2	46.2	46.3	20.3	4393.94	4393.94	4384.45	4390.78	28	270.30	350.94
34779	240	0.593	49.6	49.6	49.6	20.3	4092.74	4092.74	4092.74	4092.74	28	269.50	349.90
34780	210	0.612	47.9	47.9	47.9	20.3	4238.00	4238.00	4238.00	4238.00	28	240.00	311.60
34780	210	0.612	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	28	241.50	313.55
34781	350	0.508	45.2	45.2	45.2	20.3	4491.15	4491.15	4491.15	4491.15	28	322.10	418.20
34781	350	0.508	47.2	47.1	47.2	20.3	4300.85	4309.98	4300.85	4303.89	28	320.00	415.47
34782	400	0.48	44.8	44.8	44.8	20.3	4531.25	4531.25	4531.25	4531.25	28	357.60	464.29
34782	400	0.48	43.6	43.6	43.6	20.3	4655.96	4655.96	4655.96	4655.96	28	358.40	465.33
34783	240	0.591	46.7	46.6	46.7	20.3	4346.90	4356.22	4346.90	4350.00	28	238.90	310.18
34783	240	0.591	46.7	46.7	46.7	20.3	4346.90	4346.90	4346.90	4346.90	28	238.40	309.53
34784	280	0.564	47.5	47.5	47.5	20.3	4273.68	4273.68	4273.68	4273.68	28	256.20	332.64
34784	280	0.564	47.3	47.3	47.3	20.3	4291.75	4291.75	4291.75	4291.75	28	257.40	334.19
34785	280	0.566	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	270.00	350.55
34785	280	0.566	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	28	272.50	353.80
34787	210	0.614	46.6	46.7	46.6	20.3	4356.22	4346.90	4356.22	4353.11	28	236.70	307.32
34787	210	0.614	47.3	47.4	47.4	20.3	4291.75	4282.70	4282.70	4285.72	28	229.50	297.97
34788	300	0.545	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	361.90	469.87
34788	300	0.545	45.7	45.7	45.7	20.3	4442.01	4442.01	4442.01	4442.01	28	268.60	348.74
34789	240	0.609	45.7	45.7	45.7	20.3	4442.01	4442.01	4442.01	4442.01	28	270.00	350.55
34789	240	0.609	46.3	46.3	46.3	20.3	4384.45	4384.45	4384.45	4384.45	28	268.50	348.61
34790	240	0.593	46.6	46.6	46.6	20.3	4356.22	4356.22	4356.22	4356.22	28	259.30	336.66
34790	240	0.593	46.4	46.5	46.5	20.3	4375.00	4365.59	4365.59	4368.73	28	260.10	337.70
34964	210	0.612	48.3	48.3	48.3	20.3	4202.90	4202.90	4202.90	4202.90	7	174.90	227.08

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34965	300	0.545	48.5	48.5	48.5	20.3	4185.57	4185.57	4185.57	4185.57	7	188.50	244.74
34966	180	0.648	51.4	51.4	51.4	20.3	3949.42	3949.42	3949.42	3949.42	7	146.30	189.95
34967	350	0.508	50	50	50	20.3	4060.00	4060.00	4060.00	4060.00	7	218.10	283.17
34968	240	0.591	51.3	51.3	51.3	20.3	3957.12	3957.12	3957.12	3957.12	7	149.00	193.45
34969	350	0.508	47.6	47.5	47.6	20.3	4264.71	4273.68	4264.71	4267.70	7	271.30	352.24
34970	250	0.594	49.1	49.1	49.1	20.3	4134.42	4134.42	4134.42	4134.42	7	193.50	251.23
34971	210	0.614	49.5	49.6	49.6	20.3	4101.01	4092.74	4092.74	4095.50	7	154.20	200.21
34972	280	0.566	50.4	50.4	50.4	20.3	4027.78	4027.78	4027.78	4027.78	7	168.90	219.29
34973	280	0.564	48.9	48.9	49	20.3	4151.33	4151.33	4142.86	4148.51	7	192.40	249.80
34974	240	0.593	49.5	49.5	49.5	20.3	4101.01	4101.01	4101.01	4101.01	7	171.70	222.93
34975	240	0.593	50	50	50	20.3	4060.00	4060.00	4060.00	4060.00	7	166.90	216.69
34976	140	0.69	53.5	53.4	53.5	20.3	3794.39	3801.50	3794.39	3796.76	7	97.50	126.59
34792	210	0.612	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	205.10	266.29
34792	210	0.612	47.1	47.1	47	20.3	4309.98	4309.98	4319.15	4313.04	28	206.40	267.98
34793	240	0.596	49.3	49.3	49.3	20.3	4117.65	4117.65	4117.65	4117.65	28	158.50	205.79
34793	240	0.596	48.5	48.5	48.5	20.3	4185.57	4185.57	4185.57	4185.57	28	157.20	204.10
34794	280	0.564	48	48	48	20.3	4229.17	4229.17	4229.17	4229.17	28	250.90	325.76
34794	280	0.564	47.1	47.2	47.1	20.3	4309.98	4300.85	4309.98	4306.93	28	251.30	326.27
34795	240	0.593	48.2	48.3	48.2	20.3	4211.62	4202.90	4211.62	4208.71	28	236.50	307.06
34795	240	0.593	48.2	48.2	48.2	20.3	4211.62	4211.62	4211.62	4211.62	28	237.40	308.23
34796	300	0.545	45.5	45.5	45.5	20.3	4461.54	4461.54	4461.54	4461.54	28	298.30	387.30
34796	300	0.545	45.6	45.5	45.6	20.3	4451.75	4461.54	4451.75	4455.02	28	296.10	384.44
34797	280	0.564	46.5	46.4	46.5	20.3	4365.59	4375.00	4365.59	4368.73	28	272.00	353.15
34797	280	0.564	47.1	47.1	47.1	20.3	4309.98	4309.98	4309.98	4309.98	28	270.40	351.07
34798	300	0.545	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	286.70	372.24
34798	300	0.545	47.7	47.6	47.7	20.3	4255.77	4264.71	4255.77	4258.75	28	280.10	363.67
34799	240	0.591	48.1	48.1	48.1	20.3	4220.37	4220.37	4220.37	4220.37	28	234.20	304.07
34799	240	0.591	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	232.10	301.35
34800	210	0.614	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	230.10	298.75
34800	210	0.614	46.4	46.4	46.4	20.3	4375.00	4375.00	4375.00	4375.00	28	235.90	306.28
34802	350	0.514	45.9	45.9	45.9	20.3	4422.66	4422.66	4422.66	4422.66	28	341.50	443.39
34802	350	0.514	46	46	46	20.3	4413.04	4413.04	4413.04	4413.04	28	340.00	441.44
34803	240	0.591	47	47	47	20.3	4319.15	4319.15	4319.15	4319.15	28	280.10	363.67
34803	240	0.591	47.6	47.6	47.6	20.3	4264.71	4264.71	4264.71	4264.71	28	276.70	359.25
34804	180	0.646	47.8	47.8	47.8	20.3	4246.86	4246.86	4246.86	4246.86	28	196.90	255.64

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34804	180	0.646	48	47.9	47.9	20.3	4229.17	4238.00	4238.00	4235.05	28	197.80	256.81
35008	210	0.612	50.9	50.8	50.9	20.3	3988.21	3996.06	3988.21	3990.83	3	125.00	162.29
35009	240	0.593	52	52	52	20.3	3903.85	3903.85	3903.85	3903.85	3	145.90	189.43
35010	280	0.566	50.9	50.9	50.9	20.3	3988.21	3988.21	3988.21	3988.21	3	154.20	200.21
35011	240	0.593	50.4	50.4	50.4	20.3	4027.78	4027.78	4027.78	4027.78	3	177.30	230.20
35012	300	0.545	52.7	52.8	52.7	20.3	3851.99	3844.70	3851.99	3849.56	3	171.20	222.28
35013	350	0.508	51.5	51.5	51.5	20.3	3941.75	3941.75	3941.75	3941.75	3	194.60	252.66
35014	300	0.547	51.9	52	51.9	20.3	3911.37	3903.85	3911.37	3908.86	3	162.20	210.59
35014	300	0.547	51.6	51.6	51.6	20.3	3934.11	3934.11	3934.11	3934.11	3	166.10	215.66
35015	400	0.478	51.8	51.8	51.8	20.3	3918.92	3918.92	3918.92	3918.92	3	190.50	247.34
35016	240	0.591	55.8	55.7	55.8	20.3	3637.99	3644.52	3637.99	3640.17	3	109.50	142.17
35017	180	0.648	53.6	53.6	53.6	20.3	3787.31	3787.31	3787.31	3787.31	3	112.00	145.41
35018	350	0.514	50.8	50.8	50.8	20.3	3996.06	3996.06	3996.06	3996.06	3	159.30	206.83
35019	180	0.648	52.9	53	53	20.3	3837.43	3830.19	3830.19	3832.60	3	128.00	166.19
34977	240	0.593	50	50	50.1	20.3	4060.00	4060.00	4051.90	4057.30	7	151.50	196.70
34978	210	0.614	50.8	50.7	50.8	20.3	3996.06	4003.94	3996.06	3998.69	7	148.70	193.06
34979	350	0.508	50	50	50	20.3	4060.00	4060.00	4060.00	4060.00	7	174.50	226.56
34980	240	0.593	49.9	49.9	50	20.3	4068.14	4068.14	4060.00	4065.42	7	169.50	220.07
34981	300	0.547	49.7	49.8	49.7	20.3	4084.51	4076.31	4084.51	4081.77	7	196.40	255.00
34982	240	0.609	48.3	48.3	48.3	20.3	4202.90	4202.90	4202.90	4202.90	7	246.80	320.43
34983	300	0.545	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	7	210.60	273.43
34984	240	0.591	49.8	49.8	49.8	20.3	4076.31	4076.31	4076.31	4076.31	7	167.60	217.60
34985	350	0.51	47.6	47.6	47.6	20.3	4264.71	4264.71	4264.71	4264.71	7	281.50	365.48
34986	210	0.612	51.7	51.6	51.7	20.3	3926.50	3934.11	3926.50	3929.04	7	156.30	202.93
34987	350	0.508	46	46	46	20.3	4413.04	4413.04	4413.04	4413.04	7	295.60	383.79
34988	280	0.566	49.1	49.1	49.1	20.3	4134.42	4134.42	4134.42	4134.42	7	173.80	225.65
34989	180	0.648	49	49	49	20.3	4142.86	4142.86	4142.86	4142.86	7	182.50	236.95
34990	240	0.591	50.3	50.4	50.3	20.3	4035.79	4027.78	4035.79	4033.12	7	165.10	214.36
34805	300	0.547	45.7	45.6	45.7	20.3	4442.01	4451.75	4442.01	4445.26	28	306.10	397.42
34805	300	0.547	45.1	45.1	45.1	20.3	4501.11	4501.11	4501.11	4501.11	28	310.00	402.49
34806	240	0.591	46.7	46.6	46.6	20.3	4346.90	4356.22	4356.22	4353.11	28	261.30	339.26
34806	240	0.591	46.9	46.9	46.9	20.3	4328.36	4328.36	4328.36	4328.36	28	260.00	337.57
34807	210	0.612	46.6	46.6	46.7	20.3	4356.22	4356.22	4346.90	4353.11	28	212.40	275.77
34807	210	0.612	48.9	48.8	48.9	20.3	4151.33	4159.84	4151.33	4154.16	28	210.60	273.43
34808	140	0.69	49.4	49.4	49.5	20.3	4109.31	4109.31	4101.01	4106.54	28	176.70	229.42

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
34808	140	0.69	50.5	50.5	50.5	20.3	4019.80	4019.80	4019.80	4019.80	28	172.50	223.97
34809	240	0.609	46	46	46	20.3	4413.04	4413.04	4413.04	4413.04	28	270.50	351.20
34809	240	0.609	45.9	46	45.9	20.3	4422.66	4413.04	4422.66	4419.45	28	275.20	357.31
34810	300	0.545	46.6	46.6	46.6	20.3	4356.22	4356.22	4356.22	4356.22	28	280.10	363.67
34810	300	0.545	46	46	46	20.3	4413.04	4413.04	4413.04	4413.04	28	282.60	366.91
34811	325	0.53	47.5	47.4	47.5	20.3	4273.68	4282.70	4273.68	4276.69	28	294.30	382.10
34811	325	0.53	48	48	48	20.3	4229.17	4229.17	4229.17	4229.17	28	290.90	377.69
34812	240	0.593	46.4	46.4	46.4	20.3	4375.00	4375.00	4375.00	4375.00	28	247.10	320.82
34812	240	0.593	45.9	45.9	45.9	20.3	4422.66	4422.66	4422.66	4422.66	28	250.60	325.37
34813	240	0.591	48	48	48	20.3	4229.17	4229.17	4229.17	4229.17	28	274.80	356.79
34813	240	0.591	46	46	45.9	20.3	4413.04	4413.04	4422.66	4416.25	28	275.60	357.82
34814	210	0.614	45.8	45.8	45.9	20.3	4432.31	4432.31	4422.66	4429.10	28	229.50	297.97
34814	210	0.614	45.5	45.5	45.5	20.3	4461.54	4461.54	4461.54	4461.54	28	230.00	298.62
34815	240	0.591	46.5	46.5	46.5	20.3	4365.59	4365.59	4365.59	4365.59	28	284.60	369.51
34815	240	0.591	46.7	46.7	46.7	20.3	4346.90	4346.90	4346.90	4346.90	28	281.60	365.61
34816	240	0.593	45.9	45.9	45.9	20.3	4422.66	4422.66	4422.66	4422.66	28	276.30	358.73
34816	240	0.593	46.6	46.5	46.5	20.3	4356.22	4365.59	4365.59	4362.47	28	271.80	352.89
34817	240	0.593	46.5	46.5	46.5	20.3	4365.59	4365.59	4365.59	4365.59	28	280.00	363.54
34817	240	0.593	46.9	46.9	46.9	20.3	4328.36	4328.36	4328.36	4328.36	28	278.60	361.72
34818	250	0.596	46.9	46.9	46.8	20.3	4328.36	4328.36	4337.61	4331.44	28	260.10	337.70
34818	250	0.596	46.5	46.6	46.6	20.3	4365.59	4356.22	4356.22	4359.35	28	264.60	343.54
34819	210	0.614	47.1	47.2	47.1	20.3	4309.98	4300.85	4309.98	4306.93	28	215.30	279.53
34819	210	0.614	46.5	46.6	46.5	20.3	4365.59	4356.22	4365.59	4362.47	28	218.90	284.21
34820	350	0.514	45.6	45.6	45.7	20.3	4451.75	4451.75	4442.01	4448.51	28	298.70	387.82
34820	350	0.514	46	46	45.9	20.3	4413.04	4413.04	4422.66	4416.25	28	296.50	384.96
34821	210	0.612	48.9	48.9	48.9	20.3	4151.33	4151.33	4151.33	4151.33	28	197.60	256.55
34821	210	0.612	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	28	198.70	257.98
34822	280	0.564	45.8	45.8	45.8	20.3	4432.31	4432.31	4432.31	4432.31	28	255.30	331.47
34822	280	0.564	46	46	46	20.3	4413.04	4413.04	4413.04	4413.04	28	255.00	331.08
35045	300	0.547	48.9	48.8	48.9	20.3	4151.33	4159.84	4151.33	4154.16	3	222.10	288.36
35046	210	0.612	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	3	149.80	194.49
35047	400	0.478	47.8	47.8	47.7	20.3	4246.86	4246.86	4255.77	4249.83	3	248.50	322.64
35048	240	0.593	48.9	48.9	48.9	20.3	4151.33	4151.33	4151.33	4151.33	3	150.50	195.40
35049	300	0.545	48.4	48.3	48.3	20.3	4194.21	4202.90	4202.90	4200.00	3	180.70	234.61
35050	240	0.591	49.8	49.8	49.8	20.3	4076.31	4076.31	4076.31	4076.31	3	150.70	195.66

