

Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO, USANDO
EQUIPO MEDIDOR DE VELOCIDAD DEL ULTRASONIDO**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

MUCHA MALLAUPOMA ALDO MARCO

ASESOR:

Ms. AYBAR ARRIOLA, GUSTAVO ADOLFO

JURADO:

Dr. PUMARICRA PADILLA, RAÚL VALENTÍN

Ms. GARCÍA URRUTIA OLAVARRÍA, ROQUE JESÚS LEONARDO

Ms. TABORY MALPARTIDA, GUSTAVO AUGUSTO

**LIMA – PERU
2018**

Dedicatoria

A mi hijo que es quien con una mirada me alienta a seguir creciendo.

A la mamá de mi hijo por el amor y la solvencia emocional que me da.

A mis padres y hermanos por ser el cimiento de mi vida.

Finalmente, a todos mis amigos por su cariño y confianza.

Agradecimiento

A mi Universidad Nacional Federico Villarreal y en especial a todos los profesores de mi
Facultad de Ingeniería Civil.

RESUMEN

La presente tesis titulada “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO DE LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO, USANDO EQUIPO MEDIDOR DE VELOCIDAD DEL ULTRASONIDO” tiene por finalidad elaborar una curva calibrada, en el equipo medidor de velocidad del ultrasonido, con datos de ensayos previos de velocidad de ultrasonido, uniformidad y resistencia en compresión; de la muestra o los testigos de concreto.

En la presente tesis se plantea resolver la necesidad de saber la resistencia a la compresión del concreto de la estructura de concreto, que está en servicio y así tener una información adicional a los resultados de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto.

El tema elegido para la presente tesis es importante porque sabiendo la resistencia real del concreto de las estructuras de concreto se puede garantizar economía y seguridad a todos los proveedores y consumidores involucrados en la industria del concreto.

Palabras clave: Resistencia a la compresión del concreto. Equipo medidor de velocidad de ultrasonido.

ABSTRACT

The present thesis entitled "DETERMINATION OF THE RESISTANCE TO COMPRESSION OF THE CONCRETE OF THE CONCRETE STRUCTURES, USING ULTRASOUND SPEED METER EQUIPMENT" has the purpose of prepare a calibrated curve in the ultrasound speed measuring equipment, with data from previous test of ultrasound speed, uniformity and resistance in compression; or the concrete witnesses.

In the present thesis it is proposed to solve the need to know the compressive strength of the concrete of the concrete structure, which is in service and thus have an additional information to the results of the resistance to compression of the concrete witnesses.

The theme chosen for this thesis is important because knowing the concrete resistance of concrete structures can guarantee economy and safety to all suppliers and consumers involved in the concrete industry.

Keywords: Resistance to the understanding of concrete. Ultrasound speed measuring equipment.

INDICE GENERAL

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
Capítulo I.....	25
Introducción	25
1.1 Generalidades	25
1.2 Justificación y finalidad del estudio	27
1.3 Objetivos	28
1.3.1 Objetivo general	28
1.3.2 Objetivos específicos.....	28
1.4 Limitaciones y problemas para desarrollar el estudio	29
1.5 Hipótesis	29
CAPÍTULO II	30
CONCRETO	30

2.1 Definición.....	30
2.2 ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO	31
2.2.1 Estudio del agregado	31
2.2.2 Estudio del agua	70
2.2.3 Estudio del cemento	73
2.2.4 Estudio del aditivo.....	79
2.3 Concreto en estado fresco.....	80
2.3.1 Elaboración del concreto en estado fresco	80
2.3.2 Control de calidad del concreto en estado fresco	87
2.4 Concreto en estado endurecido.....	97
2.4.1 Estructuras de concreto	98
2.4.2 Colocación de concreto en las estructuras.....	101
2.4.3 Criterios de aceptación del concreto	101
2.4.4 Criterios de rechazo del concreto	106
Capítulo III	108
Testigo de concreto	108
3.1 Definición.....	108

3.2 Característica del testigo de concreto.....	108
3.3 Clasificación.....	109
3.3.1 Por el tipo de concreto en función de la resistencia en compresión.....	109
3.3.2 Por el tamaño del testigo de concreto.....	110
3.4 Elaboración de testigos de concreto.....	111
3.4.1 Definición.....	112
3.4.2 Equipos.....	112
3.4.3 Procedimiento.....	113
3.5 Cuidado del testigo de concreto.....	114
3.5.1 Definición.....	114
3.6 Control de calidad del testigo de concreto.....	115
3.6.1 Medición del rebote del testigo de concreto, usando el martillo Schmidt.....	115
3.6.2 Determinación de la resistencia en compresión de los testigos de concreto, usando máquina de compresión.....	119
Capítulo IV.....	123
Instrumento de investigación.....	123
4.1 Definición.....	123

4.2 Características	123
4.3 Velocidad del ultrasonido.....	125
4.3.1 Definición.....	125
4.3.2 Medición de la velocidad del ultrasonido	126
Capítulo V	128
Aplicación del instrumento de investigación, metodología y comprobación	128
5.1 Antecedentes de la aplicación	128
5.2 Gestión para aplicación de la investigación	130
5.2.1 Investigación de la muestra o testigos de concreto	130
5.2.2 Selección de la muestra o testigos de concreto	132
5.3 Metodología para elaborar la curva calibrada	133
5.3.1 Pruebas o ensayos en los testigos de concreto o muestra para elaborar la curva calibrada	135
5.3.2 Procesamiento de resultados de los ensayos en los testigos de concreto	144
5.3.3 Generación de la curva calibrada	145
5.4 Metodología de comprobación de la investigación	147

5.4.1 Ubicación de las barras de refuerzo de las estructuras a evaluar para la comprobación	147
5.4.2 Determinación de la resistencia en compresión del concreto en las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido	150
Capítulo VI.....	154
Resultados de la Investigación	154
6.1 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de los cimientos y zapatas	154
6.1.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas	154
6.1.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas.....	155
6.1.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas.....	156
6.1.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas.....	157
6.1.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada	158
6.1.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas	159

6.1.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas	160
6.1.8 Resistencia en compresión del concreto de los Cimientos y Zapatas	161
6.2 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de las placas del sótano	162
6.2.1 Registro de las medidas geometricas de los testigos de concreto de las placas del sótano	162
6.2.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las placas del sótano.....	163
6.2.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las placas del sótano.....	164
6.2.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las placas del sótano.....	165
6.2.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada	166
6.2.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano	167
6.2.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano.....	168
6.2.8 Resistencia en compresión del concreto de las placas del sótano	169

6.3 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de las columnas.....	170
6.3.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de las columnas	170
6.3.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las columnas.....	171
6.3.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las columnas.....	172
6.3.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las columnas.....	173
6.3.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada	174
6.3.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las columnas	175
6.3.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las columnas.....	176
6.3.8 Resistencia en compresión del concreto de las Columnas	177
6.4 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de la losa del primer piso	178
6.4.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de la losa del primer piso.....	178

6.4.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de la losa del primer piso.....	179
6.4.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de la losa del primer piso	180
6.4.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de la losa del primer piso.....	181
6.4.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada	182
6.4.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso.	183
6.4.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso	184
6.4.8 Resistencia en compresión del concreto del concreto de la losa del primer piso	185
6.5 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de la losa del segundo piso y vigas	186
6.5.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	186
6.5.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	187

6.5.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas.....	188
6.5.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	189
6.5.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada	190
6.5.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas.....	191
6.5.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas.....	192
6.5.8 Resistencia en compresión del concreto del concreto de la losa del segundo piso y vigas	193
Conclusiones	194
Recomendaciones.....	199
Bibliografía.....	200
Anexo 1:	210
Resultados de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.....	210
Anexo 2:	216

Planos de la Estructura que sirvió para hacer la investigación.....	216
Anexo 3:	223
Panel Fotográfico	223

Índice de Figuras

Figura 1: Tamizador y tamices.....	34
Figura 2: Horno eléctrico	34
Figura 3: Balanza para pesar agregado grueso.....	35
Figura 4: Balanza para pesar agregado fino.....	35
Figura 5: Análisis granulométrico por tamizado.....	38
Figura 6: Patrón Gardner.....	47
Figura 7: Máquina de los Ángeles.....	50
Figura 8: Envases de medidas normalizadas.....	59
Figura 9: Varilla compactadora.....	59
Figura 10: Balanza con capacidad de 100 kg.....	60
Figura 11: Cono y pisón para ensayo de absorción.....	64
Figura 12: Recipiente volumétrico de vidrio de 500 cm ³	64
Figura 13: Balanza hidrostática.....	67
Figura 14: Conjunto Cono Abrahams para ensayo de asentamiento.....	88
Figura 15: Equipo determinador de aire con accesorios.....	93

Figura 16: Molde de $\frac{1}{2}$ pie ³ con un asa metálica.....	96
Figura 17: Moldes para testigos de concreto.....	112
Figura 18: Esclerómetro, Martillo de Schmidt.....	117
Figura 19: Máquina de ensayos en compresión de testigos de concreto.....	120
Figura 20: Equipo medidor de velocidad del ultrasonido.	124
Figura 21: Pantallas de navegación del equipo medidor de velocidad del ultrasonido.....	125
Figura 22: Curva calibrada con fórmula Sonreb	146
Figura 23: Curva calibrada con fórmula Exponencial.....	146
Figura 24: Dispositivo detector de barras de refuerzo	148
Figura 25: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, mostrado en la pantalla del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido	152
Figura 26: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, mostrado en el Excel del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido.....	153
Figura 27: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras del concreto, mostrado en el software PunditLink	153
Figura 28: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas	159

Figura 29: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas160

Figura 30: Resistencia en compresión del concreto de los Cimientos y Zapatas161

Figura 31: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano.....167

Figura 32: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano.....168

Figura 33: Resistencia en compresión del concreto de las placas del sótano.....169

Figura 34: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las columnas.....175

Figura 35: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las columnas.176

Figura 36: Resistencia en compresión del concreto de las Columnas.....177

Figura 37: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso.....183

Figura 38: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso.....184

Figura 39: Resistencia en compresión del concreto del concreto de la losa del primer piso185

Figura 40: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	191
Figura 41 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	192
Figura 42: Resistencia en compresión del concreto del concreto de la losa del segundo piso y vigas	193
Figura 43: Equipo medidor de velocidad del ultrasonido	194
Figura 44: Resistencia a la compresión.....	195
Figura 45: Calibración de curvas – imagen 1	196
Figura 46: Calibración de curvas – imagen 2.....	196
Figura 47: Calibración de curvas – imagen 3.....	197
Figura 48: Plano de Distribución sótano.	217
Figura 49: Plano de Distribución Primer Piso.....	218
Figura 50: Plano de Distribución Segundo Piso.....	219
Figura 51: Plano de Distribución Tecer Piso.....	220
Figura 52: Plano de Azotea.	221
Figura 53: Plano de techos.	222

Figura 54: Ensayo de velocidad del ultrasonido a los testigos de concreto.224

Figura 55: Ensayo de esclerometría a los testigos de concreto.224

Figura 56: Ensayo de resistencia en compresión de testigos de concreto224

Figura 57 Ensayo de detección de barras de refuerzo del concreto de las estructuras en proceso de construcción224

Figura 58: Ensayo de detección de barras de refuerzo del concreto de la estructura completamente acabada224

Figura 59: Ensayo de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, del edificio en proceso de construcción224

Figura 60: Ensayo de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, del edificio terminado224

Índice de tablas

Tabla 1: Lista de tamices para agregados.....	33
Tabla 2: Cantidad del agregado grueso según normas NTP y ASTM.	36
Tabla 3: Obtención peso mínimo	40
Tabla 4: Número de tamiz y abertura de malla	42
Tabla 5: Peso mínimo lavado seco	44
Tabla 6: Tamizado de muestras vía húmeda	45
Tabla 7: Colores y observaciones.....	48
Tabla 8: Tamices y aberturas de mallas.	51
Tabla 9: Gradación tamaño mayores.....	51
Tabla 10: Gradación tamaños menores	52
Tabla 11: Gradación y número de esferas.	53
Tabla 12: Tamaño máximo, tamaño máximo nominal y recipiente ASTM.....	61
Tabla 13: Rangos de Temperatura Máximos y Mínimos	92
Tabla 14: Toma de medidas geométricas de los testigos de concreto.....	133
Tabla 15: Registro de tiempo y velocidad de ultrasonido en testigos de concreto	137

Tabla 16: Registro de Rebote Martillo Schmidt de los testigos de concreto	140
Tabla 17: Registro de Resistencia en compresión de los testigos de concreto.....	143
Tabla 18: Registro de Valores que se usa para Calibrar la Curva.....	145
Tabla 19: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas	154
Tabla 20: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas	155
Tabla 21: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas	156
Tabla 22: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas	157
Tabla 23: Resumen de valores para generar la curva calibrada	158
Tabla 24: Registro de las medidas geometricas de los testigos de concreto de las placas del sótano	162
Tabla 25: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las placas del sótano	163
Tabla 26: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las placas del sótano.....	164

Tabla 27: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las placas del sótano	165
Tabla 28: Resumen de valores para generar la curva calibrada	166
Tabla 29: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de las columnas. ...	170
Tabla 30: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las columnas	171
Tabla 31: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las columnas	172
Tabla 32: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las columnas	173
Tabla 33: Resumen de valores para generar la curva calibrada	174
Tabla 34: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de la losa del primer piso	178
Tabla 35: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de la losa del primer piso	179
Tabla 36: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de la losa del primer piso.....	180
Tabla 37: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de la losa del primer piso	181

Tabla 38:Resumen de valores para generar la curva calibrada	182
Tabla 39: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas.....	186
Tabla 40: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	187
Tabla 41: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	188
Tabla 42: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas	189
Tabla 43: Resumen de valores para generar la curva calibrada	190

Capítulo I

Introducción

1.1 Generalidades

Usando una curva calibrada de un equipo que mide la velocidad del ultrasonido, se determina la resistencia a la compresión del concreto colocado en las estructuras de concreto. La curva calibrada se elabora u obtiene con datos que pertenecen a una nube de puntos que son el resultado de pruebas o ensayos que se realizan a una muestra que está compuesto por testigos de concreto. Esta muestra que está compuesta por testigos de concreto pertenece al mismo lote del concreto colocado en las estructuras de concreto y son obtenidos justo antes de que el concreto en estado fresco, es colocado en los encofrados que se usan para moldear la forma de la estructura de concreto.

A cada testigo, componente de la muestra, se le realiza tres pruebas o ensayos que configuran un punto de la nube de puntos, desde donde se obtiene la curva calibrada, haciendo uso del procesamiento estadístico, matemático y del software del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido.

Las tres pruebas o ensayos que se le hacen a cada testigo de concreto, componente de la muestra, son: la determinación de la velocidad del ultrasonido, la determinación de uniformidad y la determinación de la resistencia a la compresión.

Los equipos que se usan para determinar la velocidad del ultrasonido, la uniformidad y la resistencia a la compresión en los testigos de concreto son: el Equipo medidor de velocidad del Ultrasonido, el equipo medidor de uniformidad conocido también como Esclerómetro o Martillo Schmidt y la Máquina de Compresión de testigos de concreto.

La velocidad del ultrasonido, del testigo de concreto, se determina con un equipo electrónico digital que es capaz de medir el tiempo de viaje del ultrasonido través de las áreas de contacto del testigo de concreto y además, es capaz, de calcular automáticamente la velocidad del ultrasonido, al ser ingresado la distancia entre las áreas de contacto del testigo de concreto.

La uniformidad del testigo de concreto se determina con un equipo electrónico digital que es capaz de medir, el valor del impacto de una esfera interna, sobre el área de contacto del testigo de concreto. Este equipo también es conocido como el Martillo Schmidt o Esclerómetro y el valor de impacto que genera sobre el área de contacto del testigo de concreto, es un número adimensional.

La resistencia a la compresión del testigo de concreto se determina con una máquina de compresión electrohidráulica digital, que es capaz de aplicar una fuerza estandarizada a una velocidad de carga, controlada. También es capaz de aplicar una fuerza distribuida simétricamente, sobre el área de contacto del testigo de concreto, además de calcular automáticamente la resistencia a la compresión, al ser ingresado el diámetro del testigo de concreto.

El resultado de estas tres pruebas o ensayos, por cada testigo de concreto conforman la nueve de puntos que son procesados y filtrados estadísticamente, luego ingresados al software del equipo medidor de velocidad de ultrasonido, para generar la curva calibrada.

Finalmente, usando el equipo medidor de la velocidad de ultrasonido y usando la curva calibrada, generada en el equipo, se podrá determinar directamente y de manera no destructiva, la resistencia a la compresión del concreto colocado en las estructuras de concreto.