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
35051	250	0.594	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	3	180.60	234.48
35052	280	0.564	49.3	49.3	49.4	20.3	4117.65	4117.65	4109.31	4114.87	3	210.50	273.30
35053	180	0.648	48.8	48.7	48.8	20.3	4159.84	4168.38	4159.84	4162.68	3	156.20	202.80
35054	350	0.514	48.2	48.1	48.2	20.3	4211.62	4220.37	4211.62	4214.54	3	240.10	311.73
35055	280	0.566	48.9	48.9	48.9	20.3	4151.33	4151.33	4151.33	4151.33	3	186.40	242.01
35056	280	0.566	48.9	49	49	20.3	4151.33	4142.86	4142.86	4145.68	3	190.80	247.72
35008	210	0.612	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	7	169.70	220.33
35009	240	0.543	50.4	50.4	50.4	20.3	4027.78	4027.78	4027.78	4027.78	7	178.50	231.76
35010	280	0.512	49.1	49	49	20.3	4134.42	4142.86	4142.86	4140.04	7	205.10	266.29
35011	240	0.593	48.2	48.1	48.2	20.3	4211.62	4220.37	4211.62	4214.54	7	252.40	327.70
35012	300	0.545	49.4	49.4	49.4	20.3	4109.31	4109.31	4109.31	4109.31	7	245.10	318.23
35013	350	0.508	48.4	48.3	48.3	20.3	4194.21	4202.90	4202.90	4200.00	7	241.50	313.55
35014	300	0.499	48.4	48.3	48.3	20.3	4194.21	4202.90	4202.90	4200.00	7	220.70	286.55
35015	400	0.478	48.2	48.2	48.1	20.3	4211.62	4211.62	4220.37	4214.54	7	243.00	315.50
35016	240	0.591	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	7	145.80	189.30
35017	180	0.592	48.3	48.2	48.2	20.3	4202.90	4211.62	4211.62	4208.71	7	147.00	190.86
35018	350	0.514	45.4	45.4	45.4	20.3	4471.37	4471.37	4471.37	4471.37	7	260.10	337.70
35019	180	0.648	50	49.9	50	20.3	4060.00	4068.14	4060.00	4062.71	7	161.20	209.29
34832	240	0.591	47.2	47.2	47.1	20.3	4300.85	4300.85	4309.98	4303.89	28	240.50	312.25
34832	240	0.591	45.8	45.9	45.8	20.3	4432.31	4422.66	4432.31	4429.10	28	243.90	316.67
34833	300	0.547	45.4	45.4	45.3	20.3	4471.37	4471.37	4481.24	4474.66	28	322.50	418.72
34833	300	0.547	45.4	45.4	45.4	20.3	4471.37	4471.37	4471.37	4471.37	28	315.60	409.76
34834	210	0.612	47.3	47.4	47.4	20.3	4291.75	4282.70	4282.70	4285.72	28	216.50	281.09
34834	210	0.612	47.3	47.3	47.2	20.3	4291.75	4291.75	4300.85	4294.79	28	220.10	285.77
34835	210	0.614	47.4	47.4	47.4	20.3	4282.70	4282.70	4282.70	4282.70	28	276.50	358.99
34835	210	0.614	46.3	46.3	46.4	20.3	4384.45	4384.45	4375.00	4381.30	28	282.50	366.78
34836	240	0.591	46.4	46.3	46.3	20.3	4375.00	4384.45	4384.45	4381.30	28	321.20	417.03
34836	240	0.591	46.4	46.4	46.3	20.3	4375.00	4375.00	4384.45	4378.15	28	316.30	410.67
34837	240	0.591	46.9	46.9	46.9	20.3	4328.36	4328.36	4328.36	4328.36	28	285.60	370.81
34837	240	0.591	45.4	45.4	45.4	20.3	4471.37	4471.37	4471.37	4471.37	28	289.40	375.74
34838	300	0.545	46.6	46.5	46.6	20.3	4356.22	4365.59	4356.22	4359.35	28	276.30	358.73
34838	300	0.545	46.3	46.3	46.4	20.3	4384.45	4384.45	4375.00	4381.30	28	280.70	364.45
34839	240	0.593	46.9	46.8	46.8	20.3	4328.36	4337.61	4337.61	4334.52	28	257.50	334.32
34839	240	0.593	46.3	46.3	46.3	20.3	4384.45	4384.45	4384.45	4384.45	28	260.10	337.70
34840	180	0.648	47.3	47.3	47.3	20.3	4291.75	4291.75	4291.75	4291.75	28	226.30	293.82

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[dias]	kN	[kg/cm2]
34841	350	0.514	46.5	46.5	46.5	20.3	4365.59	4365.59	4365.59	4365.59	28	347.50	451.18
34841	350	0.514	47.1	47.2	47.1	20.3	4309.98	4300.85	4309.98	4306.93	28	339.20	440.40
35020	210	0.612	48.7	48.7	48.7	20.3	4168.38	4168.38	4168.38	4168.38	7	157.10	203.97
35021	300	0.545	49.5	49.5	49.5	20.3	4101.01	4101.01	4101.01	4101.01	7	198.30	257.46
35022	240	0.543	47.9	47.9	47.9	20.3	4238.00	4238.00	4238.00	4238.00	7	201.70	261.88
35023	240	0.593	47.5	47.5	47.5	20.3	4273.68	4273.68	4273.68	4273.68	7	186.40	242.01
35024	300	0.545	47.9	47.9	47.9	20.3	4238.00	4238.00	4238.00	4238.00	7	222.60	289.01
35025	240	0.591	50.5	50.4	50.5	20.3	4019.80	4027.78	4019.80	4022.46	7	196.30	254.87
35026	400	0.478	49.5	49.4	49.4	20.3	4101.01	4109.31	4109.31	4106.54	7	279.10	362.37
35027	180	0.592	49.7	49.7	49.7	20.3	4084.51	4084.51	4084.51	4084.51	7	167.10	216.95
35028	350	0.514	46.5	46.6	46.5	20.3	4365.59	4356.22	4365.59	4362.47	7	256.50	333.03
35029	240	0.609	51.5	51.5	51.5	20.3	3941.75	3941.75	3941.75	3941.75	7	225.10	292.26
35030	240	0.591	50.7	50.7	50.7	20.3	4003.94	4003.94	4003.94	4003.94	7	198.00	257.07
35031	280	0.566	49.7	49.7	49.6	20.3	4084.51	4084.51	4092.74	4087.25	7	218.10	283.17
En Obra	240	0.591	50.7	50.7	50.7	20.3	4003.94	4003.94	4003.94	4003.94	7	167.40	217.34
34842	300	0.545	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	307.20	398.85
34842	300	0.545	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	28	301.70	391.71
34843	240	0.593	47.3	47.3	47.3	20.3	4291.75	4291.75	4291.75	4291.75	28	286.40	371.85
34843	240	0.593	48.8	48.8	48.8	20.3	4159.84	4159.84	4159.84	4159.84	28	280.10	363.67
34844	180	0.646	47.7	47.7	47.7	20.3	4255.77	4255.77	4255.77	4255.77	28	201.30	261.36
34844	180	0.646	48.8	48.7	48.7	20.3	4159.84	4168.38	4168.38	4165.53	28	200.00	259.67
34845	210	0.612	47.2	47.2	47.2	20.3	4300.85	4300.85	4300.85	4300.85	28	215.00	279.14
34845	210	0.612	46.7	46.7	46.7	20.3	4346.90	4346.90	4346.90	4346.90	28	210.90	273.82
34846	240	0.591	47.8	47.8	47.8	20.3	4246.86	4246.86	4246.86	4246.86	28	199.30	258.76
34846	240	0.591	46.3	46.3	46.3	20.3	4384.45	4384.45	4384.45	4384.45	28	205.10	266.29
34849	300	0.545	45.7	45.7	45.7	20.3	4442.01	4442.01	4442.01	4442.01	28	345.00	447.93
34849	300	0.545	45.7	45.7	45.7	20.3	4442.01	4442.01	4442.01	4442.01	28	341.00	442.74
34850	240	0.593	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	250.90	325.76
34850	240	0.593	46.8	46.8	46.8	20.3	4337.61	4337.61	4337.61	4337.61	28	254.60	330.56
34851	350	0.514	45.4	45.4	45.4	20.3	4471.37	4471.37	4471.37	4471.37	28	235.90	306.28
34851	350	0.514	45.3	45.3	45.3	20.3	4481.24	4481.24	4481.24	4481.24	28	236.70	307.32
34852	300	0.545	49.8	49.9	49.8	20.3	4076.31	4068.14	4076.31	4073.58	28	122.60	159.18
35033	210	0.612	50.4	50.3	50.3	20.3	4027.78	4035.79	4035.79	4033.12	7	153.50	199.30
35034	300	0.499	48.4	48.5	48.4	20.3	4194.21	4185.57	4194.21	4191.33	7	213.60	277.33
35035	240	0.593	50.7	50.6	50.7	20.3	4003.94	4011.86	4003.94	4006.58	7	183.90	238.77

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
35036	300	0.545	48.1	48.1	48.1	20.3	4220.37	4220.37	4220.37	4220.37	7	223.70	290.44
35037	210	0.614	51.5	51.5	51.5	20.3	3941.75	3941.75	3941.75	3941.75	7	164.00	212.93
35038	350	0.51	48.6	48.5	48.6	20.3	4176.95	4185.57	4176.95	4179.83	7	192.20	249.54
35039	300	0.545	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	7	208.20	270.32
35040	350	0.514	47.5	47.5	47.5	20.3	4273.68	4273.68	4273.68	4273.68	7	259.60	337.05
35041	240	0.543	48	47.9	48	20.3	4229.17	4238.00	4229.17	4232.11	7	187.70	243.70
35042	400	0.478	46.4	46.3	46.4	20.3	4375.00	4384.45	4375.00	4378.15	7	284.20	368.99
35043	280	0.512	46.2	46.2	46.1	20.3	4393.94	4393.94	4403.47	4397.12	7	239.10	310.43
35044	210	0.565	48	48	48.1	20.3	4229.17	4229.17	4220.37	4226.24	7	178.30	231.50
34854	210	0.614	52.8	52.7	52.8	20.3	3844.70	3851.99	3844.70	3847.13	28	75.40	97.90
34854	210	0.614	53.2	53.2	53.2	20.3	3815.79	3815.79	3815.79	3815.79	28	72.90	94.65
34855	180	0.648	54.4	54.4	54.4	20.3	3731.62	3731.62	3731.62	3731.62	28	201.40	261.49
34855	180	0.648	53.2	53.2	53.2	20.3	3815.79	3815.79	3815.79	3815.79	28	202.20	262.53
34856	240	0.591	47	47	46.9	20.3	4319.15	4319.15	4328.36	4322.22	28	226.70	294.34
34856	240	0.591	49.5	49.5	49.5	20.3	4101.01	4101.01	4101.01	4101.01	28	224.10	290.96
34857	210	0.612	48.6	48.6	48.5	20.3	4176.95	4176.95	4185.57	4179.83	28	198.10	257.20
34857	210	0.612	48.4	48.4	48.4	20.3	4194.21	4194.21	4194.21	4194.21	28	199.40	258.89
34858	250	0.594	46.4	46.4	46.4	20.3	4375.00	4375.00	4375.00	4375.00	28	263.20	341.73
34858	250	0.594	46.1	46.2	46.1	20.3	4403.47	4393.94	4403.47	4400.29	28	264.70	343.67
34859	140	0.69	49.5	49.5	49.5	20.3	4101.01	4101.01	4101.01	4101.01	28	159.30	206.83
34859	140	0.69	50.6	50.7	50.7	20.3	4011.86	4003.94	4003.94	4006.58	28	158.10	205.27
34860	240	0.591	46.9	46.8	46.9	20.3	4328.36	4337.61	4328.36	4331.44	28	270.40	351.07
34860	240	0.591	47.1	47	47	20.3	4309.98	4319.15	4319.15	4316.09	28	276.30	358.73
34861	300	0.545	46.2	46.2	46.2	20.3	4393.94	4393.94	4393.94	4393.94	28	306.10	397.42
34862	350	0.514	45.2	45.2	45.2	20.3	4491.15	4491.15	4491.15	4491.15	28	325.40	422.48
35045	300	0.499	47.1	47.1	47.1	20.3	4309.98	4309.98	4309.98	4309.98	7	261.30	339.26
35046	210	0.612	49.6	49.6	49.6	20.3	4092.74	4092.74	4092.74	4092.74	7	172.70	224.22
35047	400	0.478	48.7	48.7	48.7	20.3	4168.38	4168.38	4168.38	4168.38	7	285.10	370.16
35048	240	0.593	49.6	49.6	49.6	20.3	4092.74	4092.74	4092.74	4092.74	7	208.10	270.19
35051	250	0.594	49.6	49.6	49.6	20.3	4092.74	4092.74	4092.74	4092.74	7	250.20	324.85
35052	280	0.564	49.3	49.4	49.4	20.3	4117.65	4109.31	4109.31	4112.09	7	264.20	343.02
35053	180	0.592	48.5	48.5	48.5	20.3	4185.57	4185.57	4185.57	4185.57	7	182.00	236.30
35054	350	0.514	48.7	48.7	48.6	20.3	4168.38	4168.38	4176.95	4171.24	7	275.10	357.18
35058	240	0.543	53.1	53.1	53	20.3	3822.98	3822.98	3830.19	3825.38	3	125.70	163.20
35059	210	0.614	55.5	55.5	55.5	20.3	3657.66	3657.66	3657.66	3657.66	3	110.20	143.08

HORMIGONERA "A" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[dias]	kN	[kg/cm2]
35061	300	0.545	51.3	51.3	51.3	20.3	3957.12	3957.12	3957.12	3957.12	3	167.10	216.95
35064	180	0.592	52.1	52.2	52.1	20.3	3896.35	3888.89	3896.35	3893.87	3	80.50	104.52
35065	280	0.566	51.5	51.5	51.5	20.3	3941.75	3941.75	3941.75	3941.75	3	160.10	207.87
35066	300	0.547	52.5	52.5	52.5	20.3	3866.67	3866.67	3866.67	3866.67	3	165.20	214.49
35067	400	0.478	50.2	50.3	50.3	20.3	4043.82	4035.79	4035.79	4038.47	3	207.10	268.89
35068	300	0.551	50.2	50.1	50.1	20.3	4043.82	4051.90	4051.90	4049.21	3	205.10	266.29
34863	180	0.648	50.2	50.3	50.2	20.3	4043.82	4035.79	4043.82	4041.14	28	145.70	189.17
34864	300	0.545	49.5	49.6	49.5	20.3	4101.01	4092.74	4101.01	4098.25	28	210.70	273.56
34865	240	0.591	48.1	48.2	48.2	20.3	4220.37	4211.62	4211.62	4214.54	28	170.90	221.89
34869	350	0.514	45.2	45.1	45.2	20.3	4491.15	4501.11	4491.15	4494.47	28	226.60	294.21
34871	280	0.566	44.6	44.5	44.5	20.3	4551.57	4561.80	4561.80	4558.39	28	250.80	325.63
34873	210	0.612	47.4	47.5	47.6	20.3	4282.70	4273.68	4264.71	4273.70	28	160.70	208.64
35069	300	0.499	49.1	49.1	49.1	20.3	4134.42	4134.42	4134.42	4134.42	3	184.90	240.06
35070	240	0.543	52.1	52.1	52	20.3	3896.35	3896.35	3903.85	3898.85	3	139.20	180.73
35072	210	0.612	52.7	52.7	52.7	20.3	3851.99	3851.99	3851.99	3851.99	3	120.40	156.32
35073	180	0.592	53.2	53.2	53.2	20.3	3815.79	3815.79	3815.79	3815.79	3	110.10	142.95
35074	300	0.545	51.2	51.2	51.1	20.3	3964.84	3964.84	3972.60	3967.43	3	160.50	208.38
35075	210	0.565	51.6	51.6	51.6	20.3	3934.11	3934.11	3934.11	3934.11	3	116.10	150.74
35076	350	0.508	51.6	51.6	51.6	20.3	3934.11	3934.11	3934.11	3934.11	3	168.90	219.29
35077	280	0.512	51.1	51.1	51	20.3	3972.60	3972.60	3980.39	3975.20	3	170.10	220.85
34874	240	0.593	48.2	48.2	48.2	20.3	4211.62	4211.62	4211.62	4211.62	28	227.70	295.63
34876	280	0.512	46.2	46.2	46.2	20.3	4393.94	4393.94	4393.94	4393.94	28	293.80	381.45
34878	300	0.499	47.6	47.6	47.6	20.3	4264.71	4264.71	4264.71	4264.71	28	260.10	337.70
34879	180	0.648	48.3	48.3	48.3	20.3	4202.90	4202.90	4202.90	4202.90	28	185.10	240.32
34882	250	0.594	48.5	48.4	48.5	20.3	4185.57	4194.21	4185.57	4188.45	28	224.60	291.61
34883	350	0.514	45.2	45.1	45.1	20.3	4491.15	4501.11	4501.11	4497.79	28	330.10	428.58
34886	210	0.612	47.6	47.6	47.6	20.3	4264.71	4264.71	4264.71	4264.71	28	196.80	255.51

Anexo 2: Resultados ensayo Hormigonera “B”

HORMIGONERA "B" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f' c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga kN	Resistencia [kg/cm2]
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]			
628	240	0.5	47.3	47.3	47.2	20.3	4284.71	4284.71	4293.79	4287.73	28	255.26	331.42
629	240	0.5	48.4	48.4	48.3	20.4	4187.33	4187.33	4196.00	4190.22	28	245.98	319.37
630	240	0.5	46.5	46.5	46.5	20.4	4358.42	4358.42	4358.42	4358.42	28	255.49	331.71
635	300	0.44	44.1	44	44.1	20.2	4595.62	4606.06	4595.62	4599.10	28	303.56	394.13
636	300	0.44	44.4	44.4	44.5	20.2	4564.56	4564.56	4554.31	4561.15	28	299.10	388.34
637	300	0.44	44.5	44.5	44.6	20.2	4554.31	4554.31	4544.10	4550.90	28	310.54	403.19
642	240	0.5	46.1	46.1	46.2	20.2	4396.24	4396.24	4386.72	4393.07	28	262.15	340.36
643	240	0.5	46.3	46.3	46.2	20.3	4377.25	4377.25	4386.72	4380.41	28	252.72	328.12
644	240	0.5	45.9	45.9	45.9	20.3	4415.40	4415.40	4415.40	4415.40	28	254.33	330.21
941	300	0.44	47.7	47.8	47.7	20.2	4248.78	4239.89	4248.78	4245.81	7	222.14	288.42
942	300	0.44	47.4	47.4	47.5	20.2	4275.67	4275.67	4266.67	4272.67	7	219.34	284.77
988	300	0.44	50.2	50.1	50.1	20.3	4037.18	4045.24	4045.24	4042.56	3	171.25	222.34
989	300	0.44	50.5	50.5	50.4	20.4	4013.20	4013.20	4021.16	4015.86	3	179.07	232.49
995	240	0.5	51.2	51.2	51.3	20.4	3958.33	3958.33	3950.62	3955.76	3	163.05	211.69
996	240	0.5	53.2	53.3	53.2	20.4	3809.52	3802.38	3809.52	3807.14	3	157.02	203.87
2	140	0.65	60.2	60.3	60.3	20.3	3366.56	3360.97	3360.97	3362.83	3	62.64	81.33
3	140	0.65	61.4	61.4	61.4	20.4	3300.76	3300.76	3300.76	3300.76	3	66.80	86.73
663	240	0.5	45.5	45.5	45.4	20.3	4461.54	4461.54	4471.37	4464.81	28	273.68	355.33
664	240	0.5	44.5	44.4	44.4	20.3	4561.80	4572.07	4572.07	4568.65	28	266.34	345.80
665	240	0.5	46.4	46.4	46.4	20.2	4375.00	4375.00	4375.00	4375.00	28	269.78	350.27
670	300	0.44	43.5	43.4	43.4	20.3	4666.67	4677.42	4677.42	4673.84	28	310.32	402.90
671	300	0.44	44.8	44.8	44.8	20.3	4531.25	4531.25	4531.25	4531.25	28	303.41	393.94
672	300	0.44	44.4	44.4	44.4	20.3	4572.07	4572.07	4572.07	4572.07	28	311.55	404.50
677	210	0.53	46.3	46.3	46.3	20.4	4384.45	4384.45	4384.45	4384.45	28	219.26	284.67
678	210	0.53	46.7	46.7	46.7	20.3	4346.90	4346.90	4346.90	4346.90	28	220.57	286.38
679	210	0.53	47.5	47.5	47.5	20.3	4273.68	4273.68	4273.68	4273.68	28	219.71	285.26
969	300	0.44	46.4	46.3	46.3	20.3	4375.00	4384.45	4384.45	4381.30	7	239.84	311.40
970	300	0.44	45.6	45.6	45.6	20.4	4451.75	4451.75	4451.75	4451.75	7	238.53	309.70
976	400	0.36	46.8	46.7	46.7	20.3	4337.61	4346.90	4346.90	4343.80	7	314.07	407.77
977	400	0.36	46.4	46.5	46.4	20.3	4375.00	4365.59	4375.00	4371.86	7	289.39	375.73
983	240	0.5	50.3	50.2	50.2	20.4	4035.79	4043.82	4043.82	4041.14	7	176.00	228.50
984	240	0.5	49.6	49.7	49.7	20.3	4092.74	4084.51	4084.51	4087.25	7	185.47	240.80
51	300	0.44	49.9	49.9	49.8	20.3	4068.14	4068.14	4076.31	4070.86	3	160.91	208.92
52	300	0.44	49.4	49.3	49.3	20.3	4109.31	4117.65	4117.65	4114.87	3	173.68	225.49

HORMIGONERA "B" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f' c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[dias]	kN	[kg/cm2]
58	400	0.36	48.8	48.8	48.8	20.3	4159.84	4159.84	4159.84	4159.84	3	251.89	327.05
59	400	0.36	49.7	49.7	49.7	20.3	4084.51	4084.51	4084.51	4084.51	3	109.99	142.81
65	180	0.57	56.4	56.3	56.3	20.4	3599.29	3605.68	3605.68	3603.55	3	104.89	136.18
66	180	0.57	56.7	56.6	56.7	20.3	3580.25	3586.57	3580.25	3582.36	3	100.96	131.08
30	240	0.5	50.8	50.8	50.8	20.3	3996.06	3996.06	3996.06	3996.06	4	173.04	224.66
31	240	0.5	49.3	49.3	49.4	20.3	4117.65	4117.65	4109.31	4114.87	4	166.98	216.79
37	240	0.5	49.5	49.5	49.4	20.3	4101.01	4101.01	4109.31	4103.78	4	184.53	239.58
38	240	0.5	50.7	50.7	50.8	20.3	4003.94	4003.94	3996.06	4001.32	4	173.15	224.81
44	180	0.57	52.8	52.7	52.7	20.3	3844.70	3851.99	3851.99	3849.56	4	136.06	176.66
45	180	0.57	54.3	54.2	54.2	20.4	3738.49	3745.39	3745.39	3743.09	4	139.99	181.76
684	240	0.5	47.1	47.2	47.1	20.3	4302.90	4293.79	4302.90	4299.86	28	196.02	254.50
685	240	0.5	47.9	47.9	47.9	20.3	4231.04	4231.04	4231.04	4231.04	28	205.19	266.41
686	240	0.5	48.4	48.4	48.4	20.3	4187.33	4187.33	4187.33	4187.33	28	212.49	275.88
691	210	0.53	47.9	47.9	47.9	20.3	4231.04	4231.04	4231.04	4231.04	28	192.84	250.37
692	210	0.53	49.5	49.5	49.5	20.3	4094.28	4094.28	4094.28	4094.28	28	187.34	243.23
693	210	0.53	48.5	48.5	48.5	20.3	4178.69	4178.69	4178.69	4178.69	28	187.41	243.32
990	300	0.44	49.4	49.4	49.4	20.3	4102.56	4102.56	4102.56	4102.56	7	238.46	309.60
991	300	0.44	49	49	48.9	20.3	4136.05	4136.05	4144.51	4138.87	7	238.01	309.02
997	240	0.5	49.4	49.4	49.4	20.4	4102.56	4102.56	4102.56	4102.56	7	203.99	264.85
998	240	0.5	48.5	48.5	48.5	20.4	4178.69	4178.69	4178.69	4178.69	7	203.69	264.46
4	140	0.65	56.7	56.7	56.7	20.3	3574.37	3574.37	3574.37	3574.37	7	91.22	118.44
5	140	0.65	56.6	56.6	56.6	20.4	3580.68	3580.68	3580.68	3580.68	7	89.65	116.39
72	300	0.44	51.4	51.4	51.4	20.3	3942.93	3942.93	3942.93	3942.93	3	183.07	237.69
73	300	0.44	50.7	50.7	50.7	20.3	3997.37	3997.37	3997.37	3997.37	3	178.21	231.37
698	450	0.32	41.7	41.7	41.7	20.3	4860.11	4860.11	4860.11	4860.11	28	437.87	568.50
699	450	0.32	41.5	41.5	41.5	20.3	4883.53	4883.53	4883.53	4883.53	28	433.09	562.30
700	450	0.32	42.6	42.6	42.6	20.2	4757.43	4757.43	4757.43	4757.43	28	448.29	582.03
705	240	0.5	48.2	48.2	48.2	20.3	4204.70	4204.70	4204.70	4204.70	28	205.60	266.94
706	240	0.5	48.2	48.2	48.1	20.3	4204.70	4204.70	4213.44	4207.62	28	206.01	267.48
707	240	0.5	47.4	47.4	47.4	20.3	4275.67	4275.67	4275.67	4275.67	28	205.23	266.45
11	240	0.5	47.5	47.5	47.5	20.4	4266.67	4266.67	4266.67	4266.67	7	216.57	281.18
12	240	0.5	47.7	47.7	47.7	20.4	4248.78	4248.78	4248.78	4248.78	7	211.25	274.28
18	300	0.44	46.6	46.6	46.6	20.3	4349.07	4349.07	4349.07	4349.07	7	257.55	334.38
19	300	0.44	47.7	47.7	47.7	20.4	4248.78	4248.78	4248.78	4248.78	7	246.39	319.90
25	280	0.47	49.6	49.6	49.5	20.3	4086.02	4086.02	4094.28	4088.77	7	219.22	284.63

HORMIGONERA "B" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
26	280	0.47	46.6	46.6	46.6	20.3	4349.07	4349.07	4349.07	4349.07	7	208.26	270.39
775	210	0.53	50.4	50.4	50.4	20.3	4034.39	4034.39	4034.39	4034.39	28	232.55	301.93
776	210	0.53	48.4	48.4	48.3	20.3	4201.10	4201.10	4209.80	4204.00	28	238.72	309.94
777	210	0.53	47.3	47.4	47.3	20.2	4298.80	4289.73	4298.80	4295.78	28	246.21	319.66
782	300	0.44	45.6	45.5	45.5	20.3	4459.06	4468.86	4468.86	4465.60	28	312.34	405.53
783	300	0.44	46.4	46.4	46.4	20.2	4382.18	4382.18	4382.18	4382.18	28	302.78	393.11
784	300	0.44	45.8	45.9	45.8	20.3	4439.59	4429.92	4439.59	4436.37	28	308.03	399.93
789	280	0.47	46.3	46.3	46.3	20.2	4391.65	4391.65	4391.65	4391.65	28	201.67	261.84
790	280	0.47	47.9	47.9	47.9	20.3	4244.95	4244.95	4244.95	4244.95	28	224.39	291.33
791	280	0.47	45.2	45.1	45.2	20.2	4498.53	4508.50	4498.53	4501.85	28	212.15	275.44
81	300	0.44	46.4	46.4	46.4	20.3	4382.18	4382.18	4382.18	4382.18	7	246.86	320.51
82	300	0.44	46	45.9	45.9	20.2	4420.29	4429.92	4429.92	4426.71	7	275.44	357.61
88	210	0.53	49.5	49.5	49.6	20.1	4107.74	4107.74	4099.46	4104.98	7	208.03	270.10
89	210	0.53	50.1	50.1	50	20.3	4058.55	4058.55	4066.67	4061.26	7	209.87	272.48
121	210	0.53	49.9	49.9	49.9	20.3	4074.82	4074.82	4074.82	4074.82	7	173.12	224.76
122	210	0.53	50.3	50.3	50.3	20.2	4042.41	4042.41	4042.41	4042.41	7	176.93	229.72
128	280	0.47	46.9	46.8	46.8	20.1	4335.47	4344.73	4344.73	4341.64	3	237.49	308.34
129	280	0.47	48.4	48.4	48.4	20.3	4201.10	4201.10	4201.10	4201.10	3	216.68	281.32
135	180	0.57	52.4	52.4	52.4	20.3	3880.41	3880.41	3880.41	3880.41	3	144.86	188.08
136	180	0.57	55.3	55.3	55.4	20.3	3676.91	3676.91	3670.28	3674.70	3	142.69	185.26
803	300	0.44	44.9	44.9	44.9	20.4	4536.01	4536.01	4536.01	4536.01	28	289.51	361.28
804	300	0.44	45.6	45.7	45.6	20.4	4466.37	4456.60	4466.37	4463.12	28	266.08	332.05
805	300	0.44	46.1	46	46	20.3	4403.47	4413.04	4413.04	4409.85	28	295.16	368.34
810	240	0.5	45.9	46	45.9	20.2	4408.13	4398.55	4408.13	4404.94	28	255.68	319.06
811	240	0.5	46.1	46.1	46.1	20.2	4374.55	4374.55	4374.55	4374.55	28	245.57	306.45
812	240	0.5	47	47	47	20.2	4304.96	4304.96	4304.96	4304.96	28	249.65	311.54
817	280	0.47	45.7	45.7	45.8	20.2	4427.43	4427.43	4417.76	4424.20	28	283.22	353.44
818	280	0.47	48.7	48.6	48.7	20.2	4147.84	4156.38	4147.84	4150.69	28	289.38	361.13
819	280	0.47	46.7	47	46.7	20.3	4339.76	4312.06	4339.76	4330.52	28	275.57	343.90
109	240	0.5	49.6	49.6	49.6	20.4	4112.90	4112.90	4112.90	4112.90	7	230.71	287.91
110	240	0.5	50	50.1	50	20.4	4080.00	4071.86	4080.00	4077.29	7	224.42	280.07
116	300	0.44	47.6	47.6	47.6	20.3	4271.71	4271.71	4271.71	4271.71	7	242.91	303.14
117	300	0.44	49	49	49	20.3	4149.66	4149.66	4149.66	4149.66	7	258.14	322.15
824	240	0.5	45.5	45.4	45.4	20.1	4417.58	4427.31	4427.31	4424.07	28	250.28	324.95
825	240	0.5	46.1	46.1	46.1	20.3	4396.24	4396.24	4396.24	4396.24	28	250.21	324.86

HORMIGONERA "B" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[dias]	kN	[kg/cm2]
826	240	0.5	47.2	47.2	47.2	20.2	4286.72	4286.72	4286.72	4286.72	28	244.15	316.99
831	300	0.44	45.7	45.7	45.8	20.2	4427.43	4427.43	4417.76	4424.20	28	298.61	387.70
832	300	0.44	44.9	44.9	44.9	20.2	4506.31	4506.31	4506.31	4506.31	28	315.42	409.52
833	300	0.44	44.8	44.7	44.7	20.2	4516.37	4526.47	4526.47	4523.10	28	291.00	377.82
123	210	0.53	47	47	47	20.4	4340.43	4340.43	4340.43	4340.43	7	204.78	265.87
124	210	0.53	48.2	48.1	48.2	20.3	4218.53	4227.30	4218.53	4221.46	7	206.87	268.59
130	280	0.47	44.1	44.1	44	20.3	4603.17	4603.17	4613.64	4606.66	7	278.77	361.94
131	280	0.47	45.8	45.8	45.8	20.3	4439.59	4439.59	4439.59	4439.59	7	280.00	363.54
137	180	0.57	50.1	50.1	50.2	20.4	4071.86	4071.86	4063.75	4069.15	7	182.88	237.44
138	180	0.57	48.2	48.2	48.2	20.3	4211.62	4211.62	4211.62	4211.62	7	182.17	236.52
156	240	0.5	49.8	49.8	49.8	20.3	4076.31	4076.31	4076.31	4076.31	3	229.74	298.28
157	240	0.5	50.2	50.2	50.2	20.4	4057.10	4057.10	4057.10	4057.10	3	227.61	295.51
163	450	0.32	47.2	47.1	47.1	20.3	4293.79	4302.90	4302.90	4299.86	3	327.79	425.59
164	450	0.32	47.2	47.2	47.2	20.4	4322.03	4322.03	4322.03	4322.03	3	325.43	422.52
838	210	0.53	47.3	47.2	47.2	20.1	4249.47	4258.47	4258.47	4255.47	28	200.06	259.75
839	210	0.53	47.6	47.6	47.5	20.1	4222.69	4222.69	4231.58	4225.65	28	173.86	225.73
840	210	0.53	47.2	47.2	47.2	20.1	4258.47	4258.47	4258.47	4258.47	28	196.17	254.69
845	300	0.44	46.6	46.6	46.6	20.1	4320.46	4320.46	4320.46	4320.46	28	282.40	366.65
846	300	0.44	45.8	45.8	45.8	20.2	4403.20	4403.20	4403.20	4403.20	28	277.31	360.04
847	300	0.44	43.8	43.8	43.8	20.1	4596.65	4596.65	4596.65	4596.65	28	272.69	354.05
852	240	0.5	47.6	47.6	47.6	20.3	4257.70	4257.70	4257.70	4257.70	28	249.46	323.89
853	240	0.5	49.6	49.6	49.5	20.1	4059.14	4059.14	4067.34	4061.87	28	236.66	307.27
854	240	0.5	47.9	47.8	47.8	20.1	4203.20	4211.99	4211.99	4209.06	28	242.39	314.70
170	180	0.57	52.6	52.6	52.6	20.3	3865.65	3865.65	3865.65	3865.65	3	146.66	190.41
171	180	0.57	52.6	52.7	52.6	20.3	3865.65	3858.32	3865.65	3863.21	3	148.04	192.21
177	240	0.5	52.3	52.3	52.4	20.4	3894.20	3894.20	3886.77	3891.72	3	176.48	229.14
178	240	0.5	51.6	51.6	51.6	20.4	3959.95	3959.95	3959.95	3959.95	3	174.09	226.03
184	280	0.47	50.7	50.7	50.7	20.4	4017.09	4017.09	4017.09	4017.09	3	176.03	228.55
185	280	0.47	50.7	50.6	50.6	20.4	4023.67	4031.62	4031.62	4028.97	3	169.82	220.49
880	400	0.36	46	46	46	20.2	4391.30	4391.30	4391.30	4391.30	28	28.00	364.48
881	400	0.36	47.4	47.4	47.4	20.4	4303.80	4303.80	4303.80	4303.80	28	28.00	361.07
882	400	0.36	46.7	46.7	46.7	20.2	4332.62	4332.62	4332.62	4332.62	28	28.00	361.63
887	300	0.44	45.7	45.7	45.8	20.2	4427.43	4427.43	4417.76	4424.20	28	28.00	302.36
888	300	0.44	47	47	47	20.3	4312.06	4312.06	4312.06	4312.06	28	28.00	290.33
889	300	0.44	46.9	46.8	46.8	20.4	4356.79	4366.10	4366.10	4362.99	28	28.00	300.00