1.2 Justificación y finalidad del estudio

Justifico esta investigación porque planteo resolver la necesidad de saber la resistencia a la compresión del concreto de la estructura de concreto, que está en servicio y así tener una información adicional a los resultados de la resistencia a la compresión de los testigos de concreto. La finalidad es de importancia porque sabiendo la resistencia real del concreto de las estructuras de concreto se puede garantizar economía y seguridad a todos los proveedores y consumidores involucrados en la industria del concreto

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando la curva calibrada del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido.

Difundir esta técnica o procedimiento de evaluación no destructiva para determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando el equipo medidor de la velocidad del ultrasonido.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar una curva calibrada, en el equipo medidor de velocidad del ultrasonido, con datos la muestra o los testigos de concreto
- Determinar la velocidad del ultrasonido que pasan a través de las áreas de contacto de la muestra o los testigos de concreto.
- Determinar la uniformidad de la muestra o los testigos de concreto.
- Determinar la resistencia a la compresión de la muestra o los testigos de concreto.

1.4 Limitaciones y problemas para desarrollar el estudio

La principal limitación y problema que tuve fue, encontrar la muestra para hacer las investigaciones prácticas, es decir las mediciones a los testigos y del concreto de la estructura de concreto. Esto debido a la falta de interés por la investigación, el desconocimiento de esta tecnología y sus procedimientos. Estos procedimientos que aplican procedimientos de ensayos no destructivos, y usan tecnologías modernas, requieren la atención y el análisis de los profesionales para determinar la resistencia a la compresión del concreto de la estructura de concreto.

Una prueba real de la limitación y el problema es la demora en la presentación de esta tesis, porque toque muchas puertas para hacer las pruebas y sólo una empresa me facilitó tomar sus testigos y hacer pruebas de su estructura.

1.5 Hipótesis

El uso de una curva calibrada, con datos de la muestra, del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido, determinará la resistencia a la compresión del concreto de la estructura del concreto directamente.

CAPÍTULO II

CONCRETO

2.1 Definición

El concreto es un material que se usa para construir infraestructuras de servicio y satisfacción para la humanidad. Tiene dos etapas importantes en función de su estado, el estado plástico también llamado concreto fresco y el estado endurecido. Se obtiene de la mezcla de cuatro componentes que son el agregado, el cemento, el agua y aditivo. La mezcla se realiza con cantidades de los componentes, determinados en un proceso de estudio de clasificación y diseño.

El estudio de clasificación son las etapas donde se estudia básicamente la calidad agregado, la calidad del agua, del cemento y del aditivo. Estas etapas involucran el análisis de los componentes del concreto en el laboratorio de ensayo de materiales, siguiendo los procedimientos establecidos en las normas de ensayos vigentes propias de nuestra jurisdicción e internacionales.

El diseño es el cálculo matemático que se realiza con los resultados obtenidos en el estudio de clasificación, denominados ensayos de calidad de los componentes y ensayos con fines de diseño. El resultado final es saber la cantidad de los componentes que son: cantidad de agregado, fino y grueso, cantidad del cemento, volumen del agua y del aditivo; que forman parte de la mezcla para obtener concreto en estado plástico o concreto fresco.

El Proceso de la mezcla del concreto fresco, el concreto fresco, la obtención del testigo de concreto y el testigo de concreto, también son monitoreados con ensayos de control de calidad desde el inicio del mezclado hasta la obtención del testigo de concreto.

La muestra que es el testigo de concreto tiene entre sus principales características, que es un concreto que está en proceso de endurecerse, el factor geométrico y factor de homogeneidad respecto a la clasificación del concreto. Geométricamente es de forma cilíndrica y tiene una relación entre el diámetro de la base y la altura de su generatriz, homogéneamente es uniforme respecto a la clasificación del concreto; sin embargo, es importante tener en cuenta la heterogeneidad desde el punto de vista de sus componentes ya que es una mezcla con diferentes tipos de materiales.

2.2 ESTUDIO DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

Estudiaremos a los componentes del concreto que son: el agregado, el cemento, el agua y el aditivo.

2.2.1 Estudio del agregado

Es el proceso de ensayos y análisis que se realizan al agregado fino y grueso en el laboratorio de ensayo de materiales e involucran los ensayos de calidad del agregado y ensayos al agregado con fines de diseño.

- **Ensayos de calidad del agregado**

Son los ensayos que se realizan al agregado, grueso y fino, en el laboratorio de ensayo de materiales para determinar su calidad. Los ensayos de calidad se realizan de manera global y/o independiente, tanto al agregado fino, como al agregado grueso. Para el agregado fino se realizan los siguientes ensayos: ensayo de análisis granulométrico, ensayo de terrones de arcilla y ensayo de impurezas orgánicas. Para el agregado grueso se realiza los siguientes ensayos: ensayo de análisis granulométrico, ensayo de terrones de arcilla, ensayo de durabilidad y ensayo de desgaste por abrasión.

Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino y el agregado grueso

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.012 y ASTM C136.

Definición

Se define como la clasificación del material de acuerdo con el tamaño de sus partículas. Para los agregados gruesos se aplica el cumplimiento Huso: H57, H67 y H89.

Equipos

Tamices de 8 pulgadas de diámetro que cumplen los estándares de calidad ASTM E11, ISO 565 e ISO 3310-1; con mallas de aberturas nominadas en la tabla N° 1

Tabla 1: Lista de tamices para agregados

Agregado Fino		Agregado Grueso		Agregado Global	
N° Tamiz	Abertura de malla	N° Tamiz	Abertura de malla	N° Tamiz	Abertura de malla
N° 4	4.75 mm	2 ½"	63.0 mm	2 ½"	63.0 mm
N° 8	2.36 mm	2"	50.0 mm	2"	50.0 mm
N° 16	1.18 mm	1 ½"	38.1 mm	1 ½"	38.1 mm
N° 30	600 µm	1"	25.0 mm	1"	25.0 mm
N° 50	300 µm	¾"	19.0 mm	¾"	19.0 mm
N° 100	150 µm	½"	12.5 mm	½"	12.5 mm
FOND		⅜"	9.5 mm	⅜"	9.5 mm
		N° 4	4.75 mm	N° 4	4.75 mm
		FOND		N° 8	2.36 mm
				N° 16	1.18 mm
				N° 30	600 µm
				N° 50	300 µm
				N° 100	150 µm
				FOND	FOND

Fuente: Propia.

Figura 1: Tamizador y tamices



Fuente: Propia.

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara.

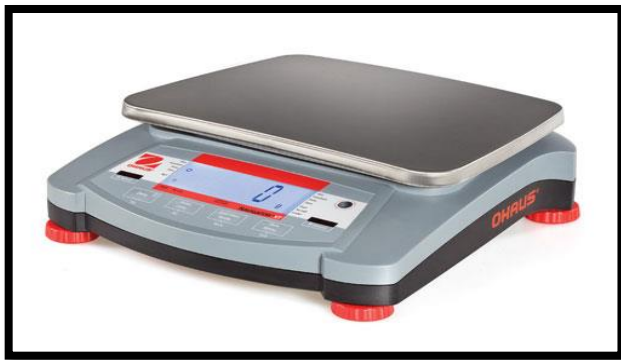
Figura 2: Horno eléctrico



Fuente: Propia.

Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de un 1 g.

Figura 3: Balanza para pesar agregado grueso.



Fuente: Propia.

Una balanza para pesar agregado fino con una capacidad de 6000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g.

Figura 4: Balanza para pesar agregado fino.



Fuente: Propia.

Accesorios varios tales como recipientes, escobillas de cerda metálica, cucharones, etc.

Procedimiento

Para el agregado fino, cuartear la muestra que debe tener cierta humedad para evitar la segregación de los granos gruesos. Cuartear la muestra hasta obtener una muestra aproximada superior a 500 g en estado seco. Colocar la muestra en un recipiente metálico, llevarlos al horno a secar hasta obtener un peso constante o 24 horas. Registrar el peso seco y luego tamizar.

Para el agregado grueso, cuartear la muestra hasta obtener un peso en estado seco, mínimo de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2: Cantidad del agregado grueso según normas NTP y ASTM.

Tamaño Nominal	Norma NTP	Norma ASTM
2 ½"	25 Kg	35 Kg
2"	20 Kg	20 Kg
1 ½"	16 Kg	15 Kg
1"	12 Kg	10 Kg
¾"	8 Kg	5 Kg
½"	4 Kg	2 Kg
⅜"	2 Kg	1 Kg

Fuente: ASTM.

El proceso de tamizado comienza vertiendo la muestra seca sobre las mallas de los tamices que están puestos uno sobre otros, entendiéndose que los tamices con mallas de mayor abertura están sobre los tamices con mallas de menor abertura, según la lista:

Tamices con abertura de malla: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100

Cálculos y datos obtenidos

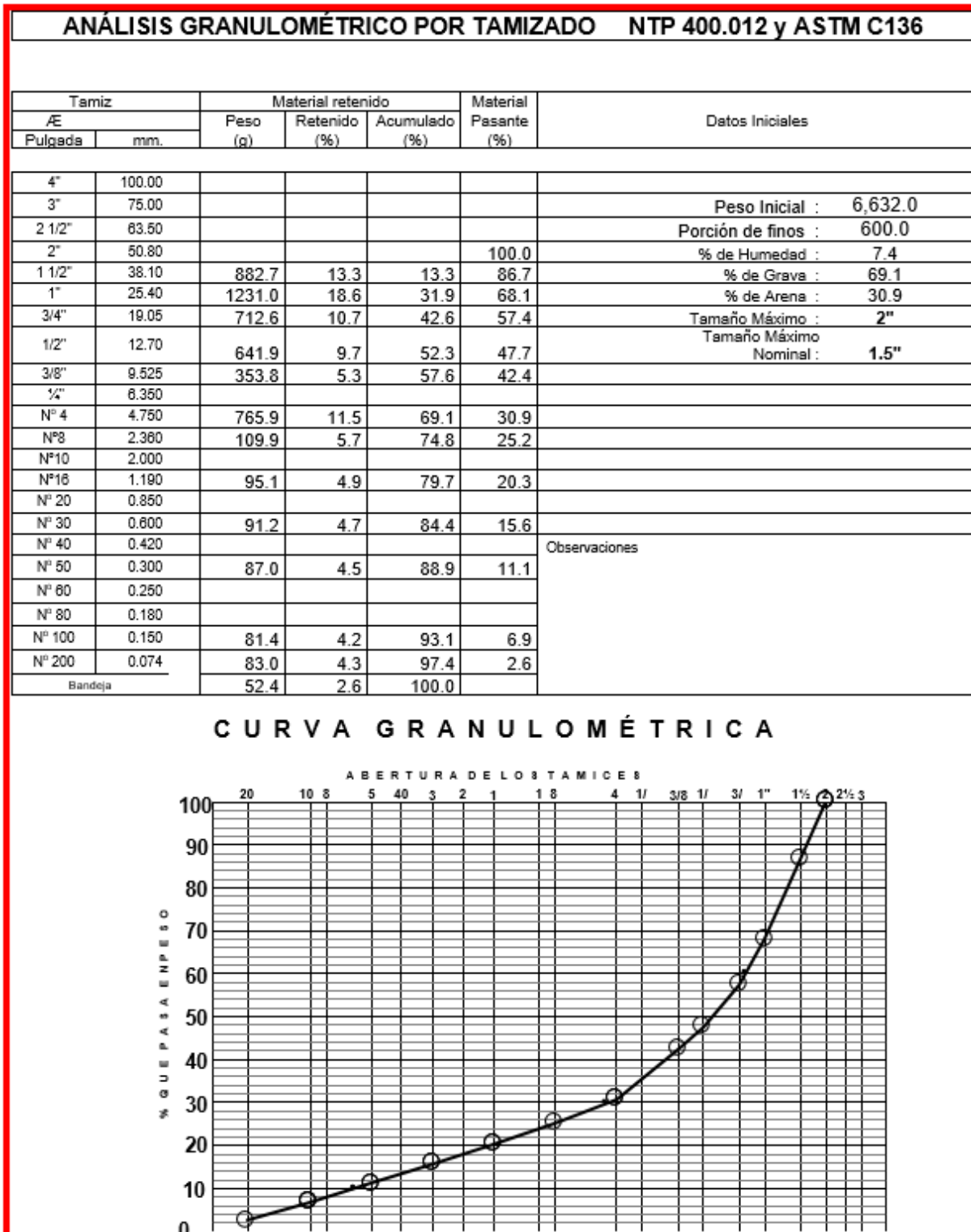
$\% \text{ Retenido} = \text{Peso Retenido} / \text{Peso Total}$

Donde:

Peso Retenido, es el peso del agregado retenido en cada malla

Peso Total, es el peso total del agregado

Figura 5: Análisis granulométrico por tamizado



Fuente: Propia.

Los resultados obtenidos se pueden ver y analizar en el formato estándar que se utiliza para reportar el resultado de este ensayo.

De los resultados se obtiene varios conceptos que nos servirán para analizar la calidad del agregado para hacer el diseño, de los cuales citaremos a los más importantes.

Tamaño máximo nominal (TMN): Es el tamiz de mayor abertura que produce el primer retenido. Es la malla inmediata inferior al tamaño máximo.

Tamaño máximo (TM): Es el tamiz de menor abertura por el cual pasa la totalidad del agregado. Es el tamiz inmediato superior del tamaño máximo nominal.

Ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.018, ASTM C 117 y se le realiza al agregado grueso y también al agregado fino

Definición

Es el ensayo que nos indica el porcentaje de material que pasa el tamiz con malla N°200. Este material en cantidades pequeñas o moderadas es beneficioso para el concreto y en cantidades mayores o exageradas es perjudicial para el concreto.

Equipos

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara.

Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de 1 g. Una balanza para pesar agregado fino con una capacidad de 6000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g. Accesorios varios tales como recipientes, escobillas de cerda metálica, cucharones y otros.

Procedimiento

Cuartear una muestra y secar al horno de tal forma que obtenemos un peso mínimo en estado seco de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 3: Obtención peso mínimo

Fuente: ASTM

Tamiz		Peso Mínimo G
Pasa	Retiene	
Nº 4	Nº 8	100 g
3/8"	Nº 4	500 g
3/4"	3/8"	2000 g
1 1/2"	3/4"	2500 g
>	1 1/2"	5000

Registrar el peso inicial seco y lavarlo usando el tamiz N°200, colocarlos en un recipiente y secarlo en el horno hasta obtener peso constante. Después de secar pesar y registrar.

Cálculos y datos obtenidos

Porcentaje de finos = $((PI-PF)/PI) \times 100$

PI: Peso inicial seco en g

PF: Peso final seco en g

Nota:

Si el resultado es $< 10\%$ se aproxima a 0.01

Si el resultado es $> 10\%$ se aproxima al entero

Ensayo de terrones de arcilla y partículas friables

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.015, ASTM C 142. y se le realiza al agregado fino y al agregado grueso

Definición

Este ensayo se realiza para determinar el porcentaje de material deleznable que existe en los agregados que se usan para elaborar concreto.

Equipos

Tamices de 8 pulgadas de diámetro que cumplen los estándares de calidad ASTM E11, ISO 565 e ISO 3310-1; con mallas de las siguientes nominaciones y aberturas.

Tabla 4: Número de tamiz y abertura de malla

Fuente: ASTM.

Nº de Tamiz	Abertura de Malla
1 1/2"	38.1 mm
3/4"	19.0 mm
3/8"	9.50 mm
Nº 4	4.75 mm
Nº 8	2.36 mm
Nº 16	1.18 mm
Nº 20	850 µm

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en 110 °C +/- 5 °C y de manera uniforme en toda la cámara.

Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de 1 g.

Una balanza para pesar agregado fino con una capacidad de 6000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g.

Cinco litros de agua destilada.

Procedimiento

Para analizar el agregado fino, usar el remanente del ensayo de material más fino que pasa la malla N° 200 y obtener una muestra compuesta de 50 g de material lavado y seco que pasa el tamiz N° 4 y retiene el tamiz N° 8, más 50 g de material lavado y seco que pasa el tamiz N° 8 y retiene el tamiz N° 16.

Para analizar el agregado grueso, también usar el remanente del ensayo material más fino que pasa la malla N° 200 y obtener material de acuerdo la siguiente tabla.

Tabla 5: Peso mínimo lavado seco

Tamiz		Peso mínimo lavado seco
Pasa	Retiene	
$\frac{3}{8}$ "	N° 4	1000 g
$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{8}$ "	2000 g
1 $\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{4}$ "	3000 g
>	1 $\frac{1}{2}$ "	5000 g

Fuente: ASTM.