HORMIGONERA "B" - DATOS ENSAYO DE LABORATORIO													
DATOS LABORATORIO			ENSAYO ULTRASONIDO TRANSMISIÓN DIRECTA								REGISTRO DE CARGA		
Probeta	f'c (Diseño)	a/c	Tiempo			Distancia	Velocidad			Promedio	Tiempo Ensayo	Carga	Resistencia
	[kg/cm2]		[us]			[cm]	[m/s]			[m/s]	[días]	kN	[kg/cm2]
158	240	0.5	47.9	47.9	47.8	20.4	4258.87	4258.87	4267.78	4261.84	7	7.00	297.04
159	240	0.5	48.5	48.5	48.5	20.5	4219.93	4219.93	4219.93	4219.93	7	7.00	290.52
165	450	0.32	47.5	47.5	47.6	20.3	4280.70	4280.70	4271.71	4277.70	7	7.00	418.34
166	450	0.32	45.9	45.9	46	20.3	4429.92	4429.92	4420.29	4426.71	7	7.00	391.64
226	210	0.53	52.8	52.8	52.8	20.2	3825.76	3825.76	3825.76	3825.76	3	3.00	105.15
227	210	0.53	53.8	53.9	53.8	20.2	3748.45	3741.50	3748.45	3746.13	3	3.00	108.71
233	140	0.65	55.9	55.9	55.9	20.2	3619.56	3619.56	3619.56	3619.56	3	3.00	88.97
234	140	0.65	56	55.9	56	20.3	3630.95	3637.45	3630.95	3633.12	3	3.00	90.96

Anexo 3: Resultados ensayos de campo

Lugar	Columna	Presenta fisuras	Long. (cm)	f c (kg/cm ²)	Posición	Ensayo de esclerómetro												Ensayo de Ultrasonido		
						E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	U1	U2	U3
Ordoñez Lazo ant		No	25		1	27	27	29	32	30	27	29	24	26	29	25	25	86.1	126.5	126.5
		Si grande			2													196.1	346	346
		No	25		1	27	29	26	29	23	27	27	29	26	26	25	27	83.7	83.6	83.7
		Si grande			2													179.5	179.4	179.4
Ejeptroy		No	25		1	26	28	25	28	25	26	25	27	28	30	29	25	75.6	75.6	75.6
		Si grande			2													193.4	193.4	193.4
	Subsuelo C1	No	45	240	1	34	32	32	30	32	30	31	30	31	29	30	30	119	119	119
	Subsuelo C2	No	45	240	2	30	32	32	31	32	31	30	30	32	30	30	32	117	117.1	117
	Piso 1 V1	SI media			1													97	97	97.1
		No			2													91.1	91.1	91
		SI Leve			3													97	97	97
		No	35.5	240	4	30	29	30	29	30	30	31	30	31	31	30	30	94	94.1	94.1
		SI Leve			5													96	95.9	96
		SI Leve			6													97	97	97
	Piso 3 V1	SI media			1													101	101	101.1
		No			2													93	93	92.9
		SI leve			3	28	28	29	28	27	27	28	29	27	27	28	27	99	99	99
		No	35.5	240	4													94	94	94
		SI media			5													108	108	108
	Piso 3 V2	SI media			1													98.9	98.9	99
		No			2													92.6	92.5	92.6
		SI leve			3	29	29	28	30	30	28	29	29	30	27	27	27	95.3	95.3	95.3
		No	35.5	240	4													91.3	91.2	91.2
		SI media			5													97.8	97.8	97.9
	Piso 4 V1	SI media			1													98.6	98.6	98.5
		No			2													92.1	92	92
		SI media			3	28	28	29	28	27	27	28	29	27	27	28	27	99.7	99.6	99.6
		No	35.5	240	4													91.3	91.3	91.3
		SI media			5													98.8	98.8	98.7
	Piso 4 V2	SI leve			1													96.1	96.1	96.1
		No			2													93.4	93.2	93.3
		SI leve			3	30	30	29	28	26	27	27	29	29	30	28	28	95.5	95.5	95.6
		No	35.5	240	4													93.2	93.1	93.1
		SI leve			5													97.9	97.9	97.8

						Ensayo de esclerómetro												Ensayo de Ultrasonido		
Lugar	Columna	Presenta fisuras	Long. (cm)	f c (kg/cm²)	Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	U1	U2	U3
Ordoñez Lazo En Const	Subsuelo	No Si grande	62	270	1 2	30	33	34	36	37	36	32	34	33	34	34	36	164.4 250	164.3 250	164.4 250
	Subsuelo	No Si grande	62		1 2	33	31	37	33	32	34	32	32	34	32	33	32	161.5 294	161.5 294	161.5 294
	Subsuelo	No Si grande	62		1 2	35	32	32	35	34	34	34	32	34	33	31	32	159.8 312	159.8 312	159.8 312
	2do piso	No Si grande	42		1 2	28	27	30	30	34	28	30	29	31	31	31	29	116.7 380	116.7 380	116.8 380
	2do piso	No Si grande	42		1 2	28	29	30	29	28	31	31	27	29	30	30	28	112.3 153.4	112.3 153.3	112.3 153.4
	2do piso	No Si grande	42		1 2	28	27	28	27	31	29	29	30	28	31	30	27	114.3 158.6	114.3 158.6	114.3 158.6
	2do piso	No Si grande	46		1 2	27	30	29	27	28	29	27	31	31	30	30	29	127.3 177.6	127.3 177.5	127.3 177.5
	2do piso	No Si grande	46		1 2	29	30	29	29	27	30	26	28	31	27	28	26	119.8 283	119.9 283	119.8 283
	3er piso	No Si grande	46		1 2	29	28	28	26	28	25	29	29	29	29	29	25	121.2 196.6	121.2 196.7	121.2 196.7
	3er piso	No Si grande	48		1 2	30	29	30	27	26	30	30	27	25	26	26	26	132.1 185.2	132.1 185.3	132.1 185.3
	3er piso	No Si grande	48		1 2	25	26	29	30	30	29	29	30	28	27	29	29	129.8 190.8	129.8 190.8	129.8 190.7
	3er piso	No Si media	46		1 2	29	28	25	27	28	27	27	25	30	27	26	30	119.7 135.6	119.7 135.7	119.7 135.8
	3er piso	No Si media	48		1 2	30	28	27	27	25	29	26	28	30	26	25	27	131.6 157.9	131.6 157.8	131.5 157.8
	3er piso	No Si grande	46		1 2	31	29	30	30	28	28	26	29	31	27	26	28	119 323	119.1 323	119 323
	4to piso	No Si media	48		1 2	30	28	27	27	25	29	26	28	30	26	25	27	128.6 147.9	128.6 147.9	128.7 147.9
	4to piso	No Si grande	48		1 2	28	28	30	27	25	30	25	27	24	28	25	26	131.3 183.5	131.3 183.6	131.2 183.6
	4to piso	No Si grande	48		1 2	30	28	24	25	26	27	25	26	27	29	30	30	125.6 184.6	125.6 184.5	125.6 184.5
	4to piso	No Si grande	48		1 2	29	26	27	29	26	26	30	30	29	29	25	30	132.9 183.5	132.9 183.5	132.9 183.5
	4to piso	No Si media	48		1 2	29	27	26	26	29	28	28	30	26	26	27	25	129.3 154.2	129.3 154.1	129.3 154.1

Anexo 4: Ensayo de esclerometría y ultrasonido

Información General			
Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	1		

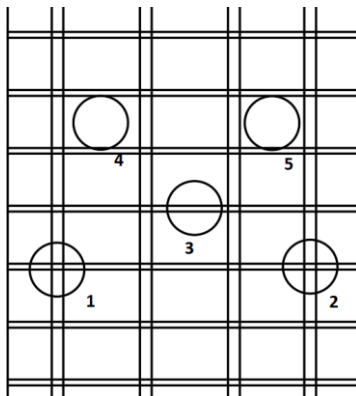
Información sobre el Hormigón

Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°												
Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	33	30	31	31	36	31	31	30	29	32	31	29
2	36	31	30	30	34	32	32	31	30	30	30	29
3	29	30	31	32	31	30	31	29	29	29	28	32
4	32	31	33	29	29	28	28	28	32	31	30	30
5	30	29	32	29	31	30	29	32	30	30	31	29

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	31.2	0	Muestra valida
2	31.3	0	Muestra valida
3	30.1	0	Muestra valida
4	30.1	0	Muestra valida
5	30.2	0	Muestra valida

Cálculos

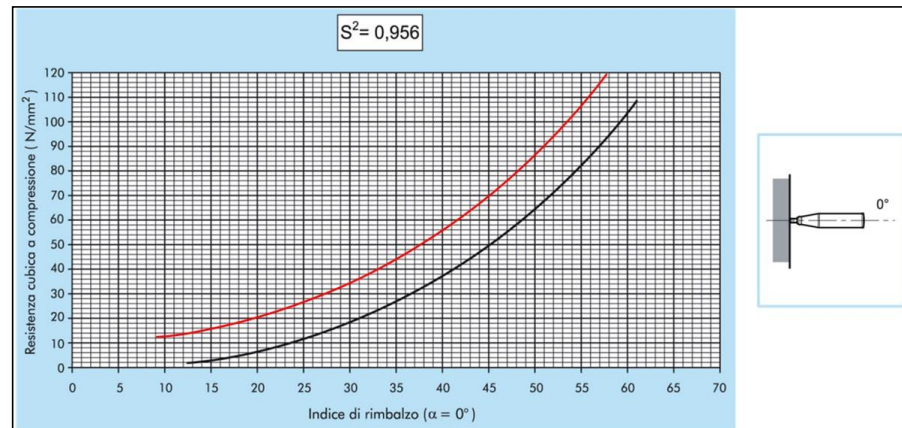
Posición:	1	Muestra sobre armadura	
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	31.2	36	367.1
Mediana:	31.0	36	367.1
Moda:	31.0	36	367.1

Posición:	3	Muestra sobre armadura	
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	30.1	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	29.0	32	326.3

Posición:	5		
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	30.2	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7

Posición:	2	Muestra sobre armadura	
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	31.3	36	367.1
Mediana:	30.5	35	356.9
Moda:	30.0	34	346.7

Posición:	4		
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	30.1	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	28.0	31	316.1



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	136.7	136.8	136.7	4389.2	4386.0	4389.2	4388.1
2	60	136.5	136.5	136.4	4395.6	4395.6	4398.8	4396.7
3	60	138.6	138.7	138.5	4329.0	4325.9	4332.1	4329.0
4	60	139.2	139.3	139.3	4310.3	4307.3	4307.3	4308.3
5	60	138.6	138.7	138.6	4329.0	4325.9	4329.0	4328.0

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4388.1	345.8	346.4
2	4396.7	349.5	350.0
3	4329.0	321.9	322.5
4	4308.3	313.9	314.5
5	4328.0	321.5	322.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido	Esclerometro-VPU		f'c [kg/cm ²]
1	367.1	346.4	-20.7	-6%	340.94
2	367.1	350.0	-17.1	-5%	342.44
3	346.7	322.5	-24.2	-7%	330.78
4	346.7	314.5	-32.2	-9%	327.30
5	346.7	322.1	-24.6	-7%	330.60

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	2		

Información sobre el Hormigón

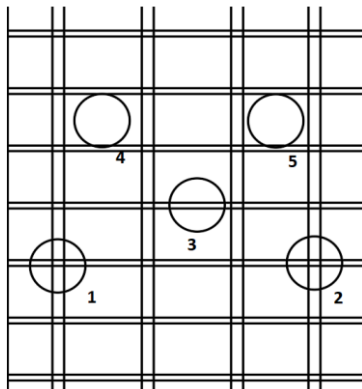
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	32	31	29	32	30	32	29	33	30	34	30	31
2	29	31	36	32	34	32	33	31	31	30	29	32
3	31	32	30	30	31	28	28	29	30	32	31	28
4	28	30	31	31	34	32	34	30	31	29	28	30
5	34	30	29	32	30	30	32	29	28	28	27	30

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	31.1	0	Muestra valida
2	31.7	0	Muestra valida
3	30.0	0	Muestra valida
4	30.7	0	Muestra valida
5	29.9	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	31.1	36	367.1
Mediana:	31.0	36	367.1
Moda:	32.0	38	387.5

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	30.0	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	31.0	36	367.1

Posición: 5

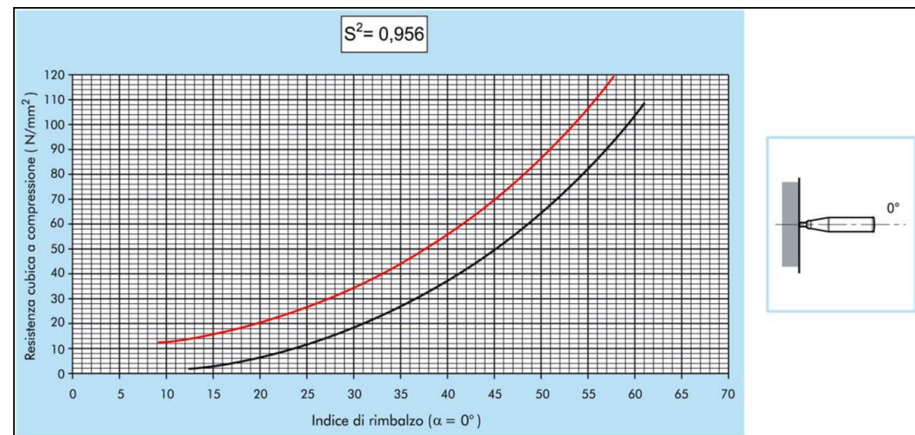
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.9	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	31.7	37	377.3
Mediana:	31.5	36	367.1
Moda:	31.0	36	367.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	30.7	36	367.1
Mediana:	30.5	35	356.9
Moda:	30.0	34	346.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	135.5	135.4	135.4	4428.0	4431.3	4431.3	4430.2
2	60	136.7	136.6	136.6	4389.2	4392.4	4392.4	4391.3
3	60	137.4	137.4	137.5	4366.8	4366.8	4363.6	4365.8
4	60	138.6	138.6	138.7	4329.0	4329.0	4325.9	4328.0
5	60	136.9	136.8	136.8	4382.8	4386.0	4386.0	4384.9

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4430.2	364.0	364.6
2	4391.3	347.2	347.8
3	4365.8	336.6	337.2
4	4328.0	321.5	322.1
5	4384.9	344.5	345.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	367.1	364.6	-2.5	-1%	348.41
2	377.3	347.8	-29.5	-8%	341.50
3	346.7	337.2	-9.5	-3%	337.05
4	367.1	322.1	-45.0	-12%	330.60
5	346.7	345.1	-1.6	0%	340.38

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	3		

Información sobre el Hormigón

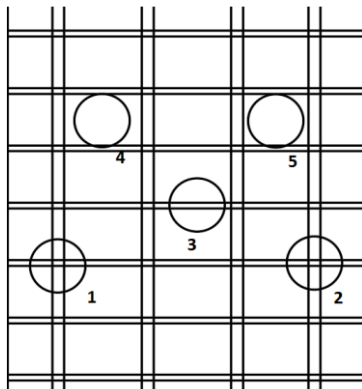
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	30	26	24	26	29	29	30	29	34	29	29	28
2	30	29	28	28	27	28	29	32	28	28	29	28
3	29	33	29	28	30	34	32	30	29	29	27	27
4	28	28	27	29	27	28	31	29	30	30	32	32
5	28	30	28	27	29	27	27	28	28	27	28	27

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.6	0	Muestra valida
2	28.7	0	Muestra valida
3	29.8	0	Muestra valida
4	29.3	0	Muestra valida
5	27.8	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.6	32	326.3
Mediana:	29.0	33	336.5
Moda:	29.0	33	336.5

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.8	34	346.7
Mediana:	29.0	33	336.5
Moda:	29.0	33	336.5

Posición: 5

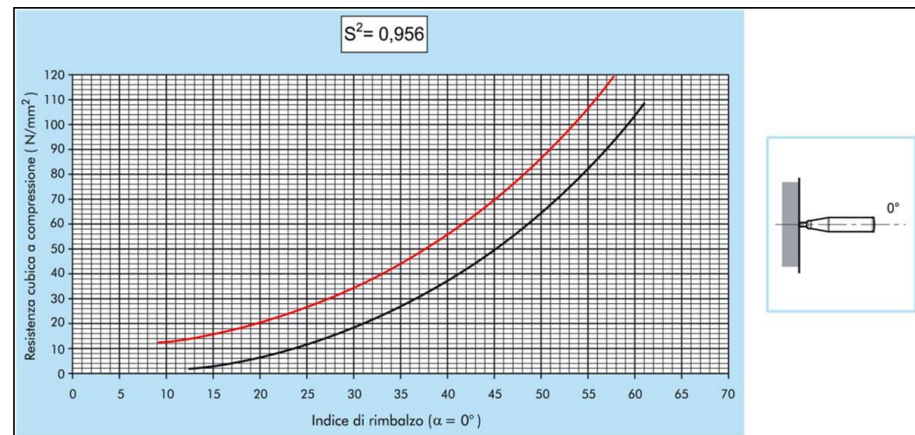
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.8	30	305.9
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.7	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.3	33	336.5
Mediana:	29.0	33	336.5
Moda:	28.0	31	316.1



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	65	149.7	149.6	149.7	4342.0	4344.9	4342.0	4343.0
2	65	150	150	149.9	4333.3	4333.3	4336.2	4334.3
3	65	151.7	148.6	148.6	4284.8	4374.2	4374.2	4344.4
4	65	151.1	151.1	151.2	4301.8	4301.8	4298.9	4300.8
5	65	151.3	151.3	151.3	4296.1	4296.1	4296.1	4296.1

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm2]	[kg/cm2]
1	4343.0	327.4	328.0
2	4334.3	323.9	324.5
3	4344.4	327.9	328.5
4	4300.8	311.0	311.6
5	4296.1	309.2	309.9

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm2]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerometro	Ultrasonido			f'c [kg/cm2]
1	326.3	328.0	1.7	1%	333.15
2	326.3	324.5	-1.8	-1%	331.67
3	346.7	328.5	-18.2	-6%	333.38
4	336.5	311.6	-24.9	-8%	326.06
5	305.9	309.9	3.9	1%	325.27

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	4		

Información sobre el Hormigón

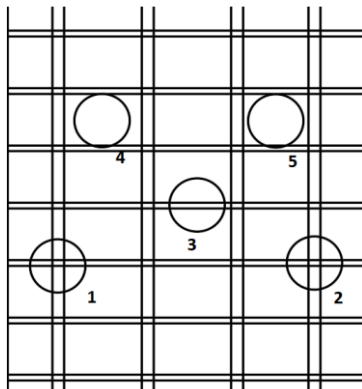
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	27	28	27	27	26	27	26	27	26	25	25	26
2	25	27	28	25	27	26	28	27	29	26	28	28
3	26	26	25	26	26	30	29	27	27	29	26	28
4	26	27	27	26	26	27	26	27	26	26	27	28
5	28	27	26	28	28	27	28	26	25	25	26	26

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	26.4	0	Muestra valida
2	27.0	0	Muestra valida
3	27.1	0	Muestra valida
4	26.6	0	Muestra valida
5	26.7	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	26.4	29	295.7
Mediana:	26.5	29	295.7
Moda:	27.0	30	305.9

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	27.1	30	305.9
Mediana:	26.5	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 5

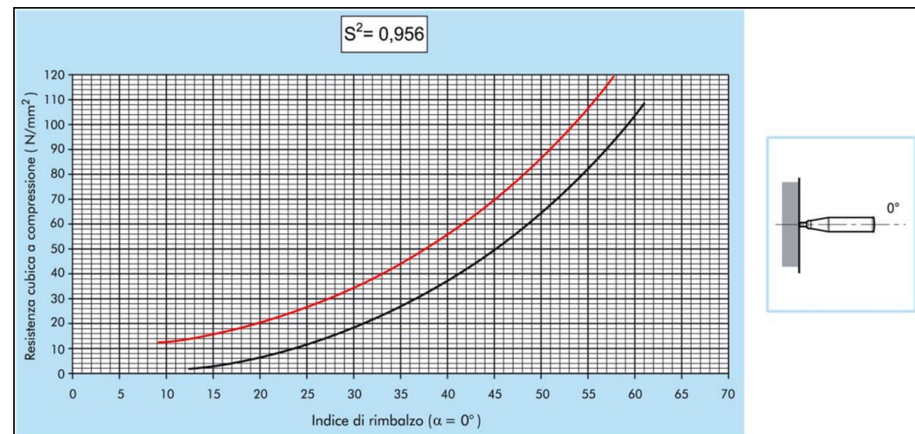
		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	26.7	29	295.7
Mediana:	26.5	29	295.7
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	27.0	30	305.9
Mediana:	27.0	30	305.9
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	26.6	29	295.7
Mediana:	26.5	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	70	165.2	165.2	165.2	4237.3	4237.3	4237.3	4237.3
2	70	163.1	163.1	163	4291.8	4291.8	4294.5	4292.7
3	70	166.2	166.3	166.2	4211.8	4209.3	4211.8	4210.9
4	70	167.8	167.8	167.9	4171.6	4171.6	4169.1	4170.8
5	70	168.1	167.9	168.1	4164.2	4169.1	4164.2	4165.8

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4237.3	287.9	288.5
2	4292.7	308.0	308.6
3	4210.9	278.8	279.5
4	4170.8	265.6	266.2
5	4165.8	264.0	264.6

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	295.7	288.5	-7.2	-2%	315.70
2	305.9	308.6	2.7	1%	324.71
3	305.9	279.5	-26.4	-9%	311.52
4	295.7	266.2	-29.5	-11%	305.27
5	295.7	264.6	-31.1	-12%	304.51

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	5		

Información sobre el Hormigón

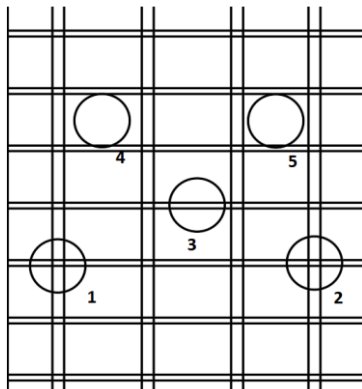
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	29	28	29	28	27	27	26	26	29	28	28	27
2	26	30	28	25	32	27	26	26	28	28	26	30
3	28	29	27	27	26	27	25	29	26	26	28	29
4	27	28	25	27	25	26	28	27	25	27	30	27
5	26	31	28	29	27	28	29	27	30	29	28	31

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	27.7	0	Muestra valida
2	27.7	0	Muestra valida
3	27.3	0	Muestra valida
4	26.8	0	Muestra valida
5	28.6	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.7	30	305.9
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.3	30	305.9
Mediana:	27.0	30	305.9
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 5

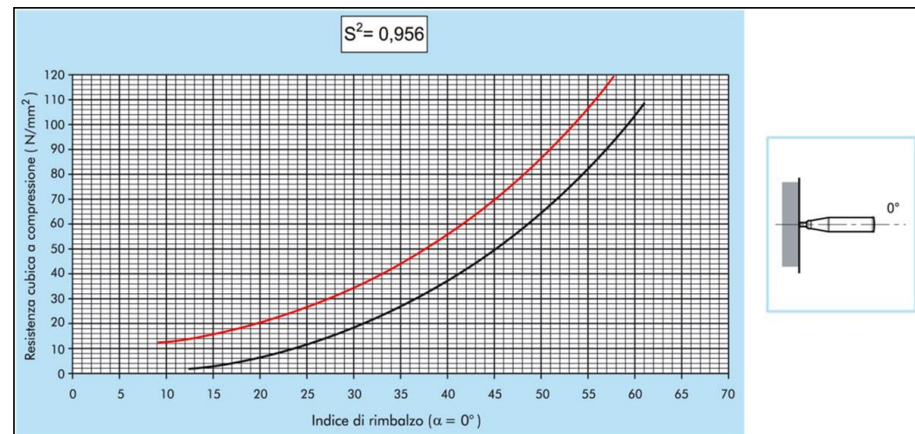
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.6	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.7	31	316.1
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.8	28	285.5
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	139.3	139.3	139.5	4307.3	4307.3	4301.1	4305.2
2	60	139.1	139	139	4313.4	4316.5	4316.5	4315.5
3	60	139.2	139.4	139.2	4310.3	4304.2	4310.3	4308.3
4	60	141.9	141.9	141.8	4228.3	4228.3	4231.3	4229.3
5	60	140.1	140.2	140.1	4282.7	4279.6	4282.7	4281.6

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm2]	[kg/cm2]
1	4305.2	312.7	313.3
2	4315.5	316.6	317.2
3	4308.3	313.9	314.5
4	4229.3	285.1	285.8
5	4281.6	303.9	304.5

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm2]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm2]
1	305.9	313.3	7.4	2%	326.78
2	316.1	317.2	1.1	0%	328.51
3	305.9	314.5	8.6	3%	327.30
4	285.5	285.8	0.2	0%	314.43
5	326.3	304.5	-21.8	-7%	322.89

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	6		

Información sobre el Hormigón

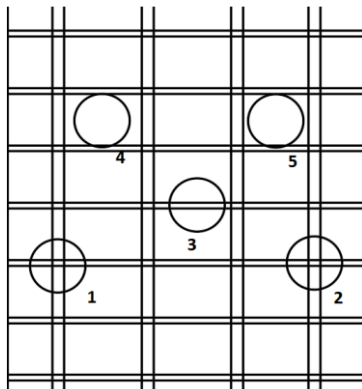
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	29	28	25	27	25	24	27	30	29	26	27	26
2	27	27	28	29	28	29	28	28	25	26	26	29
3	30	27	28	27	27	26	30	27	28	28	26	26
4	27	30	27	26	25	24	25	26	30	29	28	28
5	26	28	24	25	25	27	27	26	25	26	28	30

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	26.9	0	Muestra valida
2	27.5	0	Muestra valida
3	27.5	0	Muestra valida
4	27.1	0	Muestra valida
5	26.4	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.9	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.5	30	305.9
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 5

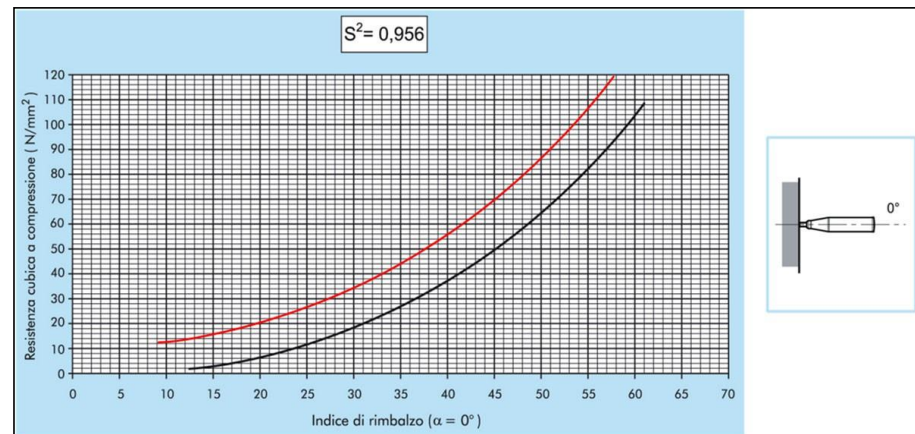
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.4	28	285.5
Mediana:	26.0	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.5	30	305.9
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.1	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	142.5	142.4	142.5	4210.5	4213.5	4210.5	4211.5
2	60	139.9	139.9	139.8	4288.8	4288.8	4291.8	4289.8
3	60	143.4	143.4	143.4	4184.1	4184.1	4184.1	4184.1
4	60	143.7	143.7	143.8	4175.4	4175.4	4172.5	4174.4
5	60	143.8	143.7	143.8	4172.5	4175.4	4172.5	4173.4

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4211.5	279.0	279.7
2	4289.8	306.9	307.5
3	4184.1	269.9	270.5
4	4174.4	266.7	267.4
5	4173.4	266.4	267.0

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	295.7	279.7	-16.1	-6%	311.61
2	305.9	307.5	1.6	1%	324.23
3	305.9	270.5	-35.4	-13%	307.33
4	295.7	267.4	-28.4	-11%	305.83
5	285.5	267.0	-18.5	-7%	305.68

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	7		

Información sobre el Hormigón

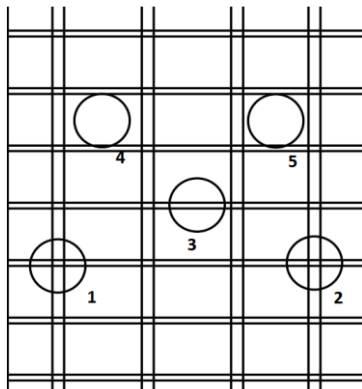
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	31	30	28	28	27	29	28	27	27	29	26	28
2	32	28	27	30	26	30	30	26	26	29	27	26
3	30	26	26	27	29	27	25	27	26	27	26	24
4	27	28	26	25	26	26	29	27	26	27	28	25
5	25	27	25	31	25	28	25	29	30	29	29	26

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.2	0	Muestra valida
2	28.1	0	Muestra valida
3	26.7	0	Muestra valida
4	26.7	0	Muestra valida
5	27.4	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.2	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.7	28	285.5
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 5

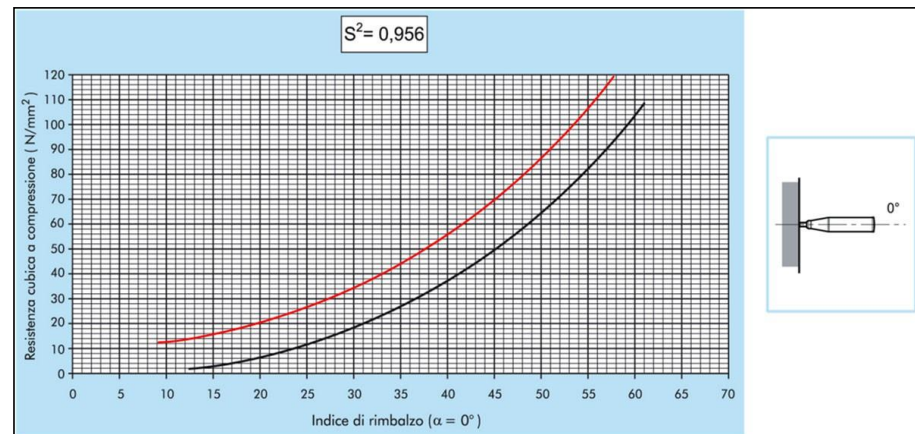
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.4	30	305.9
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	25.0	27	275.3

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.1	31	316.1
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.7	28	285.5
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	70	162.7	162.8	162.8	4302.4	4299.8	4299.8	4300.6
2	70	165.2	165.2	165.2	4237.3	4237.3	4237.3	4237.3
3	70	166.2	166.2	166.2	4211.8	4211.8	4211.8	4211.8
4	70	168.3	168.2	168.2	4159.2	4161.7	4161.7	4160.9
5	70	167.1	167.1	167.2	4189.1	4189.1	4186.6	4188.3

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4300.6	311.0	311.6
2	4237.3	287.9	288.5
3	4211.8	279.1	279.8
4	4160.9	262.4	263.0
5	4188.3	271.3	271.9

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	316.1	311.6	-4.5	-1%	326.02
2	316.1	288.5	-27.6	-10%	315.70
3	285.5	279.8	-5.8	-2%	311.65
4	285.5	263.0	-22.5	-9%	303.75
5	305.9	271.9	-34.0	-13%	307.97