Nota:

En el caso del agregado grueso cada tamaño de muestra se ensaya por separado.

Obtenidos las muestras, registrar los pesos iniciales de las muestras a ensayar y saturar en agua destilada, hasta cubrir totalmente los agregados, por un tiempo de 24 horas.

Tamizar las muestras vía húmeda, usando un juego de tamices con las siguientes mallas, de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 6: Tamizado de muestras vía húmeda

Muestra	Tamizar por
Agregado	Nº 20
$\frac{3}{8}$ " – Nº 4	Nº 8
$\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ "	Nº 4
$1 \frac{1}{2}$ " – $\frac{3}{4}$ "	Nº 4
$> 1 \frac{1}{2}$ "	Nº 4

Fuente: ASTM.

Cuando se realiza el tamizado vía húmeda por los tamices especificados se tiene que presionar el agregado con la yema de los dedos contra la malla de tamiz un agregado a la vez (uno por uno), nunca usar las uñas, los terrones de arcilla y partículas friables se disgregarán y pasarán la malla.

Cálculos y datos obtenidos

$$\% P = (R/W) \times 100$$

Dónde:

P: Terrones de arcillas y partículas friables

R: Peso de terrones de arcilla y partículas friables

W: Peso inicial de la muestra

Nota:

En el caso del agregado grueso el porcentaje de terrones de arcilla y partículas friables es el promedio de los resultados obtenidos por cada tamiz utilizado. Los resultados se presentan con aproximación a 0.1 %.

Ensayo de impurezas orgánicas

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.013, ASTM C 10 y se le realiza al agregado fino.

Definición

Este ensayo nos alerta si el agregado fino contiene impurezas orgánicas, estas impurezas generalmente se forman de restos vegetales. Las impurezas orgánicas afectan al cemento en el proceso de hidratación, reduciendo la resistencia y alterando el fraguado de éste.

Equipos

Seis botellas de vidrio de 16 onzas, transparente y graduadas.

Dos litros de Solución de hidróxido de sodio al 3 %.

Una cartilla de colores llamado Patrón Gardner.

Figura 6: Patrón Gardner



Fuente: Propia.

Una balanza para 6000 g. con precisión y legibilidad de un 0.1 g.

Herramientas varias.

Procedimiento

Preparar 3 litros de la solución de hidróxido de sodio al 3 % en un recipiente esterilizado de aproximadamente 5 litros mezclando 90 g de hidróxido de sodio en perlas y agua destilada, remover hasta que el hidróxido de sodio se disuelva completamente. Guardar la solución en el envase de vidrio de preferencia oscuro y de 5 litros de capacidad aproximadamente, por un tiempo de 48 horas antes de ser usado.

Pesar aproximadamente 500 g de material fino aparentemente seco e introducirlo en la botella de vidrio de 16 onzas con la ayuda de un embudo, agregarle la solución de hidróxido de sodio al 3% preparado anteriormente, agitar bien y dejar reposar por un tiempo de 24 horas. Después de las 24 horas, comparar la mezcla reposada con el Patrón Gardner y clasificarlo de acuerdo con el color que más se aproxima y de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 7: Colores y observaciones

Color	Observación
1	No presenta impurezas orgánicas
2	Presenta trazas de impurezas orgánicas

3	Presente impurezas
4	Alto contenido de impurezas orgánicas
5	Alto contenido de impurezas orgánicas

Fuente: Propia.

Nota:

El agregado fino se considera aceptable hasta el color número 3, si llega a superar este color, se tiene que comparar la arena observada con una arena que se considera buena a través del ensayo de resistencia a la compresión. Si la resistencia a la compresión del testigo de concreto hecho con la arena cuestionada supera el 95% respecto de la resistencia a la compresión del testigo de concreto hecho con arena considerada buena; la arena cuestionada, se considera satisfactoria. Si no alcanza esta condición se descarta la utilización de esta arena para elaborar concreto.

Ensayo de desgaste por abrasión

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.020, ASTM C 535 para tamaños mayores y NTP 400.019, ASTM C 131 para tamaños menores.

Definición

Se define como el desgaste mecánico que sufre una muestra sometida a abrasión.

Equipos

Una máquina de abrasión llamada, Máquina de los Ángeles, que tiene como accesorios principal 12 esferas de acero que son los que producen el desgaste en los agregados.

Figura 7: Máquina de los Ángeles



Fuente: Propia.

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara. Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de 1 g.

Un tamiz de 8 pulgadas de diámetro, N° 12 con abertura de malla de 1.7 mm. Tamices de 8 pulgadas de diámetro que cumplen los estándares de calidad ASTM E11, ISO 564 e ISO 3310-1; con mallas de las siguientes nominaciones y aberturas.

Tabla 8: Tamices y aberturas de mallas.

Tamaños Menores		Tamaños Mayores	
N° Tamiz	Abertura de malla	N° Tamiz	Abertura de malla
1 ½"	38.1 mm	3"	75.0 mm
1"	25.0 mm	2 ½"	63.0 mm
¾"	19.0 mm	2"	50.0 mm
½"	12.5 mm	1 ½"	38.1 mm
⅜"	9.50 mm	1"	25.0 mm
¼"	6.30 mm	¾"	19.0 mm
N° 4	4.75 mm		
N° 8	2.36 mm		

Fuente: ASTM.

Procedimiento

Realizar un análisis granulométrico del agregado grueso. Determinar el método a usar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 9: Gradación tamaño mayores

Tamiz		Gradación Tamaños Mayores		
Pasa	Retiene	1	2	3
3"	2 ½"	2500 ± 50		
2 ½"	2"	2500 ± 50		
2"	1 ½"	5000 ± 50	5000 ± 50	

1 1/2"	1"		5000 ± 25	5000 ± 25
1"	3/4"			5000 ± 25
TOTAL		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

Fuente: ASTM.

Tabla 10: Gradación tamaños menores

Tamiz		Gradación Tamaños Menores			
Pasa	Retiene	1	2	3	4
1 1/2"	1"	1250 ± 25			
1"	3/4"	1250 ± 25			
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
3/8"	1/4"			2500 ± 10	
1/4"	Nº 4			2500 ± 10	
Nº 4	Nº 8				5000 ± 10
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 50

Fuente: ASTM.

El método se determina comparando los porcentajes retenidos del análisis granulométrico con el método que más se asemeja a ella.

Una vez determinado el método a usar, separar el material por las mallas y en cantidad suficiente para formar la muestra compuesta. Lavar el material y secar hasta peso constante. Pesarse

la muestra, introducirlo a la máquina de abrasión y adicionarle la carga abrasiva de acuerdo con la siguiente tabla.

Tabla 11: Gradación y número de esferas.

Gradación	Nº de Esferas
1	12
2	12
3	12
A	12
B	11
C	8
D	6

Fuente: ASTM.

Hacer girar la máquina de abrasión a 500 revoluciones en caso de tamaños menores y 1000 revoluciones en caso de tamaños mayores. Retirar la muestra, tamizar por la malla N° 12 (1.70 mm). Lo retenido lavar, secar al horno y tamizar nuevamente por la malla N° 12 (1.70 mm) y pesar.

Cálculos y datos obtenidos

$$\% \text{ de Abrasión} = ((PI - PF) / PI) \times 100$$

Dónde:

PI: Peso inicial seco en g

PF: Peso final seco en g

Nota:

Se puede calcular la uniformidad del desgaste, para eso necesitamos un dato que sale de, parar la maquina a un 20 % de las revoluciones totales (100 revoluciones para tamaños menores y 200 revoluciones para tamaños mayores), retirar el material y tamizar con la malla N°12, luego pesar y registrar el peso del material retenido en el tamiz N°12. Para terminar el análisis, regresar todo el material, incluyendo en pasante del tamiz N°12 a la máquina de los ángeles, agregar la carga abrasiva y completar las revoluciones.

$$\text{Uniformidad desgaste} = (PI - P20\%) / (PI - PF)$$

Dónde:

P20%: Peso del agregado al 20 % de las revoluciones.

Ensayos de calidad del agregado con fines de diseño.

Estos ensayos se hacen con el propósito de estudiar y diseñar mezclas de concreto, consiste en hacer los siguientes ensayos para el agregado fino y el agregado grueso: Ensayo de

granulometría, ensayo de pesos unitarios, ensayo de peso específico y porcentaje de absorción, y ensayo del contenido de humedad.

Ensayo de análisis granulométrico del agregado fino y el agregado grueso

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.012 y ASTM C136.

Definición

Se define como la clasificación del material de acuerdo con el tamaño de sus partículas. Para los agregados gruesos se aplica el cumplimiento de los H57, H67 y H89.

Equipos

Tamices de 8 pulgadas de diámetro que cumplen los estándares de calidad ASTM E11, ISO 565 e ISO 3310-1; con mallas de aberturas nominadas. Un horno eléctrico con la capacidad de

mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara. Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de un 1 g.

Una balanza para pesar agregado fino con una capacidad de 6000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g. Accesorios varios tales como recipientes, escobillas de cerda metálica, cucharones, etc.

Procedimiento

Para el agregado fino, cuartear la muestra que debe tener cierta humedad para evitar la segregación de los granos gruesos. Cuartear la muestra hasta obtener una muestra aproximada superior a 500 g en estado seco. Colocar la muestra en un recipiente metálico, llevarlos al horno a secar hasta obtener un peso constante o 24 horas. Registrar el peso seco y luego tamizar. Para el agregado grueso, cuartear la muestra hasta obtener un peso en estado seco. El proceso de tamizado comienza vertiendo la muestra seca sobre las mallas de los tamices que están puestos uno sobre otros, entendiéndose que los tamices con mallas de mayor abertura están sobre los tamices con mallas de menor abertura, según la lista y como indica la figura:

Malla de $2\frac{1}{2}$ ", 2", $1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100

Cálculos y datos obtenidos

$\% \text{ Retenido} = \text{Peso Retenido} / \text{Peso Total}$

Donde:

Peso Retenido, es el peso del agregado retenido en cada malla

Peso Total, es el peso total del agregado

De los resultados se obtiene varios conceptos que nos servirán para analizar la calidad del agregado para hacer el diseño, de los cuales citaremos a los más importantes.

Tamaño máximo nominal (TMN): Es el tamiz de mayor abertura que produce el primer retenido. Es la malla inmediata inferior al tamaño máximo.

Tamaño máximo (TM): Es el tamiz de menor abertura por el cual pasa la totalidad del agregado. Es el tamiz inmediato superior del tamaño máximo nominal.

Ensayo de peso unitario

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.017 y ASTM C29.

Definición

Es la cantidad de agregado que entra en un metro cubico incluido los vacíos. Se expresa en Kg/m³ se en estado suelto o compactado.

Equipos

Envases de medidas normalizadas para el ensayo de peso unitario de: 1/10 pie³, 1/2 pie³, 1/3 pi³ y 1 pie³.

Figura 8: Envases de medidas normalizadas



Fuente: Propia.

Una varilla compactadora de fierro lizo con punta en bola o semiesfera de 5/8 pulgadas de diámetro por 24 pulgadas de longitud.

Figura 9: Varilla compactadora.



Fuente: Propia.

Una balanza para pesar agregado grueso con una capacidad de 100 Kg, con precisión y legibilidad de un 5 g.

Figura 10: Balanza con capacidad de 100 kg.



Fuente: Propia.

Un mazo de goma.

Accesorios varios tales como recipientes, escobillas, cucharones y otro.

Procedimiento

Usar una muestra que este entre 125 % a 200 % de la capacidad del volumen del recipiente a usar. La muestra debe estar seca preferiblemente o con una humedad que no deje que los granos se adhieren entre ellos (aparentemente seco).

Utilizar los envases de peso unitario de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 12: Tamaño máximo, tamaño máximo nominal y recipiente ASTM.

Tamaño Máximo	Tamaño Máximo Nominal	Recipiente ASTM
¾"	½"	1/10 pie ³
1 ½"	1"	1/3 pie ³
2"	1 ½"	1/2 pie ³
3 ½"	3"	1 pie ³
5"	4 ½"	2 ½ pie ³
6 ½"	6"	3 ½ pie ³

Fuente: ASTM.

Para realizar el ensayo de peso unitario suelto, se coloca el recipiente en una base nivelada y libre de vibraciones. Se deja caer el agregado desde una altura que está a 2 pulgadas a 5 cm aproximadamente del borde superior del molde. Se llena en exceso y se enrasa. En el caso del agregado grueso cuando se enrasa, deja vacíos los cuales se completan con agregado más pequeño; luego pesar.

Para ensayar el peso unitario compactado, llenar el recipiente en tres capas, compactando cada capa por uno de los dos métodos.

Método del varillado que se usa para agregados de tamaño máximo nominal menor a 1 1/2 pulgada, este consiste en apisonar 25 veces con la varilla compactadora en forma de espiral comenzando por los bordes y acabando en el centro, luego darle algunos golpes con el mazo de goma, en la parte exterior del molde. Completar de la misma forma con la segunda y la tercera capa. A partir de la segunda capa la varilla compactadora tiene que penetrar aproximadamente 1 pulgada a la capa inferior. La tercera capa se llena en exceso, se enrasa y se pesa.

El otro método, de percusión, es usado para agregados con tamaño máximo nominal mayor a 1 1/2 pulgada y usando recipientes de 1 pie³ para arriba. Consiste en llenar el recipiente en 3 capas compactando capa con 50 golpes que son proporcionados levantando un lado del recipiente hasta una altura aproximada de 5 cm y dejándolo caer. Hacer esto en los lados opuestos del recipiente, 25 caídas por cada lado, enrasar y pesar.

Cálculos y datos obtenidos

PU Aparente = Peso muestra / Volumen recipiente

PU Seco = (PU Aparente/CH+100) x 100

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.022 y ASTM C-1289.

Definición

El peso específico es la cantidad de veces que entra un peso en un determinado volumen sin incluir al aire ni a los vacíos.

El porcentaje de absorción es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua, expresado en porcentaje.

Equipos

Un cono y pisón para ensayo de absorción de agua con medidas y pesos ASTM.

Figura 11: Cono y pisón para ensayo de absorción



Fuente: Propia.

Figura 12: Recipiente volumétrico de vidrio de 500 cm³.



Fuente: Propia.

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara.

Una balanza para pesar agregado fino con una capacidad de 6000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g.

Accesorios varios tales como recipientes, embudos, cucharones y otros.

Procedimiento

Tomar aproximadamente 1.5 Kg de agregado fino y saturarlo por un tiempo de 24 horas.

Decantar el agua evitando absolutamente la pérdida de algún grano o finos de la muestra y extender ésta en una superficie no absorbente de tal manera que la superficie de los granos se vaya secando.

Hacer pruebas de la muestra extendida usando el cono de absorción, hasta encontrar la condición de saturado superficialmente seco, se dice que el agregado fino llega a esta condición, cuando una porción de éste es soltada después de ser compactado. La compactación se realiza, usando el set de cono de absorción más pisón, aplicando 25 golpes desde una altura aproximada de 1 pulgada. La porción de arena saturada superficialmente seca, compactada dentro del cono, se suelta, jalando el cono de absorción verticalmente hacia arriba, para dejar que la arena compactada se desmorone de manera natural y parcialmente.

Si la arena no llega a desmoronarse, es un indicativo de que la arena aún está muy húmeda; en este caso, se sigue secando la muestra por un determinado tiempo y se vuelve a probar. Si la arena llega a desmoronarse totalmente es un indicativo de que fue secado demasiado; en este caso se agrega unos cuantos cm³ de agua destilada, introducimos el material en un recipiente hermético por un periodo de 30 minutos y volvemos a probar la condición de la arena. La idea de estos procedimientos es probar la condición de la arena hasta encontrarla en saturada superficialmente seca.

Encontrado la condición de saturado superficialmente seco, tomar 500 g del agregado fino e introducirlo en el recipiente volumétrico de 500 cm³, agregar agua destilada hasta la marca del recipiente volumétrico de 500 cm³ y girar el recipiente junto con la mezcla, de manera suave por 20 minutos aproximadamente, para sacarle las burbujas de aire contenidas en la mezcla, completar con agua destilada el vacío dejado por las burbujas, secar, pesar y registrar.

Extraer la muestra en recipiente, llevar el recipiente con la muestra al horno, secar hasta peso constante, pesar y registrar.

Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 400.021 y ASTM C-127.

Definición

El peso específico es la cantidad de veces que entra un peso en un determinado volumen sin incluir al aire ni a los vacíos. El porcentaje de absorción es la capacidad que tiene el agregado de absorber agua, expresado en porcentaje.