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	8		

Información sobre el Hormigón

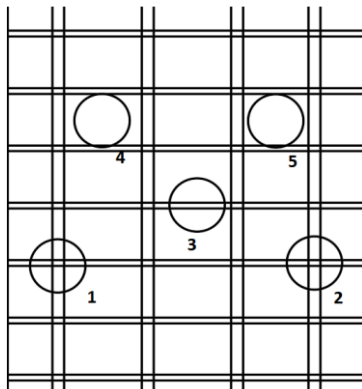
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	30	30	31	30	32	27	28	27	30	26	27	30
2	26	27	26	28	28	26	28	33	28	28	29	26
3	30	26	29	29	29	31	30	29	28	28	31	26
4	27	25	24	25	26	32	26	28	27	28	27	27
5	26	31	31	32	29	28	32	24	24	28	30	27

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	29.0	0	Muestra valida
2	27.8	0	Muestra valida
3	28.8	0	Muestra valida
4	26.8	0	Muestra valida
5	28.5	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.0	32	326.3
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.8	32	326.3
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 5

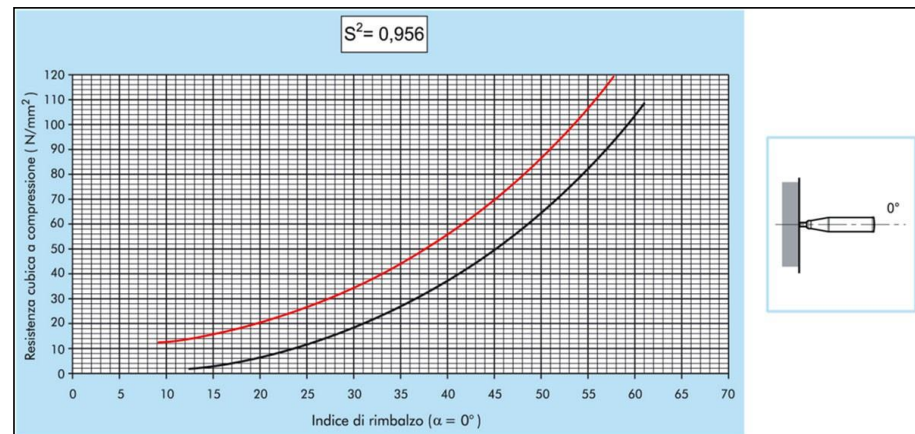
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.5	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	31.0	36	367.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.8	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.8	28	285.5
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	65	151.2	151.2	151.3	4298.9	4298.9	4296.1	4298.0
2	65	151.4	151.3	151.4	4293.3	4296.1	4293.3	4294.2
3	65	153.5	153.5	153.3	4234.5	4234.5	4240.1	4236.4
4	65	157.2	157.2	157.2	4134.9	4134.9	4134.9	4134.9
5	65	153.9	153.8	153.9	4223.5	4226.3	4223.5	4224.4

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4298.0	310.0	310.6
2	4294.2	308.5	309.1
3	4236.4	287.6	288.2
4	4134.9	254.2	254.8
5	4224.4	283.5	284.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	310.6	-15.7	-5%	325.59
2	316.1	309.1	-7.0	-2%	324.96
3	326.3	288.2	-38.1	-13%	315.55
4	285.5	254.8	-30.7	-12%	299.81
5	326.3	284.1	-42.2	-15%	313.65

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	9		

Información sobre el Hormigón

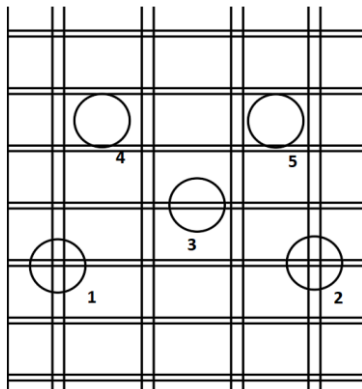
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	30	26	27	30	29	28	30	30	29	28	31	28
2	29	29	28	28	28	30	30	29	28	26	30	26
3	32	29	28	30	30	30	26	28	28	30	30	31
4	31	26	26	28	26	27	27	26	25	26	28	28
5	27	27	28	28	30	29	28	29	26	26	28	33

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.8	0	Muestra valida
2	28.4	0	Muestra valida
3	29.3	0	Muestra valida
4	27.0	0	Muestra valida
5	28.3	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	28.8	32	326.3
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	29.3	33	336.5
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 5

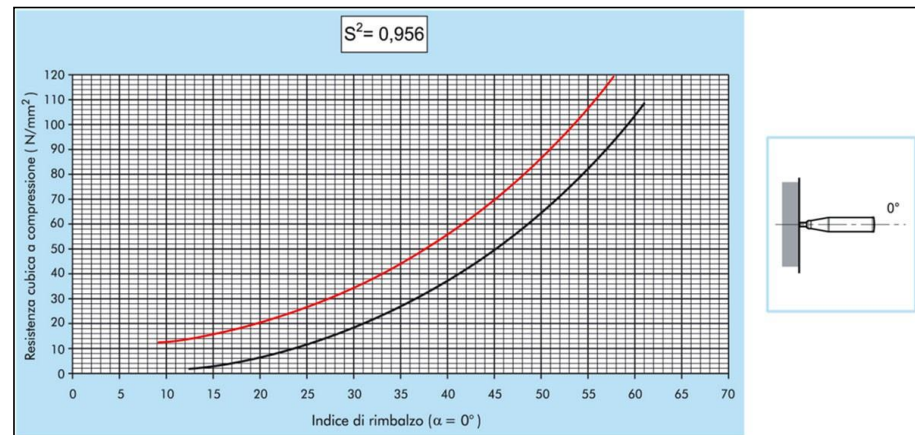
		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	28.3	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	28.4	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	27.0	29	295.7
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	139.6	139.5	139.5	4298.0	4301.1	4301.1	4300.0
2	60	138.9	138.9	138.9	4319.7	4319.7	4319.7	4319.7
3	60	140.7	140.8	140.8	4264.4	4261.4	4261.4	4262.4
4	60	142	141.9	141.9	4225.4	4228.3	4228.3	4227.3
5	60	142.4	142.4	142.4	4213.5	4213.5	4213.5	4213.5

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4300.0	310.7	311.3
2	4319.7	318.2	318.8
3	4262.4	296.8	297.4
4	4227.3	284.5	285.1
5	4213.5	279.7	280.3

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	311.3	-15.0	-5%	325.93
2	326.3	318.8	-7.5	-2%	329.20
3	336.5	297.4	-39.1	-13%	319.74
4	295.7	285.1	-10.6	-4%	314.11
5	316.1	280.3	-35.8	-13%	311.92

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	10		

Información sobre el Hormigón

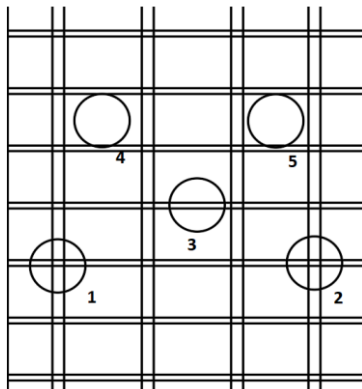
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	26	28	25	28	33	26	29	27	29	27	28	25
2	25	31	28	27	28	28	26	26	30	28	32	32
3	26	26	31	28	27	30	25	26	26	27	28	29
4	27	28	26	26	26	25	29	26	25	25	29	32
5	25	27	28	25	27	27	28	28	25	25	33	29

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	27.6	0	Muestra valida
2	28.4	0	Muestra valida
3	27.4	0	Muestra valida
4	27.0	0	Muestra valida
5	27.3	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.6	30	305.9
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.4	30	305.9
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 5

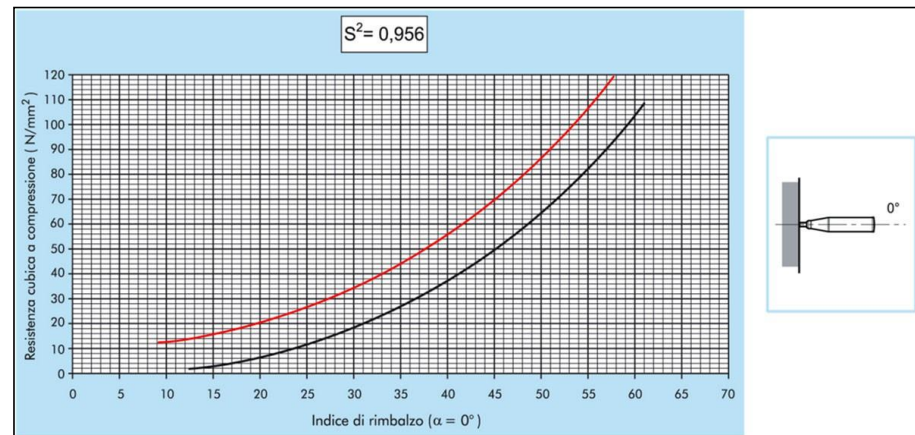
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.3	30	305.9
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	25.0	27	275.3

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.4	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.0	29	295.7
Mediana:	26.0	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	141.5	141.5	141.5	4240.3	4240.3	4240.3	4240.3
2	60	141.3	141.3	141.4	4246.3	4246.3	4243.3	4245.3
3	60	142.3	142.3	142.4	4216.4	4216.4	4213.5	4215.5
4	60	142.2	142.1	142.1	4219.4	4222.4	4222.4	4221.4
5	60	143.4	143.3	143.5	4184.1	4187.0	4181.2	4184.1

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4240.3	289.0	289.6
2	4245.3	290.7	291.3
3	4215.5	280.4	281.0
4	4221.4	282.4	283.0
5	4184.1	269.9	270.5

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	305.9	289.6	-16.3	-6%	316.18
2	326.3	291.3	-35.0	-12%	316.98
3	305.9	281.0	-24.9	-9%	312.23
4	295.7	283.0	-12.7	-4%	313.17
5	305.9	270.5	-35.4	-13%	307.33

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	11		

Información sobre el Hormigón

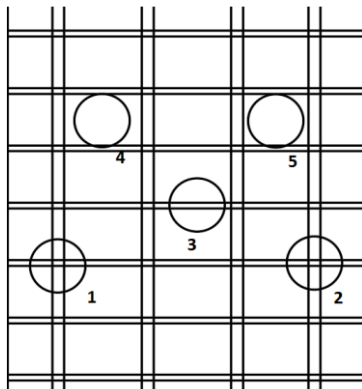
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	31	30	33	31	35	31	31	30	29	32	30	29
2	34	31	30	30	34	32	32	31	30	30	30	31
3	31	30	31	32	31	30	31	29	30	29	31	32
4	30	31	32	29	29	28	28	28	31	31	30	30
5	30	29	32	29	31	30	29	32	30	30	31	29

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	31.0	0	Muestra valida
2	31.3	0	Muestra valida
3	30.6	0	Muestra valida
4	29.8	0	Muestra valida
5	30.2	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	31.0	36	367.1
Mediana:	31.0	36	367.1
Moda:	31.0	36	367.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	30.6	35	356.9
Mediana:	31.0	36	367.1
Moda:	31.0	36	367.1

Posición: 5

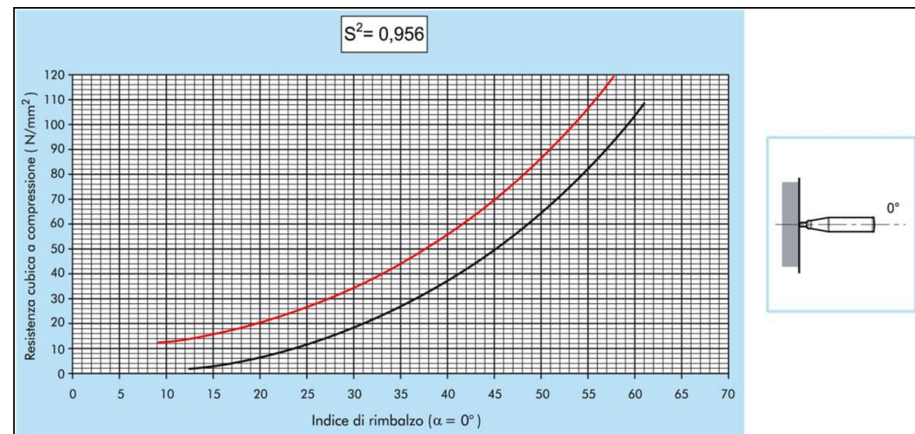
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	30.2	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	31.3	36	367.1
Mediana:	31.0	36	367.1
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.8	34	346.7
Mediana:	30.0	34	346.7
Moda:	30.0	34	346.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	137	136.9	136.9	4379.6	4382.8	4382.8	4381.7
2	60	136.2	136.2	136.1	4405.3	4405.3	4408.5	4406.4
3	60	139.1	138.9	139	4313.4	4319.7	4316.5	4316.5
4	60	140	140.1	140	4285.7	4282.7	4285.7	4284.7
5	60	139.7	139.7	139.8	4294.9	4294.9	4291.8	4293.9

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4381.7	343.1	343.7
2	4406.4	353.6	354.2
3	4316.5	317.0	317.6
4	4284.7	305.0	305.6
5	4293.9	308.4	309.0

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	367.1	343.7	-23.4	-7%	339.82
2	367.1	354.2	-12.9	-4%	344.15
3	356.9	317.6	-39.3	-12%	328.68
4	346.7	305.6	-41.1	-13%	323.39
5	346.7	309.0	-37.7	-12%	324.91

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	12		

Información sobre el Hormigón

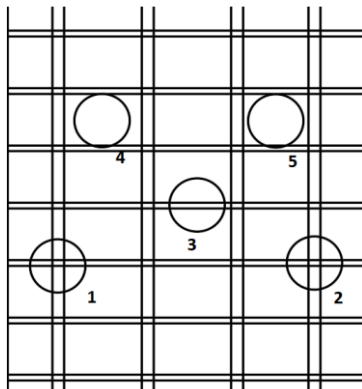
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	31	31	30	32	30	33	30	33	30	33	30	32
2	30	32	30	30	31	30	29	29	30	32	31	29
3	30	30	31	31	34	32	32	31	31	29	30	30
4	30	33	30	31	30	30	32	29	28	28	28	30
5	30	31	33	32	32	30	33	31	32	30	29	31

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	31.3	0	Muestra valida
2	30.3	0	Muestra valida
3	30.9	0	Muestra valida
4	29.9	0	Muestra valida
5	31.2	0	Muestra valida

Cálculos

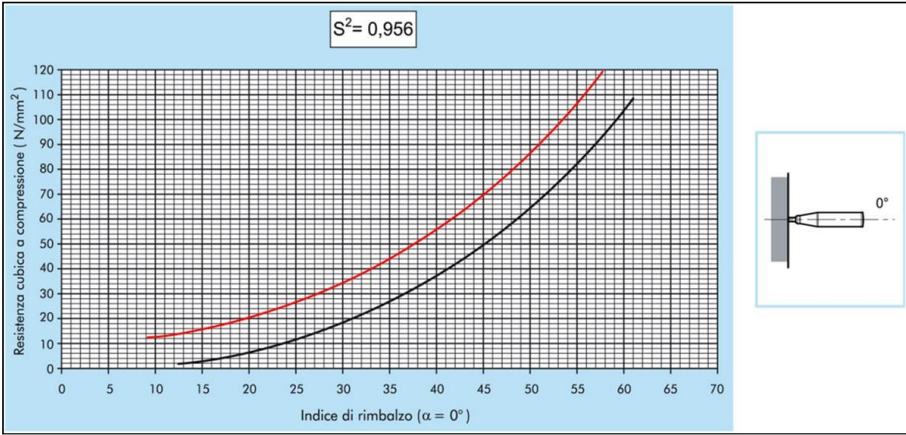
Posición:	1	Muestra sobre armadura		
		f'ck	f'c	
		[N/mm2]	[kg/cm2]	
Media:	31.3	37	377.3	
Mediana:	31.0	36	367.1	
Moda:	30.0	36	367.1	

Posición:	3	Muestra sobre armadura		
		f'ck	f'c	
		[N/mm2]	[kg/cm2]	
Media:	30.9	36	367.1	
Mediana:	31.0	36	367.1	
Moda:	30.0	34	346.7	

Posición:	5			
		f'ck	f'c	
		[N/mm2]	[kg/cm2]	
Media:	31.2	36	367.1	
Mediana:	31.0	36	367.1	
Moda:	30.0	34	346.7	

Posición:	2	Muestra sobre armadura		
		f'ck	f'c	
		[N/mm2]	[kg/cm2]	
Media:	30.3	34	346.7	
Mediana:	30.0	34	346.7	
Moda:	30.0	34	346.7	

Posición:	4			
		f'ck	f'c	
		[N/mm2]	[kg/cm2]	
Media:	29.9	34	346.7	
Mediana:	30.0	34	346.7	
Moda:	30.0	34	346.7	