Equipos

Una balanza hidrostática para pesar agregado grueso con una capacidad de 8000 Kg, con precisión y legibilidad de un 0.1 g. Que incluya un cesto metálico con malla N°8.

Figura 13: Balanza hidrostática



Fuente: Propia.

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en 110 °C +/- 5 °C y de manera uniforme en toda la cámara.

Accesorios varios tales como recipientes, franelas, cucharones y otros.

Procedimiento

Saturar aproximadamente 5 Kg de agregado grueso por un tiempo de 24 horas. Este material o agregado grueso debe ser de tamaño mayor al tamiz con malla N°4.

Obtener aproximadamente 3 Kg de agregado grueso en la condición de saturado superficialmente seco. Esta condición se consigue secando con la franela cada grano del agregado grueso.

Pesar el material, en la balanza, al aire y registrar el peso.

Pesar el material sumergido en agua usando la canastilla y registrar el peso.

Colocar el material en recipiente con peso conocido y secarlo en el horno hasta peso constante, registrar y pesar.

Contenido de humedad

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecida en las normas NTP 339.185 y ASTM C566.

Definición

Es la determinación de la cantidad de agua que tiene las muestras del agregado fino y agregado grueso. Se determina en porcentaje y en función del peso. Se dice que una muestra está seca cuando es secado al horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas o cuando es verificado el peso constante después de un tiempo y éste no varía en intervalos de una hora.

Equipos

Una balanza con una capacidad de 30 Kg, con precisión y legibilidad de un 1 g.

Un horno eléctrico con la capacidad de mantener la temperatura de secado de muestra en $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de manera uniforme en toda la cámara.

Accesorios varios tales como recipientes, guantes, cucharones y otros.

Procedimiento

Registrar el peso del recipiente donde se colocará la muestra a ser ensayada.

Colocar agregado fino o grueso con contenido de humedad, dentro del recipiente registrado y pesar.

Secar en el horno por un tiempo de 24 horas o hasta peso constante.

Retirar del horno, el recipiente con el agregado fino o grueso, dejar enfriar, pesar y registrar

2.2.2 Estudio del agua

- **Definición**

Son los análisis que se le hacen al agua que es, el componente que genera las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o en el mortero de cemento portland. En forma general el agua que se usa en mezclas de concreto es el agua potable, es decir que por sus características físicas y químicas son aptos para el consumo humano. También se puede usar agua del cual se tiene experiencia de haber usada en mezclas de concreto y del cual se tiene resultados satisfactorios.

- **Propiedades del agua**

El agua usada en mezclas de concreto debe tener las siguientes propiedades:

Debe ser totalmente Clara.

No debe tener colorantes.

Debe estar libre de glúcidos o azúcares.

Debe estar libre de álcalis.

Debe estar libre de ácidos.

Debe estar libre de aceite.

Debe estar libre de materia orgánica.

No deberá tener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia a la compresión, la durabilidad y la apariencia del concreto.

- **Ensayos de calidad del agua**

Son los ensayos que se le hacen al agua para cumplir los requisitos de calidad que requiere la norma NTP 339.088.

Ensayo para determinar el residuo sólido y contenido de material orgánico

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.071.

Ensayo para determinar por oxabilidad el contenido de materia orgánica

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.072.

Ensayo para determinar el pH

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.073.

Ensayo para determinar el sulfato

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.074.

Ensayo para determinar el hierro

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.075.

Ensayo para determinar el cloruro

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 400.076.

2.2.3 Estudio del cemento

- **Definición**

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clinker, ésta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso. El yeso le da la propiedad a esta mezcla para que pueda fraguar y endurecerse.

- **Tipos de cemento**

Los tipos o la clasificación del cemento se pueden hacer según diferentes criterios. Las principales características distintivas en las que pueden basarse dichos criterios pueden ser:

Las propiedades mecánicas mínimas o medias, usualmente la resistencia a la compresión a los 28 días.

Las propiedades características especiales como, por ejemplo, bajo calor de hidratación, resistencia frente a medios agresivos como los sulfatos, rápido desarrollo de resistencia, con incorporación de burbujas aire, etc.

Dependiendo de las características mencionadas, el cemento se clasifica en los siguientes tipos y deben cumplir los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.009:

Tipo I: Cemento Portland

Para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas a cualquier otro tipo.

Tipo II: Cemento Portland con adiciones

Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo II (MH): Cemento Portland con adiciones

Para uso general y específicamente cuando se desea un moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo III: Cemento Portland con escorias de horno alto

Para ser utilizada cuando se requiera altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Cemento Puzolánico

Para usar cuando se requiera bajo calor de hidratación.

Tipo V: Cemento Compuesto

Para usar cuando se desea altas resistencias a los sulfatos.

- **Ensayos de calidad del cemento**

Son los ensayos que se le hacen al cemento para cumplir los requisitos de calidad que requiere la norma NTP 339.009.

Ensayo para determinar la finura expresada por la superficie específica (Blaine)

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 334.002.

Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad del volumen

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 334.0M.

Ensayo para determinar el tiempo de fraguado utilizando la aguja de Vicat

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.006.

Ensayo para determinar el contenido de aire

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.048.

Ensayo para determinar la resistencia a la compresión en cubos de 50 mm

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.051.

Ensayo para determinar el falso fraguado por el método de la pasta.

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.052.

Ensayo para determinar el tiempo de fraguado de la pasta usando el aparato Gillmore

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma de ensayo NTP 339.056.

Ensayo para determinar el calor de hidratación

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma de ensayo NTF 339.064.

Ensayo para determinar la expansión potencial por exposición a los sulfatos

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.065.

Ensayo para determinar la finura del cemento usando el turbidímetro

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.072.

Ensayo para optimizar el SO₃ usando resistencia a la compresión a las 24 horas

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.075.

Ensayo para determinar el análisis químico

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.086.

Ensayo para determinar la expansión de barras del mortero de cemento, curado en

agua

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.093.

2.2.4 Estudio del aditivo

Definición

Se define a un aditivo como un material distinto del agua, del agregado o del cemento, el cual es utilizado como componente del concreto y que se añade a este antes o durante el mezclado a fin de modificar una o algunas de sus propiedades. El uso de los aditivos debe estar limitado a lo indicado en las especificaciones técnicas del proyecto y por la autorización de la inspección.

Tipos de aditivo

Los tipos de aditivos se clasifican por sus propiedades químicas y en función del trabajo que realizará en las reacciones con los componentes del cemento. Dependiendo de las características mencionadas, el aditivo debe cumplir los requisitos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.086 y se clasifican de la siguiente manera:

Reductores de agua, son plastificantes y fluidificantes.

Retardantes de fragua

Acelerantes de fragua

Reductor de agua y retardante

Reductor de agua acelerante

Reductor de agua de alto rango, es súper plastificante

Reductor de agua de alto rango, es retardante

Cálculo del aditivo, para incorporar a la muestra:

El cálculo se hace después de tener los resultados del diseño final de mezclas de concreto y generalmente se hace en función de la cantidad del cemento.

2.3 Concreto en estado fresco

2.3.1 Elaboración del concreto en estado fresco

- **Diseño, mezcla y control**

Es la dosificación en cantidades adecuadas de agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y aditivos para lograr una mezcla de concreto y que en estado fresco sea una mezcla homogénea, trabajable y de un asentamiento especificado; en estado endurecido debe cumplir con el requisito de resistencia $f'c$ y durabilidad al transcurso del tiempo.

Desde que se inventó el concreto hasta hoy han existido y existen una variedad de formas o procedimientos que sirven para obtener la dosificación de los componentes del concreto a los cuales se les llama comúnmente diseño de mezcla. Enumeraremos las más conocidas y describiremos el método de diseño ACI y método de diseño Walker un poco más a detalle.

Tipos de diseño para obtener concreto en estado fresco

Método ACI

Definición

Es el procedimiento por el cual se dosifica las cantidades adecuadas de agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y aditivo.

Para lograr una buena mezcla de concreto fresco debe cumplir las siguientes condiciones: la mezcla debe ser homogénea, trabajable y de un asentamiento específico.

Para obtener un buen concreto en estado endurecido, debe cumplir fundamentalmente con el requisito de resistencia a la compresión y durabilidad con el tiempo.

Procedimiento

Establecer la resistencia a la compresión f^c que debe alcanzar el concreto en estado endurecido a 28 días.

Establecer la consistencia plástica o asentamiento que debe tenerla mezcla de concreto fresco.

Determinar la resistencia de diseño f^c_{cr} .

Determinar la relación de agua-cemento R A/C.

Determinar la cantidad de agua en función del tamaño máximo nominal y el asentamiento.

Determinar la cantidad de cemento.

Determinar la cantidad del agregado grueso.

Determinar la cantidad del agregado fino.

Establecer la cantidad de componentes para el diseño seco, en kilogramos y litros.

Hacer la corrección por humedad.

Establecer la cantidad de cantidades finales de los componentes del diseño para hacer la fabricación del concreto.

Método Walker

Definición

Es el procedimiento por el cual se dosifica las cantidades adecuadas de agregado fino, agregado grueso, cemento, agua y aditivo.

Para lograr una buena mezcla de concreto fresco debe cumplir las siguientes condiciones: la mezcla debe ser homogénea, trabajable y de un asentamiento específico.

Para obtener un buen concreto en estado endurecido, debe cumplir fundamentalmente con el requisito de resistencia a la compresión y durabilidad con el tiempo.

Procedimiento

Establecer la resistencia a la compresión f'_c que debe alcanzar el concreto en estado endurecido a 28 días.

Establecer la consistencia plástica o asentamiento que debe tener la mezcla de concreto fresco.

Determinar la resistencia de diseño f'_{cr} .

Determinar la cantidad de agua.

Determinar la relación de agua-cemento R A/C

Determinar la cantidad del cemento en kilogramos

Determinar el factor cemento.

Determinar el volumen de la pasta.

Determinar el volumen del agregado

Determinar el porcentaje del agregado grueso y agregado y fino.

Determinar la cantidad del agregado grueso.

Determinar la cantidad del agregado fino.

Establecer la cantidad de componentes para el diseño seco, en kilogramos y litros

Hacer la corrección por humedad

Establecer la cantidad las cantidades finales de los componentes del diseño para hacer la fabricación del concreto.

Mezclado para obtener concreto en estado fresco

Es el procedimiento por el cual se mezcla el agregado fino, el agregado grueso, el cemento, el agua y el aditivo. Este procedimiento se encuentra establecido en la norma ASTM C-192.

Tiempo requerido para el mezclado

Primer mezclado

El tiempo requerido es de 3 minutos

Para realizar el primer mezclado la mezcla debe tener el total de los materiales a excepción del agua que solo se puede agregar la mitad.

Descanso en el mezclado

Hacer repesar la mezcla por 3 minutos.

Segundo y último mezclado

Después del descanso mezclar o re mezclar por un tiempo de 2 minutos.

En este tiempo es cuando se agrega la otra mitad del agua, pero solo lo necesario como para darle fluidez a la mezcla.

Secuencia de llenado de componentes para obtener la mezcla

Primer componente

Se vierte dentro del mezclador el 50 % del agua.

Segundo componente

Se vierte dentro del mezclador el 100 % del agregado fino.

Tercer componente

Se vierte dentro del mezclador el 100 % del agregado grueso.

Cuarto componente

Se vierte dentro del mezclador el 100 % del cemento.

Ajuste del primer componente

Se vierte dentro del mezclador la cantidad de agua necesaria para encontrar el asentamiento deseado.

2.3.2 Control de calidad del concreto en estado fresco

- **Ensayos de calidad en el concreto en estado fresco**

Determinación del asentamiento deseado en mezclas de concreto fresco usando cono de Abrahams (slump)

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 339.035, ASTM C143.

Definición

Este ensayo se realiza para determinar el asentamiento de una mezcla de concreto fresco, con asentamiento verdadero. Este método no es aplicable en mezclas de concreto sin asentamiento, en concretos fluidos y en concreto que no poseen asentamientos verdaderos.

Equipos

Un cono de Abrahams de 12 pulgadas de altura, 4 pulgadas de diámetro superior y 8 pulgadas de diámetro inferior.

Una varilla de 5/8 pulgadas de diámetro, 24 pulgadas de longitud, de fierro lizo y punta semiesférica. Graduada cada 0.5 pulgadas por el extremo de punta plana.

Una placa o base para cono Abrahams.

Figura 14: Conjunto Cono Abrahams para ensayo de asentamiento.



Fuente: Propia.

Procedimiento

Colocar el cono de Abrahams en una superficie plana, húmeda, no absorbente y libre de vibración y llenar el cono con tres capas de volúmenes aproximados iguales.

Varillar, el concreto fresco dentro del molde con 25 compactadas o chuceadas, la primera capa en forma espiral, evitando que la varilla choque con el fondo del molde.

Repetir el proceso de varillado para la segunda y la tercera capa, también forma de espiral, pero haciendo que la varilla pase 1 pulgada aproximadamente, a la capa inferior anteriormente colocada.

La tercera capa se llena con exceso para nivelar el área superior con la plancha de albañil.

Si al llenar la tercera capa se observa que el concreto va a llegar a por debajo del nivel superior del cono, se para el chuceado para agregar más concreto y se prosigue con el varillado hasta completar los 25 varillados.

Después de terminar el proceso de chuceado y nivelado, se limpia la zona de trabajo de restos de concreto fresco.

Levantar el cono de Abrahams en forma vertical hacia arriba en un tiempo aproximado de 5 a 10 segundos, invertir el cono y poner lo más cerca de la muestra, colocar la vara sobre el cono y medir el asentamiento.

El resultado se da en pulgadas con aproximación de ¼ pulgada.

El tiempo máximo desde la obtención de la muestra hasta la finalización del ensayo no debe ser mayor a 5 minutos. El tiempo máximo desde el inicio hasta la finalización de la prueba de asentamiento no debe ser mayor a 2.5 minutos.

Nota:

Todos los equipos y herramientas usados en la prueba con el concreto fresco deberán de estar húmedos.

Determinación de la temperatura del concreto en estado fresco

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas ASTM C 1064.

Definición

Este ensayo se realiza para determinar la temperatura del concreto fresco.

Equipos

Un termómetro de bolsillo blindado con escala de -18 °C a 49 °C.

Un recipiente capaz de proporcionar al termómetro por todos sus lados, 3 pulgadas de concreto fresco.

Un cronometro.

Herramientas varias (cucharon, plancha de albañil, franela, etc.)

Procedimiento

Obtener una muestra de concreto fresco en un recipiente no absorbente e introducir el termómetro, previamente humedecido, 3 pulgadas y dejarlo dentro del concreto fresco por un tiempo de 2 minutos o hasta que la temperatura se estabilice.

Si la muestra de concreto fresco tiene agregados gruesos con tamaños mayores a 3 pulgadas, el termómetro se deja dentro del concreto fresco por un tiempo de 20 minutos para que la temperatura del concreto se estabilice.

Se registra la temperatura con aproximación a $\frac{1}{2}$ °C.

El ensayo se realiza antes de los 5 minutos después de obtener la muestra.

Nota:

La sonda del termómetro que se incrusta en la mezcla debe estar rodeado en toda la dirección por 3 pulgadas de concreto fresco.

Tabla 13: Rangos de Temperatura Máximos y Mínimos

Temperatura °C	Máximo	Mínimo
Del ambiente	28 °C	5 °C
Del concreto	32 °C	10 °C

Fuente: propia.

Determinación del contenido de aire en el concreto en estado fresco.

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 339.083, ASTM C 231.

Definición

Este ensayo se realiza para determinar el contenido del aire total en una mezcla de concreto fresco.

En el concreto fresco el contenido de aire se presenta como aire total, que es la suma de aire atrapado y aire incorporado.

Aire atrapado, es el aire que entrapa una mezcla de concreto en forma normal durante el mezclado. El aire atrapado es el aire total en mezclas de concreto normales.

Aire incorporado, es el aire que se incorpora intencionalmente a una mezcla de concreto normal por medio de un aditivo. Generalmente el concreto que tiene cierta cantidad de aire dentro de su estructura aumenta su durabilidad.

Equipos

Un equipo determinador de aire con accesorios (varilla compactadora, regla de enrasar, dosificador de agua).

Figura 15: Equipo determinador de aire con accesorios



Fuente: Propia.

Herramientas varias (cucharon, plancha de albañil, franela, mazo de goma, etc.)

Procedimiento

Verificar el equipo medidor de aire usando agua y el dispositivo de medidor de vacío estándar. El resultado debe ser el 5 % con una aproximación a 0.1 %.

Llenar el molde en 3 capas, compactando cada capa con 25 varilladas. Después de compactar cada capa golpear el molde recipiente con el martillo de goma para que el concreto fresco se acomode.

Nivelar el ras del molde, limpiar, con una franela húmeda, los bordes del molde que estarán en contacto con la tapa del equipo determinador de aire.

Colocar la tapa con las válvulas de desfogue abiertas y la válvula de presión cerrada, centrar y asegurar la tapa. Agregar agua, usando el bombín, por una de las válvulas de desfogue hasta que el agua aparezca por el otro desfogue.

El propósito es que en la superficie del concreto que está dentro del molde no quede ningún vacío.

Cerrar las válvulas y generar presión hasta que la aguja negra se sobre ponga a la aguja amarilla.

Abrir la válvula de paso de presión y leer directamente el porcentaje del aire en el manómetro con aproximación de 0.1 %.

Nota:

El tamaño máximo nominal del agregado guarda una proporción inversa con el aire atrapado en el concreto fresco.

Determinación del peso unitario del concreto en estado fresco

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.046.

Definición

Es la cantidad de concreto fresco que entra en un metro cubico, expresado en kg/m³.

Equipos

Un molde de ½ pie³ con un asa metálica.

Figura 16: Molde de $\frac{1}{2}$ pie³ con un asa metálica



Fuente: Propia.

Una balanza con capacidad para pesar la muestra más el molde.

Herramientas varias (cucharón, plancha de albañil, franela, mazo de goma, etc.)

Procedimiento

Llenar el molde en tres capas, chuceando 25 veces con la varilla y dándoles algunos golpes con el martillo de goma por cada capa. La cantidad de los golpes con el martillo de goma son para cerrar los agujeros dejados por la varilla y también para hacer que aflore una ligera capa de agua sobre la superficie del concreto fresco.

Enrasar, limpiar el exterior del molde usando la franela húmeda y luego pesar.

Cálculos y datos obtenidos

P.U.C. = Peso del concreto fresco en Kg/Volumen del recipiente m³.

Nota:

El resultado se da con aproximación a 0.1 Kg.

La constante de 70.6 se puede usar cuando se trabaja con los moldes normalizados de $\frac{1}{2}$ pi³.

Todos los equipos y herramientas usados en la prueba con el concreto fresco deberán de estar húmedos.

2.4 Concreto en estado endurecido

Es una de las variantes de la versatilidad del concreto, presentado como concreto en estado endurecido, material que, junto con el acero de refuerzo, constituyen los componentes de: las zapatas, las columnas, las vigas, las losas macizas, las placas y otras estructuras que forman parte de una infraestructura como, puentes, edificios, presas, osas, cortinas de presas, etc.

El concreto de las estructuras de concreto, es fabricado en una planta de concreto, en algunos casos también se puede hacer en el mismo lugar donde se realiza alguna construcción de pequeña envergadura. La fabricación tiene tres etapas principales que son la selección y control de calidad de los materiales que componen el concreto, el diseño del concreto, que incluye el ajuste de diseño y la mezcla de las proporciones de los materiales que son los agregados, el agua, el cemento y los aditivos. Luego el concreto en estado fresco es transportado a la obra donde se requiere su colocación, en camiones con tolvas giratorias llamados mixer. En obra se espera la colocación del concreto en encofrados y los refuerzos de acero, que son los que le dan la forma geométrica del elemento estructural. En esta etapa el concreto fresco comienza a fraguar y después de unas horas pasa a ser concreto en proceso de endurecimiento al cual llamamos también a veces, concreto estructural.

2.4.1 Estructuras de concreto

- **Cimientos y zapatas de concreto**

Los cimientos y zapatas son tipos de estructura que conectan la infraestructura con el terreno en el cual se construirá la infraestructura, además estas estructuras de concreto se encargan de transmitir la carga de la infraestructura al terreno.

- **Placas de concreto**

Las placas de concreto o muros son elementos estructurales verticales que reciben cargas de compresión. Las placas, también conocidos como muros de corte son paredes de concreto armado que, dada su mayor dimensión en una dirección, mucho mayor que su ancho, proporcionan en dicha dirección una gran resistencia y rigidez lateral entre movimientos laterales.

- **Columnas de concreto**

Son estructuras de concreto armado hechas de concreto y barras de metal de refuerzo, las columnas de concreto tienen como tarea fundamental transmitir las cargas de las losas hacia los cimientos, la principal carga que recibe es la de compresión, pero en conjunto estructural la columna soporta esfuerzos de flexión también, para lo cual, estos elementos cuentan con refuerzo de acero que los ayuda a soportar de flexión.

- **Losas de concreto**

La losa de concreto armado es un elemento estructural, tiene la intención de servir de separación entre pisos consecutivos de un edificio, por lo que a veces se le llama losa de entre piso, y al mismo tiempo servir como soporte para las cargas de ocupación como son las cargas vivas y las cargas muertas. Físicamente se compone de concreto y acero de refuerzo.

El concreto de la estructura absorbe los esfuerzos de compresión y el acero los esfuerzos de tracción. Constructivamente, existen losas de concreto armado macizas y aligeradas. Las losas macizas se usan para espacios más reducidos y están llenos en todo su volumen, es decir, no tienen espacios vacíos como su sucede con las losas aligeradas. Las losas aligeradas, se construye dejando espacios vacíos bajo su cara inferior de modo que tengan menos concreto y sean más livianas; ello permite que se puedan usar espacios más grandes con mayor distancia entre apoyos.

- **Vigas de concreto**

Son elementos estructurales de concreto armado, diseñado para sostener cargas lineales, concentradas o uniformes, en una sola dirección. Una viga puede actuar como elemento primario en marcos rígidos de vigas y columna, aunque también pueden utilizarse para sostener losas macizas o nervadas. La viga soporta cargas de compresión, que son absorbidas por el concreto y las fuerzas de flexión son contrarrestadas por las varillas de acero corrugado, las vigas también soportan esfuerzos cortantes hacia los extremos por tanto es conveniente, reforzar los tercios extremos de la viga. Para lograr que este elemento se dimensione cabe tener en cuenta la resistencia por flexión, una viga con mayor peralte (altura) es adecuada para soportar estas cargas, pero de acuerdo con la disposición de la construcción y su alto costo hacen que estas no sean convenientes.

2.4.2 Colocación de concreto en las estructuras

Es la etapa del proceso de construcción en donde se experimenta el cambio de estado del concreto en estado fresco al estado en proceso de endurecimiento donde pasa a formar parte de una estructura de concreto. Esta etapa está constituida de una serie de pasos que detallan específicamente todo el proceso, de los cuales sólo estudiaremos los más resaltantes.

2.4.3 Criterios de aceptación del concreto

La resistencia de las probetas de concreto que han sido muestreadas, ensayadas y curadas bajo condiciones de las normas, sólo representan la mejor resistencia potencial de un concreto determinado, y no necesariamente la resistencia del concreto en el elemento estructural al cual ellas representan.

Si los resultados de los ensayos de resistencia en compresión han de ser empleados como criterio de la aceptación del concreto, los resultados de las muestras deben ser evaluados separadamente para cada clase de concreto empleado. La evaluación será válida sólo si los ensayos se han realizado de acuerdo con las especificaciones respectivas y se analizan estadísticamente los resultados de por lo menos 10 muestras de ensayo.

La supervisión podrá ordenar ensayos adicionales a los siete días a fin de obtener información sobre la evolución en el desarrollo de la resistencia del concreto.

Si las especificaciones de obra indican que debe efectuarse curado acelerado de las probetas, el proceso deberá efectuarse bajo condiciones controladas de acuerdo a lo indicado en ASTM C684.

Los informes de laboratorio de los resultados de los ensayos de resistencia deben incluir la siguiente información:

Identificación de la probeta

Clase y origen del concreto

Ubicación del concreto en la estructura

Método de fabricación y ensayo de las probetas

Edad de ensayo

Dimensiones del espécimen

Resistencia, en Kg/cm²

Densidad seca del concreto

Descripción de la falla

Cualquier defecto de los especímenes

Las muestras usadas para la aceptación del concreto deberán tomarse no menos de tres veces al día, en horas de vaciado diferente, ni menos de una vez cada cinco metros cúbicos de concreto colocado. Los especímenes se prepararán de acuerdo a la norma ASTM C31 y deberán ser ensayados de acuerdo a las recomendaciones de la Norma ASTM C39.

Se consideran satisfactorios los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión si se cumple con los dos requisitos siguientes:

El promedio de todas las series de los resultados de tres muestras consecutivas es igual o superior a la resistencia de diseño especificada.

Ningún resultado de una muestra está en más de 35 Kg/cm² por debajo de la resistencia en compresión especificada

Si no se cumple con cualquiera de los dos requisitos indicados en 9.7, la supervisión dispondrá las medidas que permitan incrementar el promedio de los resultados de los ensayos de resistencia subsiguientes. La supervisión podrá ordenar ensayos adicionales a los 7 días para obtener información sobre la evolución en el desarrollo de la resistencia del concreto.

Si la resistencia en compresión es empleada como criterio de aceptación del concreto, los resultados de las muestras deben ser evaluados separadamente para cada clase de concreto empleado.

El intervalo promedio máximo permisible entre las dos probetas de una muestra no será mayor del 0.05640 f'_{cr} de la resistencia promedio y de 0.08465 f'_{cr} para muestras de tres probetas.

- **Comprobación por medio del análisis**

La aceptación en el elemento estructural de resistencias en compresión menores a las especificadas es responsabilidad de la supervisión. Corresponde al proyectista, a solicitud de la supervisión, determinar si los valores reales de la resistencia del concreto reducen significativamente la capacidad de carga; así como los comportamientos estático y dinámico de la estructura frente a la acción conjunta de todas las fuerzas actuantes consideradas en el diseño estructural original

Para esta evaluación por análisis se deberá efectuar en obra una cuidadosa evaluación de las dimensiones y detalles de los elementos estructurales, las propiedades de los materiales, y otras consideraciones de la estructura tal como está construida. Los cálculos basados en esta evaluación deberán garantizar que los factores de carga y las tensiones admisibles cumplen con los requisitos de las normas, así como de los planos y especificaciones técnicas.

Igualmente corresponde al ingeniero proyectista, previo análisis de la estructura en función de los valores reales de la resistencia en compresión, decidir si se efectúan ensayos no destructivos, destructivos o pruebas de carga antes de proponer la solución a ser aplicada.

- **Ensayos no destructivos**

Si después de efectuados y analizados los resultados de las muestras de ensayo utilizadas para determinar la resistencia en compresión del concreto, la supervisión podrá disponer que se efectúen ensayos no destructivos de la estructura a fin de contar con nuevos elementos de juicio para evaluar la resistencia en compresión del concreto endurecido de la misma.

La supervisión, en coordinación con el ingeniero proyectista, podrá elegir entre alguno de los siguientes métodos:

Ensayo del esclerómetro o Martillo Schmidt

Pruebas de penetración

Ensayo de velocidad de paso de ondas ultrasónicas.

- **Ensayo destructivo por testigos**

Si se confirma que el concreto tiene una resistencia a la compresión menor que la especificada y los cálculos realizados en base a resultados obtenidos, indican que la capacidad de carga del elemento estructural se ha reducido significativamente, la supervisión dispondrá que se realicen ensayos de compresión en testigos extraídos de la zona dudosa. El proceso de extracción se efectuará de acuerdo a lo indicado en la Norma ASTM C42 o en la norma NTP 339.059.

2.4.4 Criterios de rechazo del concreto

Si no se cumplen los requisitos del acápite “4.18” y los ensayos de testigos confirman los resultados de las probetas moldeadas durante la ejecución de la estructura, la supervisión considerará los siguientes casos

Que la resistencia en compresión de la zona cuestionada se encuentra entre el 85% y el 100% de resistencia de diseño. En este caso la supervisión podrá aceptar la estructura, salvo que existan dudas razonables, en cuyo caso podrá ordenar se proceda a realizar ensayos de carga directa de la porción de la estructura en la que el concreto es de calidad inferior a la requerida a fin de apreciar la capacidad de la resistencia de los elementos dudosos. Si los ensayos dan resultados satisfactorios, los elementos estructurales ensayados serán aceptados.

Que la resistencia en compresión de la zona cuestionada se encuentre entre el 70% y el 85% de la resistencia de diseño. En este caso los elementos estructurales podrán ser conservados si los resultados de los ensayos de carga directa son satisfactorios, o si las cargas de trabajo pueden ser reducidas a valores compatibles con los resultados obtenidos en los ensayos, requiriéndose para ello informe favorable del proyectista.

Que la resistencia en compresión de la zona cuestionada sea inferior al 70 % de la resistencia de diseño especificada. En este caso la supervisión considerará que la estructura no cumple con las condiciones mínimas de seguridad.

Si en cualquier etapa de la vida de la estructura existen dudas razonables respecto a la seguridad de la misma o alguno de sus elementos, o se necesita información sobre la capacidad de carga, se efectuará una evaluación de la resistencia estructural, ya sea por análisis o empleando pruebas de carga, o por una combinación de ambos procedimientos.

Si la evaluación de la resistencia del elemento estructural se hace por medio del análisis, se deberá realizar una minuciosa identificación en obra de las dimensiones y detalles de los elementos estructurales, las propiedades de los materiales y las condiciones propias de la estructura. Los cálculos basados en esta evaluación deben garantizar que los factores de carga o las tensiones admisibles y cargas de cálculo, cumplen con los requisitos de planos y las especificaciones de obra.”

Capítulo III

Testigo de concreto

3.1 Definición

Es la muestra o espécimen del concreto de las estructuras de concreto. Tiene los mismos componentes y la misma dosificación en porcentaje que el concreto de las estructuras de concreto y es obtenido cuando el concreto está en su estado fresco, durante la colocación del concreto fresco en los encofrados que darán forma a las estructuras de concreto. Normalmente es muestreado en moldes de metal, plástico o cartón que son los que le dan su forma geométrica definida.

3.2 Característica del testigo de concreto

La característica principal es que es un conglomerado de mezcla homogénea que contiene agregados, cemento, agua y aditivos. Otra característica es, la forma geométrica y el cumplimiento de las relaciones de medidas geométricas, en cuanto a la perpendicularidad entre la base y la arista de los cilindros, el cual no debe ser mayor de 0.5° (aproximadamente equivalente a 1 en 100 mm); y la relación de medida que existe entre el diámetro de la base y la altura que es de uno a dos respectivamente. De existir variación en la relación de medidas de diámetro y altura, dentro de las tolerancias, se debe aplicar factores de corrección para obtener los resultados finales.

Otra característica, es la planitud del área de contacto que es la base. La base del testigo de concreto debe ser plana y no debe tener un desnivel en más de 0.050 mm; de superar este límite el testigo de concreto debe ser corregido, antes del ensayo, usando una máquina rectificadora para cumplir con la tolerancia indicada. Si la rectificación no es la solución, se debe optar por rellenar los desniveles, capear, usando una mezcla compuesta de azufre y bentonita “capping” de conformidad con las normas NTP 339.037 o cuando se le permita la NTP 339.216.

Otra característica es la identificación de la muestra o testigo de concreto, que debe ser legible y correlacionado respecto a la pertenencia del elemento estructural de concreto. Existen en dos formas geométricas de testigos o de concreto que son: Uno, son las cúbicas que se estudian y controlan con normas europeas. Dos, son las cilíndricas que se estudian y controlan con las normas NTP, MTC, ASTM y AASHTO, normas que son con las que nos rigen.

3.3 Clasificación

3.3.1 Por el tipo de concreto en función de la resistencia en compresión

Generalmente está en función de su resistencia a la compresión, del diseño y de lo que se desea obtener, para eso listaremos la denominación de alguno de los tipos:

Concreto de 175 k/cm²

Concreto de 210 k/cm²

Concreto de 280 k/cm²

Concreto de 350 k/cm²

Concreto de 420 k/cm²

Concreto de 500 k/cm²

Concreto de 600 k/cm²

Concreto de 700 k/cm²

Concreto de 800 k/cm²

Concreto de 900 k/cm²

Concreto de 1000 k/cm²

3.3.2 Por el tamaño del testigo de concreto

Testigo de concreto de 6 pulgadas o 152.4 cm de diámetro por 12 pulgadas a 30.48 cm de altura.

Testigo de concreto de 4 pulgadas a 10.16 cm de diámetro por 8 pulgadas a 20.32 cm de altura.

Adicionalmente también existe testigos de concreto de 3 pulgadas o 7.62 cm de diámetro por 6 pulgadas o 152.4 cm de altura.