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	135.7	135.6	135.6	4421.5	4424.8	4424.8	4423.7
2	60	136.1	136.1	136	4408.5	4408.5	4411.8	4409.6
3	60	137.6	137.6	137.7	4360.5	4360.5	4357.3	4359.4
4	60	138.8	138.8	138.9	4322.8	4322.8	4319.7	4321.7
5	60	136.9	136.8	136.8	4382.8	4386.0	4386.0	4384.9

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm2]	[kg/cm2]
1	4423.7	361.1	361.7
2	4409.6	355.0	355.6
3	4359.4	334.0	334.6
4	4321.7	319.0	319.6
5	4384.9	344.5	345.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm2]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm2]
1	377.3	361.7	-15.6	-4%	347.24
2	346.7	355.6	8.9	2%	344.73
3	367.1	334.6	-32.5	-10%	335.96
4	346.7	319.6	-27.1	-8%	329.55
5	367.1	345.1	-22.0	-6%	340.38

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	13		

Información sobre el Hormigón

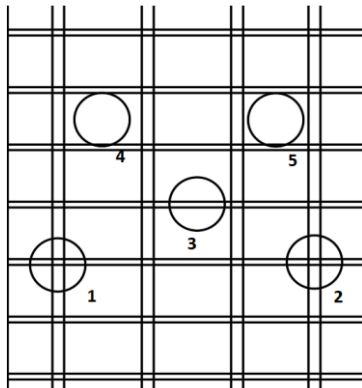
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	29	26	25	26	28	29	31	29	32	29	30	28
2	27	27	29	29	30	34	32	30	28	29	33	29
3	31	32	30	29	29	28	31	27	30	27	28	29
4	30	29	28	28	27	28	29	32	28	28	29	28
5	27	28	27	28	28	27	29	30	28	29	28	27

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.5	0	Muestra valida
2	29.8	0	Muestra valida
3	29.3	0	Muestra valida
4	28.7	0	Muestra valida
5	28.0	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.5	32	326.3
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.3	33	336.5
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 5

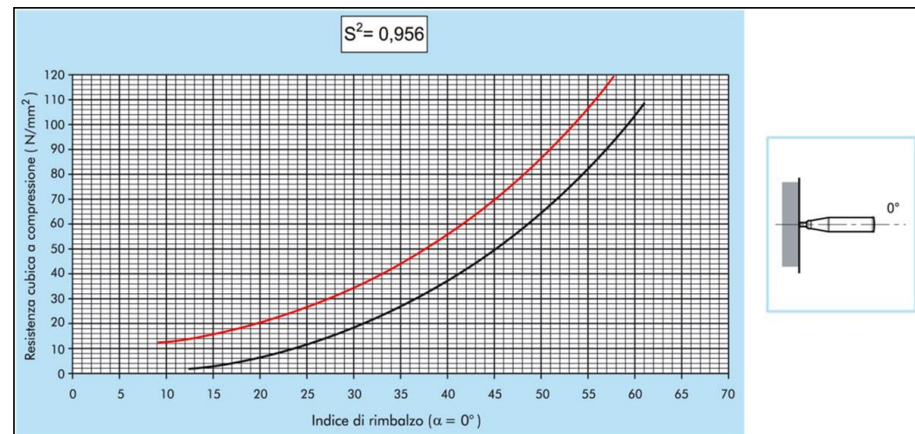
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.0	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.8	34	346.7
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.7	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	65	150.9	150.8	150.9	4307.5	4310.3	4307.5	4308.4
2	65	152.6	149.5	149.5	4259.5	4347.8	4347.8	4318.4
3	65	152	152	152.1	4276.3	4276.3	4273.5	4275.4
4	65	150.8	150.8	150.7	4310.3	4310.3	4313.2	4311.3
5	65	152.2	152.2	152.2	4270.7	4270.7	4270.7	4270.7

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4308.4	313.9	314.5
2	4318.4	317.7	318.3
3	4275.4	301.6	302.2
4	4311.3	315.0	315.6
5	4270.7	299.8	300.5

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	314.5	-11.8	-4%	327.32
2	346.7	318.3	-28.4	-9%	328.99
3	336.5	302.2	-34.3	-11%	321.86
4	326.3	315.6	-10.7	-3%	327.80
5	316.1	300.5	-15.6	-5%	321.10

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	14		

Información sobre el Hormigón

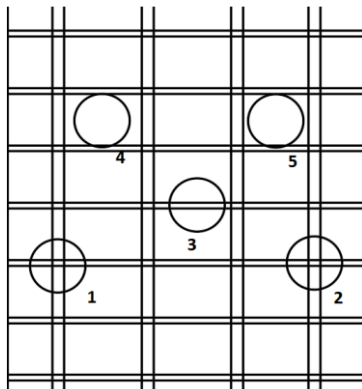
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	26	26	27	27	26	28	26	27	26	25	27	27
2	28	28	28	25	26	27	30	27	29	26	25	27
3	26	28	25	26	26	30	29	27	27	29	27	26
4	26	27	27	26	26	27	26	27	26	26	27	28
5	26	26	26	25	28	27	28	26	28	25	28	27

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	26.5	0	Muestra valida
2	27.2	0	Muestra valida
3	27.2	0	Muestra valida
4	26.6	0	Muestra valida
5	26.7	0	Muestra valida

Cálculos

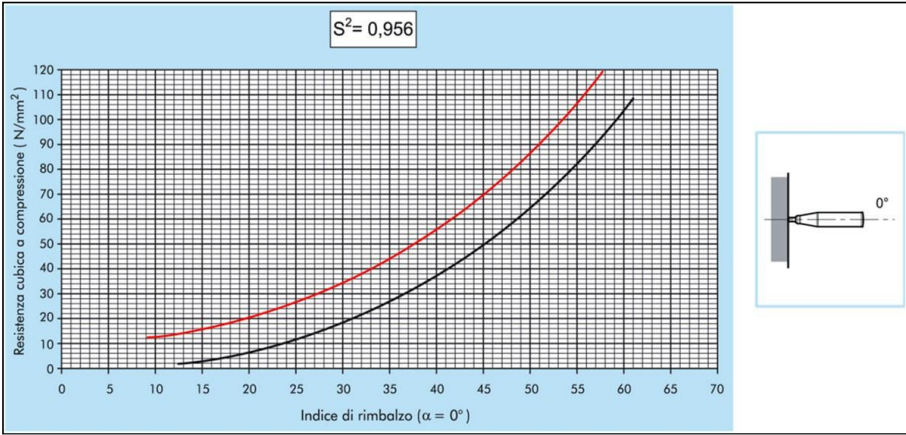
Posición:	1	Muestra sobre armadura	
		f'ck	f'c
		[N/mm2]	[kg/cm2]
Media:	26.5	28	285.5
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5

Posición:	3	Muestra sobre armadura	
		f'ck	f'c
		[N/mm2]	[kg/cm2]
Media:	27.2	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5

Posición:	5		
		f'ck	f'c
		[N/mm2]	[kg/cm2]
Media:	26.7	28	285.5
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5

Posición:	2	Muestra sobre armadura	
		f'ck	f'c
		[N/mm2]	[kg/cm2]
Media:	27.2	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	28.0	31	316.1

Posición:	4		
		f'ck	f'c
		[N/mm2]	[kg/cm2]
Media:	26.6	29	295.7
Mediana:	26.5	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	70	166.2	166.3	166.2	4211.8	4209.3	4211.8	4210.9
2	70	165.4	165.4	165.5	4232.2	4232.2	4229.6	4231.3
3	70	166.5	166.5	166.4	4204.2	4204.2	4206.7	4205.0
4	70	168	168.2	168.1	4166.7	4161.7	4164.2	4164.2
5	70	168.3	168.2	168.3	4159.2	4161.7	4159.2	4160.1

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4210.9	278.8	279.5
2	4231.3	285.8	286.4
3	4205.0	276.9	277.5
4	4164.2	263.4	264.1
5	4160.1	262.1	262.7

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	285.5	279.5	-6.1	-2%	311.52
2	295.7	286.4	-9.3	-3%	314.75
3	295.7	277.5	-18.2	-7%	310.59
4	295.7	264.1	-31.6	-12%	304.26
5	285.5	262.7	-22.8	-9%	303.63

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	15		

Información sobre el Hormigón

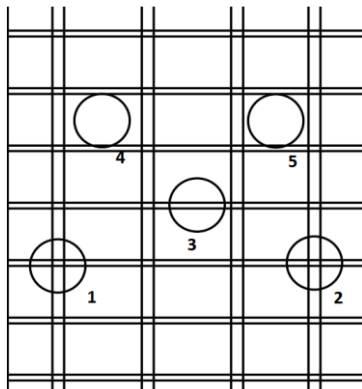
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	28	27	26	28	27	28	29	26	29	28	28	29
2	28	31	28	29	30	28	29	27	27	29	26	31
3	29	28	27	27	26	27	26	29	26	25	29	29
4	27	28	26	27	25	26	28	27	25	27	29	27
5	27	30	28	25	31	27	26	26	28	28	26	29

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	27.8	0	Muestra valida
2	28.6	0	Muestra valida
3	27.3	0	Muestra valida
4	26.8	0	Muestra valida
5	27.6	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.8	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.3	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 5

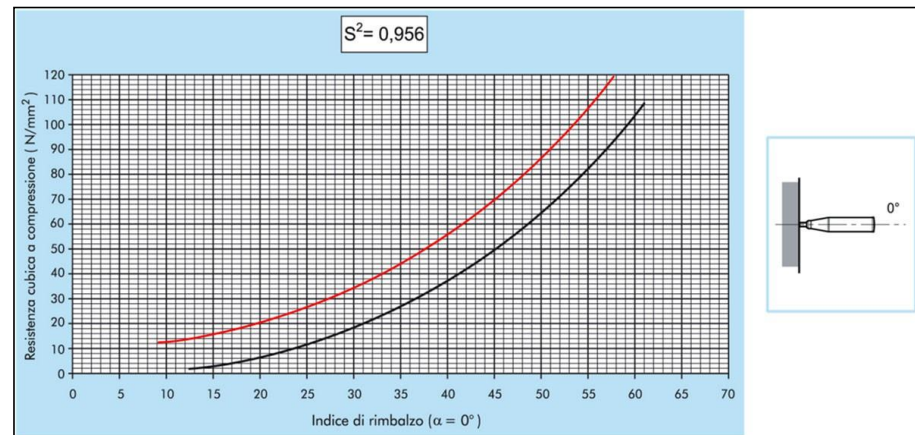
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.6	30	305.9
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	28.6	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	26.8	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	139.6	139.5	139.5	4298.0	4301.1	4301.1	4300.0
2	60	140.2	140.2	140.1	4279.6	4279.6	4282.7	4280.6
3	60	140.6	140.7	140.7	4267.4	4264.4	4264.4	4265.4
4	60	141.9	141.9	141.8	4228.3	4228.3	4231.3	4229.3
5	60	141.3	141.2	141.5	4246.3	4249.3	4240.3	4245.3

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4300.0	310.7	311.3
2	4280.6	303.5	304.1
3	4265.4	297.9	298.5
4	4229.3	285.1	285.8
5	4245.3	290.7	291.3

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	316.1	311.3	-4.8	-2%	325.93
2	326.3	304.1	-22.2	-7%	322.72
3	295.7	298.5	2.8	1%	320.23
4	295.7	285.8	-10.0	-3%	314.43
5	305.9	291.3	-14.6	-5%	316.98

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	16		

Información sobre el Hormigón

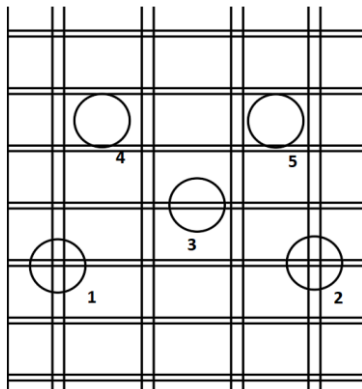
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	27	26	28	30	27	30	26	27	28	28	30	27
2	26	29	28	29	28	29	28	29	26	26	27	27
3	29	28	27	27	25	25	27	30	29	26	26	26
4	27	29	27	26	25	26	25	26	30	29	28	28
5	30	28	25	25	26	27	28	26	25	26	28	26

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	27.8	0	Muestra valida
2	27.7	0	Muestra valida
3	27.1	0	Muestra valida
4	27.2	0	Muestra valida
5	26.7	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.8	31	316.1
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.1	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 5

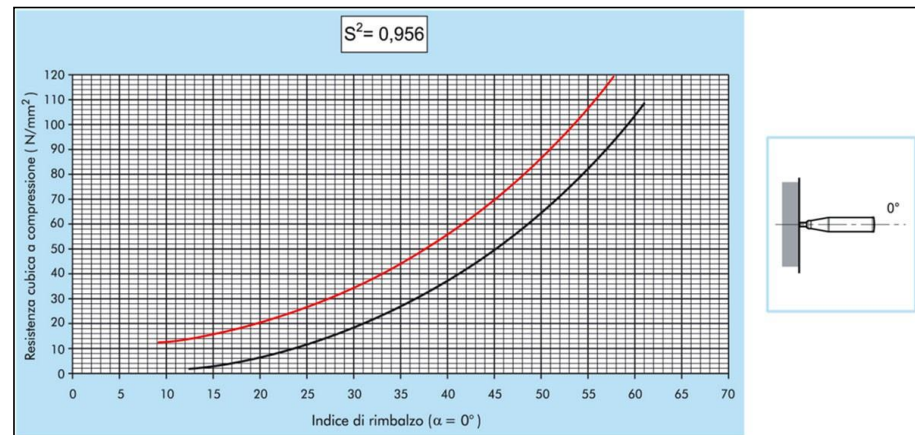
		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	26.7	28	285.5
Mediana:	26.0	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.7	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 4

		f'_{ck} [N/mm ²]	f'_c [kg/cm ²]
Media:	27.2	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	142.9	142.8	142.8	4198.7	4201.7	4201.7	4200.7
2	60	141	141	140.9	4255.3	4255.3	4258.3	4256.3
3	60	143.6	143.5	143.6	4178.3	4181.2	4178.3	4179.2
4	60	144.8	144.8	144.9	4143.6	4143.6	4140.8	4142.7
5	60	145.1	145	145.1	4135.1	4137.9	4135.1	4136.0

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4200.7	275.4	276.0
2	4256.3	294.7	295.3
3	4179.2	268.3	268.9
4	4142.7	256.7	257.3
5	4136.0	254.6	255.2

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	316.1	276.0	-40.1	-15%	309.91
2	316.1	295.3	-20.8	-7%	318.76
3	295.7	268.9	-26.8	-10%	306.57
4	295.7	257.3	-38.4	-15%	300.99
5	285.5	255.2	-30.3	-12%	299.98

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	17		

Información sobre el Hormigón

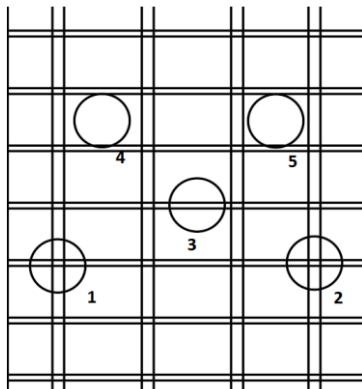
Resistencia de diseño (f'c):	280 kg/cm2	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm2
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	31	30	28	28	27	29	28	27	27	29	26	28
2	32	28	27	30	26	30	30	26	26	29	27	26
3	25	27	27	28	25	31	26	29	29	29	30	27
4	25	28	26	25	26	29	26	27	26	27	28	27
5	26	25	26	27	28	27	27	25	26	28	29	26

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.2	0	Muestra valida
2	28.1	0	Muestra valida
3	27.8	0	Muestra valida
4	26.7	0	Muestra valida
5	26.7	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.2	31	316.1
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.8	28	285.5
Mediana:	27.5	28	285.5
Moda:	27.0	28	285.5