- **Testigos de concreto cilíndricos de 6 pulgadas de diámetro**

Este testigo de concreto es de 15.24 cm de diámetro y un área de contacto de aproximadamente 181 cm² y 12 pulgadas o 30.48 cm de altura, es el ideal para realizar la prueba de resistencia a la compresión del concreto debido a que es una muestra de concreto de mayor representación.

- **Testigos de concreto cilíndrico de 4 pulgadas de diámetro**

Este testigo de concreto es de 10.16 cm de diámetro y un área de contacto de aproximadamente 81 cm² y 8 pulgadas o 20.32 cm de altura y se usa cuando no es posible obtener testigos de concreto de 6 pulgadas de diámetro o cuando la capacidad de fuerza de la máquina de compresión de concreto no es lo suficiente para ensayar testigos de concreto de 6 pulgadas de diámetro.

3.4 Elaboración de testigos de concreto

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 339.033, ASTM C31.

3.4.1 Definición

Corresponde al proceso de muestrear el concreto fresco y llenarlo dentro del molde cilíndrico que es quien le dará su forma geométrica final, para obtener el testigo de concreto endurecido.

3.4.2 Equipos

Moldes o probetas de la cantidad necesaria de 6 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de altura y/o de 4 pulgadas de diámetro por 8 pulgadas de altura. Si es de metal, el espesor de la pared debe ser de $\frac{1}{4}$ pulgadas y si es de plástico, se usa y se descarta.

Figura 17: Moldes para testigos de concreto



Fuente: Capeco.

Una varilla para chucear, de fierro lizo, deber tener, 5/8 pulgadas de diámetro por 24 pulgadas de longitud y/o 3/8 pulgadas de diámetro por 12 pulgadas de longitud; ambas varillas deben tener una de las puntas en forma de punta de bala.

Herramientas varias (cucharon, plancha de albañil, franela, mazo de goma, etc.)

Nota:

Estos moldes solo deben ser usados en concreto cuyo tamaño máximo no exceda de 1/3 del diámetro de la probeta, es decir las 2 pulgadas y/o 1 1/4 pulgadas.

3.4.3 Procedimiento

Colocar los moldes o probetas a usar en un lugar nivelado, libre de vibraciones, protegidos de que los rayos del sol y la lluvia le caigan directamente. Es importante considerar que el lugar que ocuparán las probetas será un espacio donde se no estorbe con el trabajo ya que es necesaria que las probetas no sean removidas al menos por un tiempo de 18 horas. Llenar los moldes con concreto fresco en tres capas. Varillar, el concreto fresco dentro del molde con 25 compactadas o chuceadas, la primera capa en forma espiral, evitando que la varilla choque con el fondo del molde.

Repetir el proceso de varillado para la segunda y la tercera capa, también forma de espiral, pero haciendo que la varilla pase 1 pulgada aproximadamente, a la capa inferior anteriormente colocada.

La tercera capa se llena con exceso para nivelar el área superior con la plancha de albañil.

Dejar reposar el molde con el testigo de concreto el área superior menor a 18 horas. Llevar las probetas al laboratorio con todo y molde, desmontar e identificar usando el lomo y el área inferior.

3.5 Cuidado del testigo de concreto

3.5.1 Definición

Consiste en darle las condiciones adecuadas al testigo de concreto hasta el día en el que se realiza la prueba o ensayo de resistencia a la compresión. Condición adecuada es procurar que el testigo endurezca sin perder el agua interna, componente del concreto, a causa de la elevación de la temperatura debido al calor generado por el fraguado del concreto específicamente a la reacción química del agua y el cemento.

Esta condición se consigue saturando el testigo de concreto en soluciones de agua y cal o usando aditivos químicos.

3.6 Control de calidad del testigo de concreto

Es el mecanismo por el cual se verifica que los testigos de concreto han sido muestreados, moldeados, desmoldados, curados y finalmente sometidos a los ensayos de control para satisfacer los requisitos mínimos requerido por las normas de ensayo de materiales.

Existen varios tipos de pruebas que se le hacen al testigo de concreto y está en relación con la función del servicio que brindará la estructura, entre ellos tenemos a las más comunes, al ensayo de resistencia a la compresión y a la evaluación de la uniformidad del concreto usando el martillo Schmidt, sobre todo cuando el concreto de la estructura es observada por alguna razón sospechosa.

3.6.1 Medición del rebote del testigo de concreto, usando el martillo Schmidt

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.181, ASTM C805.

- **Definición**

Este ensayo se realiza para determinar la uniformidad del concreto, determinar zonas de baja resistencia, verificar la ganancia de resistencia del concreto si se encuentra con observaciones y para que en conjunto con otros ensayos no destructivos evaluar la estructura.

Es el procedimiento por el cual se determina el número de rebote del testigo de concreto. El proceso se realiza utilizando el martillo esclerómetro y se trata de golpear la esfera de acero interna del martillo esclerómetro contra la superficie del testigo de concreto y leer el rebote que este proceso ocasiona.

- **Equipos**

Un Dispositivo determinar la uniformidad

Es conocido comúnmente como martillo esclerómetro o martillo de Schmidt y determina un número de rebote que resulta del golpe y rebote de una esfera de acero que está dentro del martillo esclerómetro, este golpe o rebote como mejor se le conoce es un número adimensional que va desde 20 a 55 y guarda una relación aproximadamente directa con la resistencia a la compresión del testigo de concreto y/o concreto de la estructura de concreto.

Figura 18: Esclerómetro, Martillo de Schmidt



Fuente: propia.

Existen modelos denominados N, NR, L y LR que están diseñados especialmente para evaluar la calidad y la resistencia a la compresión del concreto con valores de 10 a 70 N/mm² (de 1450 a 10 152 psi) y la variación de modelo está relacionado a la energía de impacto y la performance específico del equipo.

Existen tres tipos de martillo esclerómetro:

L: Este esclerómetro se usa para evaluar estructuras muy pequeñas y sensibles a los golpes.

N: Este esclerómetro es el más usado, se usan para evaluar todo tipo de estructuras como puentes, edificios, pistas, etc.

M: Este esclerómetro se usa para evaluar estructuras masivas.

Una piedra abrasiva de carbura de sílice.

Accesorios varios como brocha, crayolas, franela, etc.

- **Procedimiento**

Se verifica la operatividad el equipo medidor de uniformidad, haciendo uso del elemento de masa de metal.

Se acondiciona el testigo de concreto, fijándolo en una prensa con aplicación de carga de 1500 Kg aproximadamente.

Se coloca en posición, el equipo medidor de uniformidad y se adopta la posición adecuada de impacto. Garantizando la perpendicularidad entre el pistón del equipo medidor de uniformidad y el área de contacto del testigo de concreto.

Se quita el seguro de bloqueo de pistón del equipo medidor de uniformidad y se retrae el cuerpo del equipo medidor de uniformidad, de tal manera que el pistón de impacto se alargue completamente.

Se aplica una fuerza necesaria, uniforme, simétrica y continua; para que el pistón de impacto se contraiga, hasta escuchar un impacto.

Inmediatamente después de escuchar el impacto, se pone el seguro de bloqueo del pistón del equipo medidor de uniformidad. Se registra un número de rebote adimensional, al retirar el equipo del área de contacto, leído desde la tabla graduada que forma parte de la estructura del equipo medidor de uniformidad.

3.6.2 Determinación de la resistencia en compresión de los testigos de concreto, usando máquina de compresión

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 339.034, ASTM C39.

- **Definición**

Se realiza para verificar y determinar la calidad del concreto. Este ensayo es el único con el que se aprueba o no la calidad del concreto, por lo general. Consiste en comprimir un testigo de concreto para determinar su resistencia a la compresión f'_c . La resistencia a la compresión, es la capacidad al esfuerzo a compresión que soportan los testigos de concreto, se determina en la máquina de compresión estandarizada, a un tiempo y frecuencia estandarizada y establecida: el proceso es colocar el testigo de concreto dentro de la máquina y aplicar carga o fuerza a una velocidad controlada, esta carga se aplica sobre el área plana del testigo de concreto, hasta la falla o hasta superar la carga mínima requerida para el tipo de testigo de concreto.

- **Equipos**

Una máquina de compresión que sea capaz de ejercer una fuerza de manera continua y a una velocidad controlada.

Debe tener un motor servo controlado que garantice una velocidad del esfuerzo de $0.25 \text{ MPA} \pm 0.05 \text{ MPa}$. Un sistema de aplicación e carga que garantice la transmisión de carga a los testigos cilíndricos y un verificador digital que garantice el cumplimiento de la aplicación de la carga.

Figura 19: Máquina de ensayos en compresión de testigos de concreto



Fuente: Propia.

Un par de platos retenedores de metal junto con varios pares de almohadillas de neopreno.

Equipo completo para refrentar las áreas del testigo de concreto.

Un vernier con capacidad suficiente para medir el diámetro y la altura del testigo de concreto.

Nota:

El uso de las almohadillas o el refrentado sólo es posible cuando los testigos de concreto no reúnan las condiciones geométricas establecidos en las normas ASTM C33.

Para refrentar la superficie o áreas de contacto del testigo de concreto se pueden usar los refrentados tradicionales tales como el de yeso de alta resistencia, para de cemento con una relación a/c de 0.29 o mortero de azufre; y el refrentado que usa almohadillas de neopreno. Dependerá de la característica del testigo de concreto y de las condiciones del laboratorio.

- **Procedimiento**

Registrar los datos de los testigos de concreto. Es decir, a que elemento estructural corresponde y de que obra. Determinar el área y altura del testigo de concreto, usando el vernier, con aproximación al 0.1 cm. Colocar los platos retenedores y las almohadillas de neopreno al testigo de concreto.

Colocar el testigo de concreto dentro de la máquina de compresión y aproximar el pistón de carga hasta detectar que el testigo de concreto está recibiendo carga. Aplicar la carga o fuerza a razón $0.25 \text{ MPa} \pm 0.05$ hasta que en el testigo de concreto se presenten fallas que es un indicativo de que el testigo de concreto ha llegado a su máxima resistencia a la compresión.

Registrar el resultado mostrado en el pantallazo de la máquina de compresión con aproximación a 0.1 Kg/cm^2

Capítulo IV

Instrumento de investigación

4.1 Definición

El instrumento de investigación es un dispositivo electrónico que tiene la capacidad de emitir y recibir, y medir el tiempo de viaje de pulsos de ondas de ultrasonido a través de un material. Es conocido como equipo medidor de velocidad de ultrasonido porque lo hace, al medir el tiempo de viaje del ultrasonido y permitir el ingreso de la distancia entre el emisor y receptor del ultrasonido.

4.2 Características

Es un equipo portátil y de peso ligero

Tiene una pantalla LED y un teclado de geomembrana para configurarlo

Trabaja con 4 baterías AA

Tiene un software

Permite el uso de transductores de emisión y recepción de ultrasonido

Tiene un patrón de medición de velocidad de ultrasonido, el cual sirve para verificar el equipo antes del Uso.

Usa gel acoplante para garantizar el contacto de los transductores con la superficie de los testigos de concreto.

Mide tiempo de viaje del ultrasonido

Mide Velocidad de ultrasonido

Mide Distancia de elemento

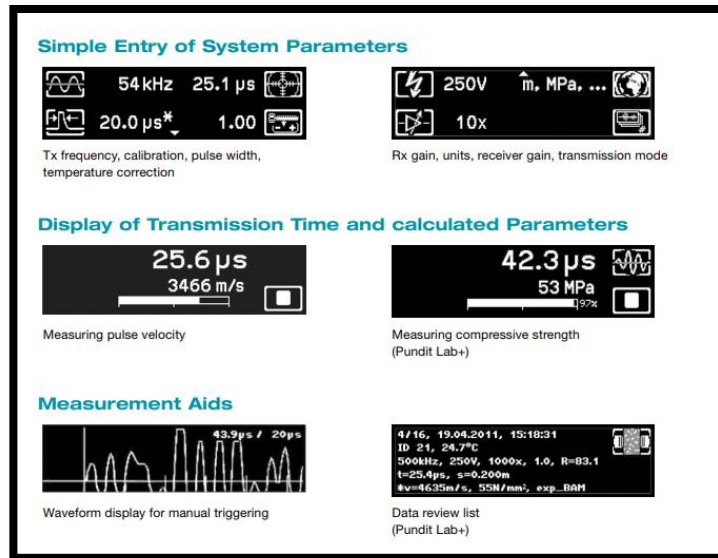
Determina Resistencia a la compresión

Figura 20: Equipo medidor de velocidad del ultrasonido.



Fuente: Propia.

Figura 21: Pantallas de navegación del equipo medidor de velocidad del ultrasonido



Fuente: Propia.

4.3 Velocidad del ultrasonido

4.3.1 Definición

Está definido como la dinámica de propagación del ultrasonido a través de un medio de transporte físico o material. La velocidad del ultrasonido varía en función del medio en el que se transmite y Las unidades en el sistema internacional es el m/s.

4.3.2 Medición de la velocidad del ultrasonido

El método de medición de ultrasonido se basa en un fenómeno físico bien conocido: la propagación de ondas de ultrasonido en un medio material. Es un método que se utiliza frecuentemente cuando se trata de determinar la uniformidad de un elemento, su espesor, su módulo elástico de Young o de Coulomb.

El fundamento del método moderno consiste en la medición de la velocidad de propagación de los pulsos de ondas de esfuerzo longitudinal a través de un material y uno de esos pulsos es el pulso ultrasónico que tiene una frecuencia que varía entre 20 y 150 Hz, el cual puede ser medido al recorrer la distancia entre un transductor emisor Tx y un transductor receptor Rx, ambos acoplados al material que se está estudiando. Mediante un transductor electroacústico se genera un pulso de vibración de esfuerzo longitudinal; después de recorrer una determinada distancia L, un segundo transductor recibe la señal y, por medio de un circuito electrónico se mide el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico que pasa a través del material.

El fenómeno se compleja cuando el medio de propagación es heterogéneo, en nuestro caso el concreto, ya que los diferentes materiales que componen tienen diferentes propiedades elásticas relativas a la propagación de ondas.

Esta heterogeneidad provoca un mal conocimiento de la forma del frente de onda y luego del camino seguido por la onda. Pero cualquiera que sea el medio de propagación de las ondas, este método tiene como principales ventajas de: necesitar una única medida para obtener un valor representativo, es decir que la dispersión de este ensayo es muy baja y otra ventaja es que el ensayo sólo necesita un aparato económico y de fácil utilización y la ventaja principal es de no ser un ensayo destructivo, lo que permite conservar intacta el espécimen, muestra o testigo. El uso de ultrasonido no permite evaluar directamente la resistencia del concreto de las estructuras de concreto, pero si es posible hacerlo después de que se genere las curvas dentro del sistema informático del equipo medidor de velocidad de ultrasonido.

A la generación de curvas también se le conoce como método de calibración en el laboratorio y se realiza con los testigos de concreto obtenidos de la elaboración del concreto fresco que serán colocadas en las estructuras de concreto, a estos testigos de concreto inicialmente se le determinará su velocidad de ultrasonido, luego el número de rebote y finalmente su resistencia a la compresión. La combinación de estos tres datos filtrados estadísticamente e ingresados en el sistema informático, nos generarán curvas de derivan de algoritmos de verificación que garantizan la correcta elaboración de las curvas que nos permitirán determinar la resistencia a la compresión del concreto de la estructura de concreto directamente.

Capítulo V

Aplicación del instrumento de investigación, metodología y comprobación

5.1 Antecedentes de la aplicación

La determinación directa de la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, que forman parte de las infraestructuras y construcciones en general, es un problema que se intenta solucionar desde hace más de medio siglo atrás, usando equipos de medición de la velocidad del ultrasonido. El antecedente para aplicar estos métodos o técnicas no destructivas, para solucionar este problema, inicia entre los años 1945 y 1949, desarrollado en el país de Canadá por los señores: J. R. Leslie y W. J. Cheesman, quienes en el mes de setiembre del año 1949 publicaron un artículo de su uso y estudio con el nombre de: *"An Ultrasonic Method of Deterioration and Cracking in Concrete Structures"* en una revista del *Instituto Americano de Concreto* por sus siglas en inglés conocido como *ACI American Concrete Institute*. Paralelamente por esos mismos años y de manera independiente en el país de Gran Bretaña, los señores Jones y Gatfield, también desarrollaron y estudiaron esta técnica, quienes en 1955 publicaron sus investigaciones con el título de: *"Testing concrete by an ultrasonic pulse technique"*. Al principio esta técnica sólo servía para hacer pruebas en el laboratorio ya que tenía complicaciones que limitaban su uso en el campo, porque se usaba un equipo que hacía uso de un osciloscopio de rayos catódicos que servían para medir los tiempos de tránsito del ultrasonido.

No era fácil llevar el osciloscopio al campo por su tamaño y porque requería de una fuente de poder eléctrico. Posteriormente el equipo fue mejorado principalmente para que sea portátil y trabaje de manera independiente respecto a la fuente de alimentación eléctrica. Con esta mejora el equipo fue utilizado con gran éxito para diagnosticar el estado del concreto colocado en cortinas de presas. En 1967 la ASTM por sus siglas en inglés: *American Society for Testing and Materials* publica las especificaciones y procedimientos para la aplicación de esta técnica, de ensayos no destructivos, usando equipos de medición ultrasónica y le asigna la norma ASTM C-597. En el 2006 los canadienses V. Mohan Malhotra and Nicholas J. Carino, publicaron la segunda edición de su manual, de ensayos no destructivos, para evaluar el concreto de las estructuras de concreto en el cual se relaciona los resultados del equipo medidor de ultrasonido con resultados de mediciones de otras propiedades. Desde que se inventó el equipo y más desde que fue adoptada por la ASTM este procedimiento se viene usando a nivel mundial con resultados satisfactorios gracias a que el ensayo resulta económico y de gran confiabilidad, haciendo que la técnica, no destructiva, matriz de esta tesis, sea una herramienta que permita determinar la calidad del concreto de las estructuras de concreto in-situ o directamente del concreto de las estructuras de concreto que ya están en servicio, como por ejemplo: puentes, presas, canales de agua, túneles, edificios, casas, departamentos, condominios etc.

Si bien es cierto que el problema ya tiene solución en los países desarrollados y cuenta con el respaldo de la ASTM; en el Perú el único antecedente que encontré, para resolver este problema, es un estudio o investigación de una tesis que se presentó en la universidad de Piura con el nombre de "Resistencia a la comprensión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido".

Del cual, rescato la forma como se aborda al *concreto* componente principal de la muestra de la investigación de la presente tesis. También tengo información de que algunas empresas privadas ya han adquirido equipos con esta tecnología, pero no hay evidencia de uso y aplicación o informes donde se aborda el problema que presentó, que es, determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto directamente, usando el equipo medidor de la velocidad del ultrasonido.

5.2 Gestión para aplicación de la investigación

5.2.1 Investigación de la muestra o testigos de concreto

La muestra está conformada por los testigos de concreto, por lo tanto, se necesitó buscar y definir, donde realizar el estudio de la muestra.

Se hizo la evaluación de diferentes proyectos u obras de construcción que usarían concreto, también evaluamos la posibilidad de laboratorios que evalúan concreto y productoras de concreto; para poder acceder al estudio de la muestra o testigos de concreto y poder decidir y elegir a uno de ellos. Para la elección visitamos una planta de concreto, dos laboratorios de control de calidad y dos obras en proceso de construcción.

Cuando presentamos el proyecto a todas las empresas mencionadas, la opinión de éstas fue que: les pareció interesante; pero a la hora de tomar decisiones, comenzaron las interrogantes, como, por ejemplo: dónde lo usaron, también preguntaron si el ultrasonido no dañaba la estructura y de esa manera muchas preguntas, que me confirmaron el desconocimiento de la tecnología y me convencí de que era necesario hacer la investigación para mostrar resultados. Finalmente, el dueño de una obra en proceso de construcción, que estaba por iniciar, aceptó que estudiásemos sus testigos de concreto y luego evaluaríamos los elementos estructurales de dicha construcción.

El edificio tiene por nombre, Edificio CELDA, proyectado para ser un edificio de 5 pisos y un sótano. La edificación está ubicada en, la Av. Circunvalación Mz B Lote 01 de la parcela 13 de la parcelación baja del fundo Huachipa, Lurigancho Lima. Sus medidas son por el norte 30.78 m. por el sur 31.08 m. por el oeste 11.00 m y por este 11.51 m; ocupando un área de terreno de 345 m² aproximadamente.

A pesar de que el edificio tiene los parámetros y cumple con los requerimientos para construir 5 pisos y un sótano; en esta primera etapa sólo se construyó el sótano y 3 pisos.

El área construida en la primera etapa es de aproximadamente 980 m², el cual comprende la construcción de los elementos estructurales, conformados por: Cimientos, Zapatas, Columnas de Losas, Vigas y placas.

El volumen de concreto premezclado fresco, utilizado para construir estos elementos estructurales fue de 320 m³, aproximadamente repartidos en: 20 zapatas, 12 cimientos, 210 m² de losa, conectadas, 24 placas, 20 columnas y 40 vigas aproximadamente. Ver Planos en la sección de anexos. El volumen total de concreto premezclado fresco, fue comprado a la empresa Coral Mix. Afirmando que, todo el volumen fue un mismo tipo de concreto con relación agua cemento definida y fija; de donde se obtuvieron los testigos de concreto que sirvieron como muestra para hacer la investigación de la presente tesis.

5.2.2 Selección de la muestra o testigos de concreto

La muestra que se estudia en la investigación está conformada por testigos de un concreto premezclado llamado 350 y con una relación agua cemento 0.5. Esto significa que, pasado los 28 días, el concreto de las estructuras de concreto debe tener una resistencia en compresión que supere los 350 Kg/cm² sin ningún inconveniente y que, además, se espera impermeabilizar la barra de refuerzo y por esa razón se pide que la relación agua cemento sea de 0.5 absolutamente.

Por las dificultades propias de una obra en construcción, durante el estudio de las muestras, decidí evaluar a los testigos de concreto de manera estratégica para obtener una muestra más representativa y así poder elaborar varias curvas calibradas que me permitieran comparar los resultados estadísticamente.

Por lo tanto, decidí elaborar 5 curvas calibradas, en función del tipo de estructura con ensayos en muestras o testigos de 28 días, de esta manera tendremos una curva calibrada para: Cimientos y Zapatas, una para las Placas de Sótano, una curva calibrada para la Losa del primer piso, una para las Columnas y una curva calibrada para las Losa del segundo piso y vigas.

5.3 Metodología para elaborar la curva calibrada

Para elaborar la curva calibrada de la muestra, les hicimos tres pruebas o ensayos diferentes a cada testigo. El paso preliminar para realizar los tres ensayos a cada testigo fue la toma de medidas geométricas de cada testigo de concreto que compone la muestra.

Tabla 14: Toma de medidas geométricas de los testigos de concreto

Toma de medidas geométricas de los testigos de concreto					
Testigo	Diámetro cm		Altura cm		Área cm ²
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio cm	
1	15.15	15.17	30.45	30.43	180.7
	15.15		30.45		
	15.20		30.40		
2	15.20	15.18	30.40	30.45	181.0
	15.20		30.50		
	15.15		30.45		
3	15.20	15.17	30.40	30.43	180.7
	15.20		30.50		
	15.10		30.40		
4	15.20	15.18	30.40	30.43	181.0
	15.15		30.50		
	15.20		30.40		

Fuente: Propia.

En esta tabla se muestra todas las lecturas posibles que se le hace a cada testigo de concreto y los resultados se muestran según su promedio. Es decir, se registra tres veces la medida del diámetro y tres veces la medida de la altura para luego promediar y usar el dato promedio en los cálculos de los ensayos subsiguientes.

Cómo el procedimiento para realizar los tres ensayos subsiguientes y obtener tres datos diferentes de cada testigo de concreto se repite en todos los testigos de concreto, sólo describiremos las tres pruebas o ensayos de un solo testigo, pero mostraremos los resultados de las pruebas o ensayos de todos los testigos de concreto que conforman la muestra.

Las tres pruebas o ensayos a los testigos de concreto que conforman la muestra son las siguientes:

Medición de velocidad de ultrasonido, usando equipo medidor de ultrasonido

Medición de uniformidad o rebote, usando el esclerómetro o martillo Schmidt

Determinación de la resistencia a la compresión, usando máquina de compresión.

5.3.1 Pruebas o ensayos en los testigos de concreto o muestra para elaborar la curva calibrada

Medición de la velocidad del ultrasonido, en los testigos de concreto, usando equipo medidor de ultrasonido

Definición

Es el procedimiento por el cual se determina el tiempo que demora en pasar el ultrasonido, entre las áreas de contacto, del testigo de concreto. Las áreas de contacto del testigo de concreto están separadas por una distancia que viene a ser la altura del testigo de concreto; por lo tanto, ingresar la distancia o altura del testigo de concreto, previamente y al determinar el tiempo del viaje del ultrasonido, al sistema del equipo determina de manera automática la velocidad del ultrasonido que pasa a través del testigo concreto.

Equipos

Un equipo medidor de velocidad de ultrasonido. Ver Figura 21

Gel acoplante

Accesorios

Procedimiento

Se verifica la operatividad del equipo medidor de ultrasonido, esto se realiza usando el elemento verificador que tiene el equipo. Se verifica las áreas de contacto del testigo de concreto, a fin de evitar anomalías que puedan perturbar a los transductores, durante la emisión y recepción del ultrasonido.

Se determina la distancia, de tres lecturas, entre las áreas de contacto del testigo de concreto y se ingresa en el sistema del equipo medidor de ultrasonido. Se unta con gel acoplante las áreas de contacto del testigo de concreto y las áreas de contacto de los transductores, emisor y receptor de ultrasonido; para garantizar la correcta transmisión de ultrasonido desde el emisor al testigo de concreto y al receptor de ultrasonido. Se coloca el transductor emisor en una de las áreas de contacto del testigo de concreto y el transductor receptor en la otra área de contacto del testigo de concreto.

Se ejecuta con la opción play del sistema del equipo medidor de ultrasonido, y se espera el tiempo prudencial para que viaje el ultrasonido a través del testigo de concreto. Se registra la velocidad del ultrasonido, que será mostrado en la pantalla del equipo medidor de ultrasonido.

Cálculos y datos obtenidos

Tabla 15: Registro de tiempo y velocidad de ultrasonido en testigos de concreto

Registro de velocidad de ultrasonido de los testigos de concreto

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas Cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.45	30.43	70.60	4310
	30.45			
	30.40			
2	30.40	30.45	71.56	4255
	30.50			
	30.45			
3	30.40	30.43	76.61	3972
	30.50			
	30.40			
4	30.40	30.43	73.90	4118
	30.50			
	30.40			

Fuente: Elaboración propia.

- **Medición del rebote del testigo de concreto, usando el martillo Schmidt**

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en la norma NTP 339.181, ASTM C805.

Definición

Este ensayo se realiza para determinar la uniformidad del concreto, determinar zonas de baja resistencia, verificar la ganancia de resistencia del concreto si se encuentra con observaciones y para que en conjunto con otros ensayos no destructivos evaluar la estructura. Es el procedimiento por el cual se determina el número de rebote del testigo de concreto. El proceso se realiza utilizando el martillo esclerómetro y se trata de golpear la esfera de acero interna del martillo esclerómetro contra la superficie del testigo de concreto y leer el rebote que este proceso ocasiona.

Equipos

Un Dispositivo determinar la uniformidad. Ver figura N°17

Es conocido comúnmente como martillo esclerómetro o martillo de Schmidt y determina un número de rebote que resulta del golpe y rebote de una esfera de acero que está dentro del martillo esclerómetro, este golpe o rebote como mejor se le conoce es un número adimensional que va desde 20 a 55 y guarda una relación aproximadamente directa con la resistencia a la compresión del testigo de concreto y/o concreto de la estructura de concreto. Existen modelos denominados N, NR, L y LR que están diseñados especialmente para evaluar la calidad y la resistencia a la compresión del concreto con valores de 10 a 70 N/mm² (de 1450 a 10 152 psi) y la variación de modelo está relacionado a la energía de impacto y la performance específico del equipo.

Una piedra abrasiva de carbura de sílice.

Accesorios varios como brocha, crayolas, franela, etc.

Procedimiento

Se verifica la operatividad el equipo medidor de uniformidad, haciendo uso del elemento de masa de metal. Se acondiciona el testigo de concreto, fijándolo en una prensa con aplicación de carga de 1500 Kg aproximadamente

Se coloca en posición, el equipo medidor de uniformidad y se adopta la posición adecuada de impacto. Garantizando la perpendicularidad entre el pistón del equipo medidor de uniformidad y el área de contacto del testigo de concreto.

Se quita el seguro de bloqueo de pistón del equipo medidor de uniformidad y se retrae el cuerpo del equipo medidor de uniformidad, de tal manera que el pistón de impacto se alargue completamente. Se aplica una fuerza necesaria, uniforme, simétrica y continua; para que el pistón de impacto se contraiga, hasta escuchar un impacto.

Inmediatamente después de escuchar el impacto, se pone el seguro de bloqueo del pistón del equipo medidor de uniformidad. Se registra un número de rebote adimensional, al retirar el equipo del área de contacto, leído desde la tabla graduada que forma parte de la estructura del equipo medidor de uniformidad.

Cálculo y datos obtenidos

Tabla 16: Registro de Rebote Martillo Schmidt de los testigos de concreto

Registro de Rebote Martillo Schmidt de los testigos de concreto						
Testigo	Diámetro cm		Altura cm		Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas	Promedio
1	15.15	15.17	30.45	30.43	44	44
	15.15		30.45		45	
	15.20		30.40		44	
2	15.20	15.18	30.40	30.45	44	43
	15.20		30.50		43	
	15.15		30.45		43	
3	15.20	15.17	30.40	30.43	40	40
	15.20		30.50		41	
	15.10		30.40		40	
4	15.20	15.18	30.40	30.43	42	42
	15.15		30.50		43	
	15.20		30.40		42	

Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la resistencia en compresión de los testigos de concreto, usando máquina de compresión

El procedimiento aplicado para este ensayo está establecido en las normas NTP 339.034, ASTM C39.

Definición

Se realiza para verificar y determinar la calidad del concreto. Este ensayo es el único con el que se aprueba o no la calidad del concreto, por lo general.

Consiste en comprimir un testigo de concreto para determinar su resistencia a la compresión f'_c . La resistencia a la compresión, es la capacidad al esfuerzo a compresión que soportan los testigos de concreto, se determina en la máquina de compresión estandarizada, a un tiempo y frecuencia estandarizada y establecida: el proceso es colocar el testigo de concreto dentro de la máquina y aplicar carga o fuerza a una velocidad controlada, esta carga se aplica sobre el área plana del testigo de concreto, hasta la falla o hasta superar la carga mínima requerida para el tipo de testigo de concreto.

Equipos

Una máquina de compresión que sea capaz de ejercer una fuerza de manera continua y a una velocidad controlada. Ver Foto N°18

Debe tener un motor servo controlado que garantice una velocidad del esfuerzo de $0.25 \text{ MPA} \pm 0.05 \text{ MPa}$. Un sistema de aplicación e carga que garantice la transmisión de carga a los testigos cilíndricos y un verificador digital que garantice el cumplimiento de la aplicación de la carga. Un par de platos retenedores de metal junto con varios pares de almohadillas de neopreno. Equipo completo para refrentar las áreas del testigo de concreto. Un vernier con capacidad suficiente para medir el diámetro y la altura del testigo de concreto.

Procedimiento

Registrar los datos de los testigos de concreto. Es decir, a que elemento estructural corresponde y de que obra.

Determinar el área y altura del testigo de concreto, usando el vernier, con aproximación al 0.1 cm.

Colocar los platos retenedores y las almohadillas de neopreno al testigo de concreto.

Colocar el testigo de concreto dentro de la máquina de compresión y aproximar el pistón de carga hasta detectar que el testigo de concreto está recibiendo carga. Aplicar la carga o fuerza a razón $0.25 \text{ MPa} \pm 0.05$ hasta que en el testigo de concreto se presenten fallas que es un indicativo de que el testigo de concreto ha llegado a su máxima resistencia a la compresión. Registrar el resultado mostrado en el pantallazo de la máquina de compresión con aproximación a 0.01 KN Las fallas se manifiestan con fisuras de la siguiente manera:

Cálculos y datos obtenidos

Tabla 17: Registro de Resistencia en compresión de los testigos de concreto

Registro de Resistencia en compresión de los testigos de concreto					
Testigo	Diámetro cm		Área cm ²	Fuerza KN	f'c MPa
	Lecturas cm	Promedio cm			
1	15.15	15.17	180.7	728.32	40.31
	15.15				
	15.20				
2	15.20	15.18	181.0	720.66	39.82
	15.20				
	15.15				
3	15.20	15.17	180.7	668.07	36.97
	15.20				
	15.10				
4	15.20	15.18	181.0	695.81	38.44
	15.15				
	15.20				

Fuente: propia.