Posición: 5

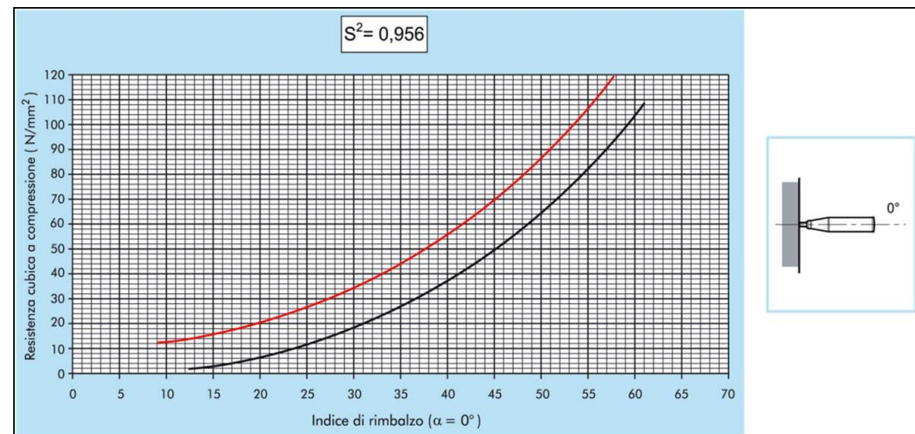
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.7	30	305.9
Mediana:	26.5	30	305.9
Moda:	26.0	27	275.3

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.1	31	316.1
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	26.0	28	285.5

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	26.7	28	285.5
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	70	163.2	163.3	163.3	4289.2	4286.6	4286.6	4287.5
2	70	165.7	165.7	165.7	4224.5	4224.5	4224.5	4224.5
3	70	166.7	166.7	166.7	4199.2	4199.2	4199.2	4199.2
4	70	168.8	168.7	168.7	4146.9	4149.4	4149.4	4148.6
5	70	167.6	167.6	167.7	4176.6	4176.6	4174.1	4175.8

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4287.5	306.0	306.6
2	4224.5	283.5	284.1
3	4199.2	274.9	275.5
4	4148.6	258.5	259.1
5	4175.8	267.2	267.8

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	316.1	306.6	-9.5	-3%	323.85
2	316.1	284.1	-32.0	-11%	313.66
3	285.5	275.5	-10.0	-4%	309.67
4	285.5	259.1	-26.4	-10%	301.88
5	305.9	267.8	-38.1	-14%	306.04

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	18		

Información sobre el Hormigón

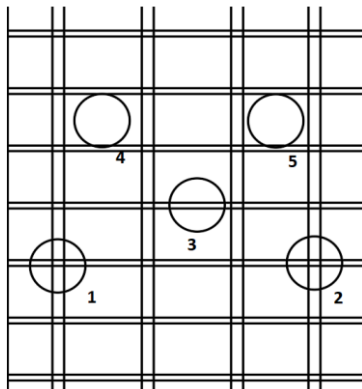
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	29	26	26	28	28	26	28	33	28	28	26	27
2	27	30	31	27	28	30	32	28	30	26	30	30
3	30	27	29	32	31	28	29	25	24	28	26	31
4	31	26	29	29	31	29	30	28	29	28	30	26
5	27	27	24	25	27	26	31	28	27	28	27	26

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	27.8	0	Muestra valida
2	29.1	0	Muestra valida
3	28.3	0	Muestra valida
4	28.8	0	Muestra valida
5	26.9	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	27.8	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	28.3	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3

Posición: 5

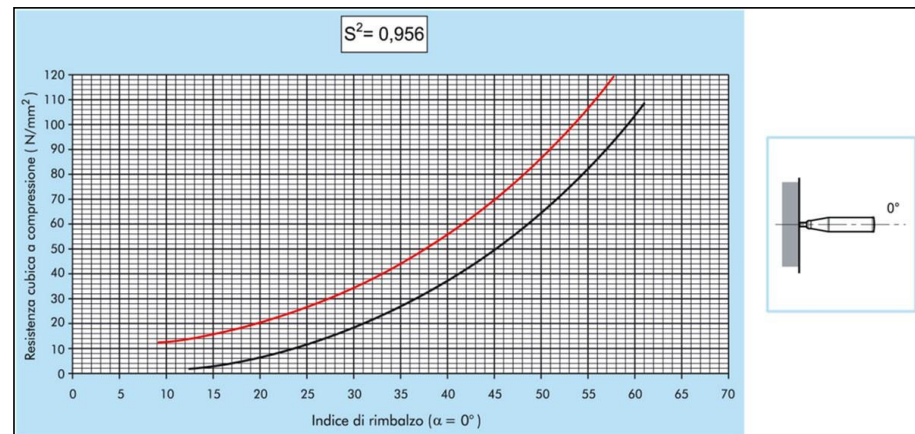
		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	26.9	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	29.1	32	326.3
Mediana:	30.0	32	326.3
Moda:	30.0	34	346.7

Posición: 4

		f'ck [N/mm2]	f'c [kg/cm2]
Media:	28.8	32	326.3
Mediana:	29.0	32	326.3
Moda:	29.0	32	326.3



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	65	149.6	149.6	149.6	4344.9	4344.9	4344.9	4344.9
2	65	149	149.1	149.1	4362.4	4359.5	4359.5	4360.5
3	65	150.6	150.7	150.6	4316.1	4313.2	4316.1	4315.1
4	65	151.5	151.7	151.5	4290.4	4284.8	4290.4	4288.5
5	65	152.5	152.6	152.5	4262.3	4259.5	4262.3	4261.4

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4344.9	328.2	328.7
2	4360.5	334.4	335.0
3	4315.1	316.5	317.1
4	4288.5	306.4	307.0
5	4261.4	296.5	297.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	328.7	2.4	1%	333.48
2	326.3	335.0	8.7	3%	336.14
3	326.3	317.1	-9.2	-3%	328.44
4	326.3	307.0	-19.3	-6%	324.02
5	295.7	297.1	1.4	0%	319.58

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	19		

Información sobre el Hormigón

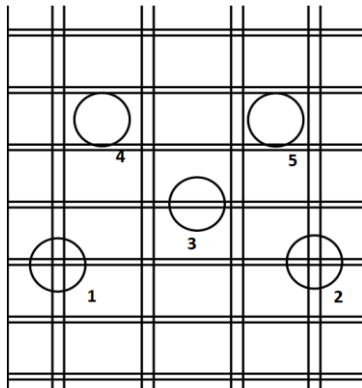
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	31	28	27	30	28	28	31	30	29	28	30	26
2	30	26	28	29	28	30	30	29	28	26	28	29
3	28	27	28	29	30	29	28	29	26	26	27	32
4	31	30	28	30	29	30	26	28	28	30	32	29
5	28	27	26	28	26	27	27	26	25	27	31	28

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.8	0	Muestra valida
2	28.4	0	Muestra valida
3	28.3	0	Muestra valida
4	29.3	0	Muestra valida
5	27.2	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.8	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.3	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 5

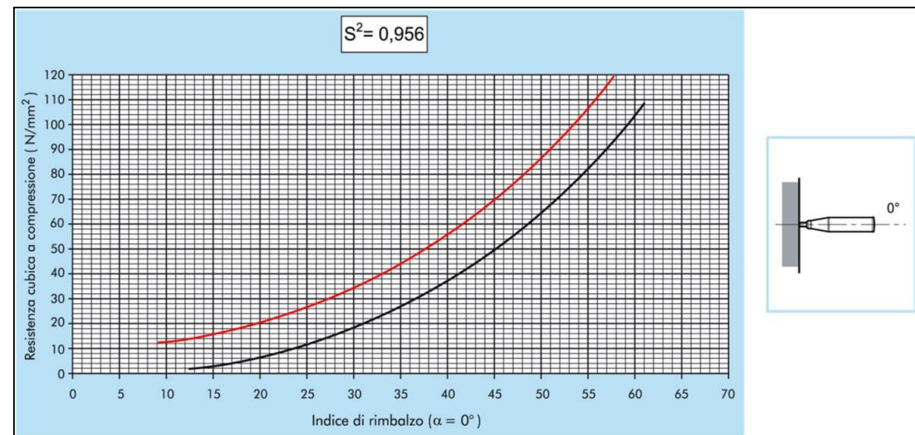
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.2	29	295.7
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.4	32	326.3
Mediana:	28.5	32	326.3
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	29.3	33	336.5
Mediana:	29.5	33	336.5
Moda:	30.0	34	346.7



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	140.5	140.5	140.3	4270.5	4270.5	4276.6	4272.5
2	60	139.8	139.7	139.7	4291.8	4294.9	4294.9	4293.9
3	60	141.5	141.6	141.4	4240.3	4237.3	4243.3	4240.3
4	60	141.9	141.8	141.9	4228.3	4231.3	4228.3	4229.3
5	60	142.3	142.3	142.3	4216.4	4216.4	4216.4	4216.4

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4272.5	300.5	301.1
2	4229.3	285.1	285.8
3	4240.3	289.0	289.6
4	4293.9	308.4	309.0
5	4216.4	280.7	281.3

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	301.1	-25.2	-8%	321.39
2	326.3	285.8	-40.5	-14%	314.43
3	326.3	289.6	-36.7	-13%	316.18
4	336.5	309.0	-27.5	-9%	324.91
5	295.7	281.3	-14.4	-5%	312.39

Información General

Fecha de Prueba:	28/4/2022	Ubicación:	Control Sur
N° de columna:	20		

Información sobre el Hormigón

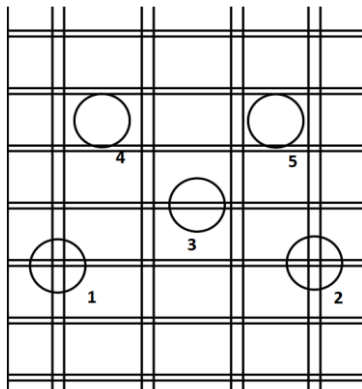
Resistencia de diseño (f'_c):	280 kg/cm ²	Resultado de laboratorio:	353.7 kg/cm ²
Revenimiento:	14 cm		
Relación a/c	0.566		

ENSAYO ESCLEROMETRÍA

Orientación del ensayo: 0°

Posición	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
1	32	32	28	27	28	28	26	30	26	28	25	30
2	28	26	30	28	27	28	29	26	26	27	28	26
3	28	28	27	28	31	26	27	29	29	27	26	25
4	28	32	26	25	26	27	29	26	25	25	27	29
5	30	27	28	26	27	26	28	29	25	25	27	29

Ubicación de los ensayos en columnas



Posición	Media	Eliminados	Observación
1	28.3	0	Muestra valida
2	27.4	0	Muestra valida
3	27.6	0	Muestra valida
4	27.1	0	Muestra valida
5	27.3	0	Muestra valida

Cálculos

Posición: 1 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	28.3	32	326.3
Mediana:	28.0	31	316.1
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 3 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.6	30	305.9
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 5

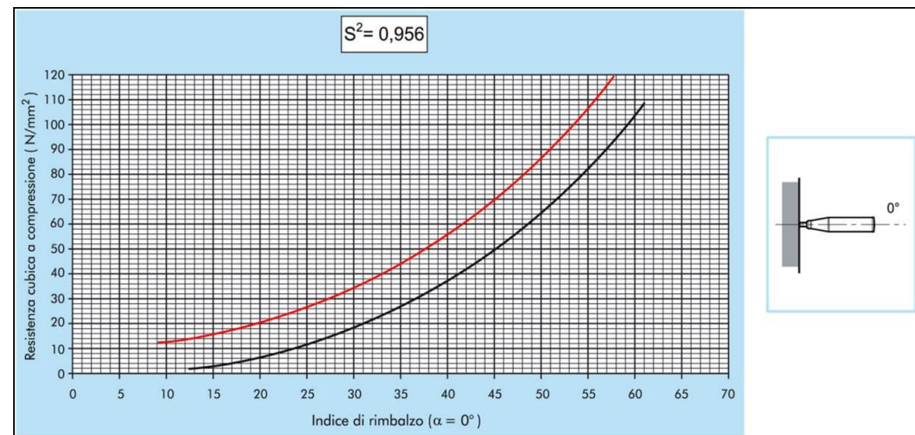
		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.3	30	305.9
Mediana:	27.0	29	295.7
Moda:	27.0	29	295.7

Posición: 2 Muestra sobre armadura

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.4	30	305.9
Mediana:	27.5	30	305.9
Moda:	28.0	31	316.1

Posición: 4

		f'ck [N/mm ²]	f'c [kg/cm ²]
Media:	27.1	29	295.7
Mediana:	26.5	28	285.5
Moda:	26.0	28	285.5



ENSAYO DE ULTRASONIDO

Posición	Longitud	Tiempo			Velocidad			Promedio
	[cm]	[us]			[m/s]			[m/s]
1	60	139	139.1	139.1	4316.5	4313.4	4313.4	4314.5
2	60	139.6	139.7	139.7	4298.0	4294.9	4294.9	4295.9
3	60	140.6	140.6	140.5	4267.4	4267.4	4270.5	4268.4
4	60	141.4	141.4	141.5	4243.3	4243.3	4240.3	4242.3
5	60	141.9	141.9	142	4228.3	4228.3	4225.4	4227.3

Cálculos

Posición	Velocidad	Ec. (1) f'c	Ec. (2) f'c
	[m/s]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
1	4314.5	316.2	316.8
2	4295.9	309.2	309.8
3	4268.4	299.0	299.6
4	4242.3	289.7	290.3
5	4227.3	284.5	285.1

Nota: Ec. (1) Corresponde al modelo general
Ec. (2) Corresponde al modelo específico

Diferencias de Mediciones

Posición	Resistencia a la Compresión [kg/cm ²]		Diferencia Esclerometro-VPU		Formula de Tomsett
	Esclerómetro	Ultrasonido			f'c [kg/cm ²]
1	326.3	316.8	-9.5	-3%	328.33
2	305.9	309.8	3.9	1%	325.25
3	305.9	299.6	-6.3	-2%	320.73
4	295.7	290.3	-5.4	-2%	316.50
5	305.9	285.1	-20.8	-7%	314.11

Anexo 5: Ensayo de ultrasonido medición indirecta

MEDICIONES INDIRECTAS						
	INFLUENCIA DEL ACERO			SIN INFLUENCIA DEL ACERO		
	Tiempo	Distancia	Velocidad	Tiempo	Distancia	Velocidad
C1	15,1	10	3874,3	19,9	10	3855,2
	42,9	20		42,9	20	
	66,7	30		71,8	30	
C2	20,0	10	3896,1	25,1	10	3752,3
	52,7	20		53,5	20	
	71,3	30		78,4	30	
C3	18,0	10	3841,2	19,2	10	3761,8
	38,8	20		44,1	20	
	70,1	30		72,4	30	
C4	18,0	10	3934,4	24,1	10	3846,2
	51,2	20		53,5	20	
	68,8	30		76,1	30	
C5	16,1	10	3822,5	20,9	10	3782,3
	44,1	20		44,9	20	
	68,4	30		73,8	30	
C6	16,5	10	3829,8	21,6	10	3671,2
	42,9	20		44,0	20	
	68,7	30		76,1	30	
C7	19,7	10	3722,1	24,1	10	3597,1
	53,7	20		54,5	20	
	73,4	30		79,7	30	
C8	15,1	10	4030,5	21,9	10	3977,9
	45,9	20		47,9	20	
	64,7	30		72,2	30	

MEDICIONES INDIRECTAS						
	INFLUENCIA DEL ACERO			SIN INFLUENCIA DEL ACERO		
	Tiempo	Distancia	Velocidad	Tiempo	Distancia	Velocidad
C9	18,9	10	3965,6	24,2	10	3831,4
	48,7	20		50,2	20	
	69,3	30		76,4	30	
C10	18,0	10	3955,2	21,2	10	3811,9
	38,8	20		44,1	20	
	68,6	30		73,7	30	
C11	18,0	10	3950,0	22,8	10	3824,1
	51,2	20		53,5	20	
	68,6	30		75,1	30	
C12	17,9	10	3943,0	21,0	10	3840,4
	40,6	20		44,9	20	
	68,6	30		73,1	30	
C13	16,1	10	4030,5	22,0	10	4017,9
	41,2	20		42,9	20	
	65,7	30		71,8	30	
C14	18,7	10	3851,1	23,1	10	3717,5
	50,5	20		53,5	20	
	70,6	30		76,9	30	
C15	16,8	10	3856,0	19,9	10	3719,8
	37,8	20		45,0	20	
	68,7	30		73,7	30	
C16	18,0	10	3934,4	24,6	10	3883,5
	51,2	20		54,8	20	
	68,8	30		76,1	30	

MEDICIONES INDIRECTAS						
	INFLUENCIA DEL ACERO			SIN INFLUENCIA DEL ACERO		
	Tiempo	Distancia	Velocidad	Tiempo	Distancia	Velocidad
C17	16,1	10	3990,2	21,1	10	3870,1
	44,1	20		44,9	20	
	66,2	30		72,8	30	
C18	18,0	10	3878,5	20,5	10	3740,6
	38,8	20		44,1	20	
	69,6	30		74,0	30	
C19	18,0	10	3903,7	24,1	10	3824,1
	51,2	20		53,5	20	
	69,2	30		76,4	30	
C20	16,1	10	4071,5	23,9	10	3907,9
	44,1	20		44,9	20	
	65,2	30		75,1	30	