5.3.2 Procesamiento de resultados de los ensayos en los testigos de concreto

Para procesar los resultados usamos las condiciones de criterios de aceptación del concreto en función de la resistencia a la compresión. Es decir, la investigación de hizo en un concreto de 350 Kgf/cm² o su equivalente en sistema internacional de 34.32 MPa; por lo tanto, ningún promedio de tres ensayos consecutivos de resistencia en compresión, deben ser menores a la resistencia de diseño 34.32 MPa o ningún resultado debe estar por debajo de 35 Kgf/cm² o 3.43 MPa descontado de la resistencia de diseño 34.32 MPa.

Cumpliendo estas condiciones en función del criterio de aceptación del concreto, elaboramos las tablas en donde se muestran los resultados de resistencia en compresión, el valor de rebote con martillo Schmidt y la velocidad del ultrasonido.

Se puede verificar que ningún valor de resistencia en compresión está por debajo de la resistencia de diseño 34.32MPa, del cual se deduce que el promedio de tres resultados consecutivos tampoco está por debajo de la resistencia de diseño y menos que alguno de los valores registrados esté por debajo de 30.89 MPa mínimo valor permitido por los criterios de aceptación del concreto.

Tabla 18: Registro de Valores que se usa para Calibrar la Curva

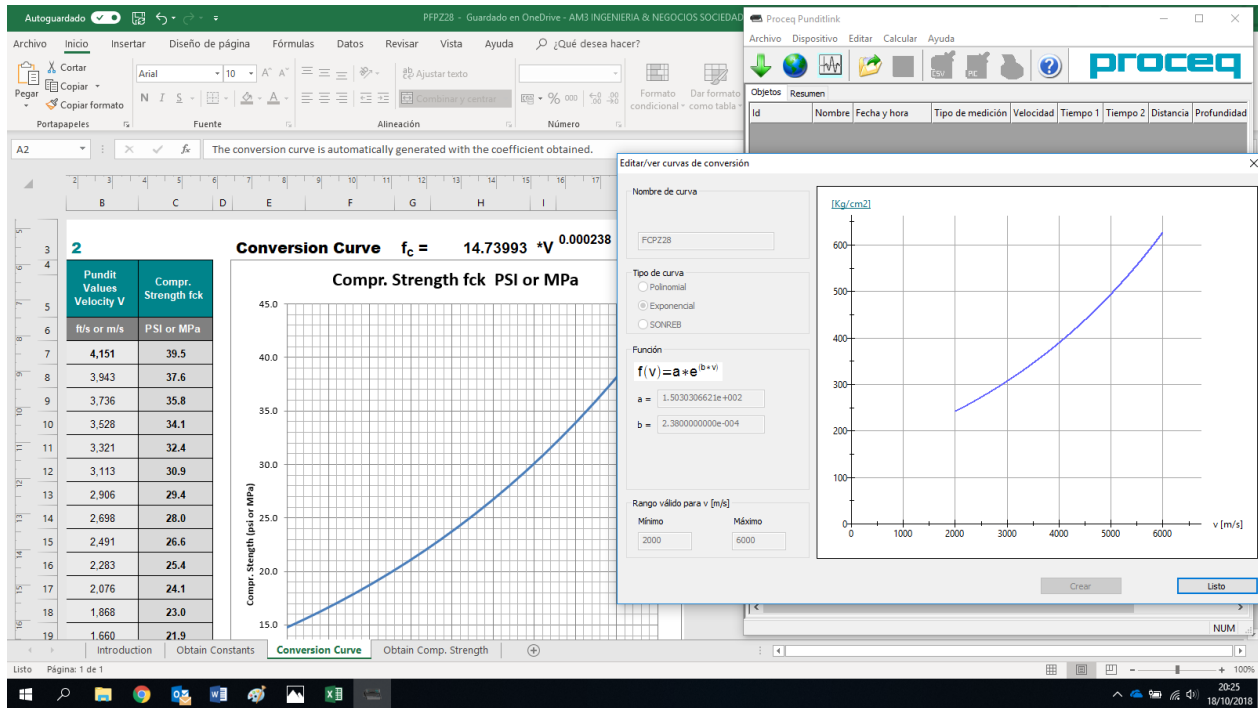
Registro de Valores que se usa para Calibrar la Curva			
Testigo	Velocidad de Ultrasonido m/s	N° Rebote Martillo Schmidt	Resistencia en Compresión f'c MPa
1	4310	44	40.31
2	4255	43	39.82
3	3972	40	36.97
4	4118	42	38.44

Fuente: Propia.

5.3.3 Generación de la curva calibrada

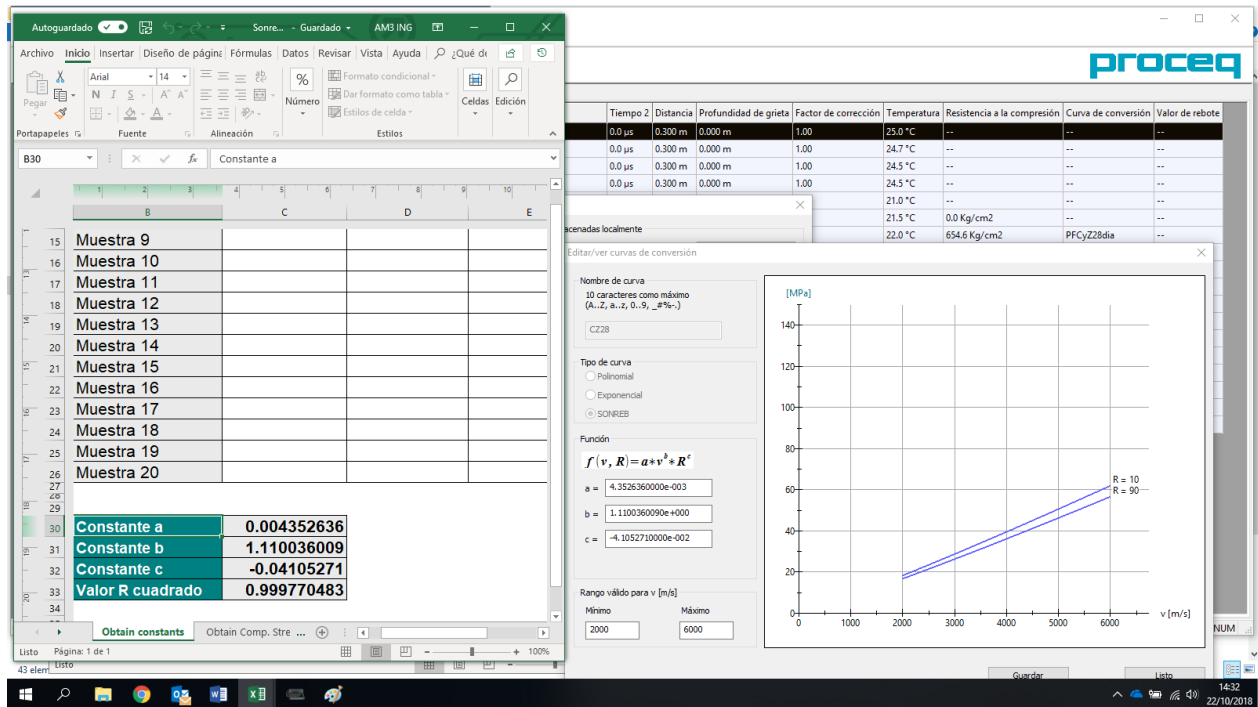
Para generar la curva calibrada se ingresa los valores de la tabla 18 al programa del equipo medidor de velocidad del ultrasonido. Con estos datos, el software PunditLink procesa la información y puede generar tres tipos de curvas: polinomial, exponencial y Sonreb. En esta investigación se decidió elaborar o calibrar curvas de tipo exponencial y Sonreb. La curva exponencial al momento de la verificación es la más práctica, porque sólo necesita el valor de la velocidad del ultrasonido para determinar la resistencia en compresión. La curva Sonreb, indica más control, pero al momento de la verificación de la resistencia en compresión necesita el valor de la velocidad del ultrasonido y el valor del rebote con el martillo Schmidt; sin embargo, ambas son precisas y se garantiza el uso siempre y cuando se calibre bien las curvas.

Figura 23: Curva calibrada con fórmula Exponencial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22: Curva calibrada con fórmula Sonreb



Fuente: Elaboración propia.

5.4 Metodología de comprobación de la investigación

En esta sección mostraremos los resultados de la resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto. Para la investigación hicimos varias pruebas del edificio construido para lo cual primero tuvimos que determinar la estructura y las barras de refuerzo para no obtener resultados alterados

5.4.1 Ubicación de las barras de refuerzo de las estructuras a evaluar para la comprobación

Definición

Es un procedimiento que permite determinar las barras de acero de refuerzo que tiene las estructuras de las construcciones hechas con concreto. Se ejecuta con equipos que usan fundamento teórico de medición de campos magnéticos de metales, lo que permite determinar las medidas de las barras de refuerzo y el espesor del concreto que cubre a las barras de refuerzo; sin embargo el propósito principal es la ubicación de las barras de refuerzo en el elemento estructural para realizar los ensayos de control de calidad ya sea destructivos o no destructivos y de esa manera no tener alteraciones en los resultados producto de la interferencia de las barras de refuerzo existentes en los elementos estructurales.

Equipos

Dispositivo detector de barras de refuerzo del concreto de las estructuras del concreto

Figura 24: Dispositivo detector de barras de refuerzo



Fuente: Propia.

Es un equipo que permite determinar principalmente la ubicación del acero de refuerzo en las estructuras de concreto es un instrumento sofisticado que cuenta con un amplio rango de aplicaciones con los modos de exploración de líneas y de área, y una extensa gama de vistas estadísticas. Es apropiado sobre todo para la medición de grandes áreas, líneas largas, o al requerir informes exhaustivos.

Por ejemplo, en la inspección de túneles, muros de contención, losas de hormigón, losas de puentes, losas y muros armados. Basado en la unidad de pantalla del determinador de barra, conocido también como Profometer PM650, el instrumento ofrece control en tiempo real del procedimiento de medición directamente en el emplazamiento. La pantalla de color de alta resolución permite la medición y el análisis de lo mejor posible de los datos estadísticos de un trabajo completo.

Procedimiento

Se ubica el elemento estructural a estudiar

Se coloca el sensor o la sonda electromagnética sobre el elemento estructural

Desplazar el sensor hasta encontrar alertas de acero de refuerzo.

Agudizar el desplazamiento y marcar la ubicación del acero de refuerzo.

Se repite la operación hasta demarcar la ubicación de todas las barras de refuerzo del elemento estructural.

Cálculos y datos obtenidos

Los resultados son entregados en campo justamente demarcado sobre el elemento estructural, la ubicación de las barras de refuerzo

5.4.2 Determinación de la resistencia en compresión del concreto en las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido

Definición

Es el mecanismo o proceso por el cual se verifica la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, que está en servicio, usando el equipo medidor de ultrasonido. Estas estructuras de concreto son:

Cimientos y Zapatas

Placas de Sótanos

Columnas

Losa del Primer Piso

Losa del Segundo Piso y Vigas

Equipos

Un equipo medidor de velocidad de ultrasonido. Ver figura 19

Gel acoplante

Accesorios

Procedimiento

Se genera la curva dentro del equipo medidor de ultrasonido

Se verifica la operatividad del equipo medidor de ultrasonido, esto se realiza usando el elemento verificador que tiene el equipo.

Se verifica las áreas de contacto de la estructura de concreto, a fin de evitar anomalías que puedan perturbar a los transductores, durante la emisión y recepción del ultrasonido.

Se determina la distancia involucrada entre los transductores de la estructura de concreto de concreto y se ingresa en el sistema del equipo medidor de ultrasonido.

Se unta con gel acoplante las áreas de contacto de la estructura de concreto y las áreas de contacto de los transductores, emisor y receptor de ultrasonido; para garantizar la correcta transmisión de ultrasonido desde el emisor a la estructura de concreto y al receptor de ultrasonido.

Se coloca el transductor emisor en una de las áreas de contacto de la estructura de concreto y el transductor receptor en la otra área de contacto de la estructura de concreto.

Se ejecuta con la opción play del sistema del equipo medidor de ultrasonido, y se espera el tiempo prudencial para que viaje el ultrasonido a través de la estructura de concreto.

Se determina y registra la resistencia a la compresión del concreto de la estructura de concreto.

Cálculos y datos obtenidos

Los datos obtenidos se pueden visualizar en la pantalla del equipo medidor de velocidad de ultrasonido, también software y Excel del equipo medidor de velocidad de ultrasonido, según se muestran en las imágenes.

Figura 25: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, mostrado en la pantalla del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido



Fuente: Propia.

Figura 26: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, mostrado en el Excel del equipo medidor de la velocidad del ultrasonido

	Resistencia a la compresión	Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)	SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)
Punto de datos 1	38.75049291	4,150	42
Punto de datos 2	40.258977	4,299	43
Punto de datos 3	39.52863118	4,225	42
Punto de datos 4	39.53901669	4,226	42
Punto de datos 5	40.07190677	4,281	43
Punto de datos 6	40.7613972	4,351	44
Punto de datos 7			
Punto de datos 8			
Punto de datos 9			
Punto de datos 10			
Punto de datos 11			

Esta hoja se ha concebido para asistir en la determinación de la resistencia a la compresión de hormigón usando el método Sonreb y las constantes derivadas en la hoja "Obtain constants". Introducir hasta un máximo de 100 puntos de datos. Introducir únicamente los datos de velocidad de pulso ultrasónico y los datos del SilverSchmidt / Original Schmidt (sólo celdas blancas).

Fuente: Propia.

Figura 27: Resistencia en compresión del concreto de las estructuras del concreto, mostrado en el software PunditLink

ID	Nombre	Fecha y hora	Tipo de medición	Velocidad	Tiempo 1	Tiempo 2	Distancia	Profundidad de grieta	Factor de corrección	Temperatura	Resistencia a la compresión	Curva de conversión	Valor de rebote
2	05/27/2018 124...	05/27/2018 12:4...	Directo (predete...	4172 m/s	71.9 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	24.7 °C	---	---	---
3	05/27/2018 109...	05/27/2018 1:09...	Directo (predete...	4202 m/s	71.4 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	24.5 °C	---	---	---
4	05/27/2018 111...	05/27/2018 1:11...	Directo (predete...	4087 m/s	78.8 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	24.3 °C	---	---	---
5	09/29/2018 3:00...	09/29/2018 3:00...	Directo (predete...	4043 m/s	0.0 µs	0.0 µs	0.150 m	0.000 m	1.00	21.0 °C	---	---	---
6	09/29/2018 6:50...	09/29/2018 6:50...	Directo (predete...	10000 m/s	29.8 µs	0.0 µs	0.301 m	0.000 m	1.00	21.5 °C	1871.1 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
7	09/29/2018 7:05...	09/29/2018 7:05...	Directo (predete...	5862 m/s	24.1 µs	0.0 µs	0.153 m	0.000 m	1.00	22.0 °C	654.6 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
8	09/29/2018 7:06...	09/29/2018 7:06...	Directo (predete...	5752 m/s	26.4 µs	0.0 µs	0.153 m	0.000 m	1.00	22.0 °C	636.3 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
9	09/29/2018 7:07...	09/29/2018 7:07...	Directo (predete...	5584 m/s	27.4 µs	0.0 µs	0.153 m	0.000 m	1.00	22.0 °C	609.8 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
10	09/29/2018 7:07...	09/29/2018 7:07...	Directo (predete...	5752 m/s	26.4 µs	0.0 µs	0.153 m	0.000 m	1.00	22.0 °C	636.3 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
11	09/29/2018 7:09...	09/29/2018 7:09...	Directo (predete...	0 m/s	0.0 µs	0.0 µs	0.153 m	0.000 m	1.00	22.0 °C	147.9 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
12	10/06/2018 104...	10/06/2018 10:4...	Directo (predete...	4471 m/s	87.1 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	20.2 °C	439.9 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
13	10/06/2018 104...	10/06/2018 10:4...	Directo (predete...	4539 m/s	86.1 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	20.2 °C	467.0 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
14	10/06/2018 104...	10/06/2018 10:4...	Directo (predete...	4539 m/s	86.1 µs	0.0 µs	0.300 m	0.000 m	1.00	20.2 °C	467.0 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---
15	10/06/2018 112...	10/06/2018 11:2...	Directo (predete...	5642 m/s	112.1 µs	0.0 µs	0.401 m	0.000 m	1.00	20.7 °C	272.2 Kg/cm2	PFCyZ3dia	---

Configuración

- Longitud del impulso: 9.3 µs
- Frecuencia de sonda: 54 kHz
- Amplitud del impulso: 500V
- Ganancia de sonda Ro: 10x
- Desviación de tiempo de calib: -6.0 µs
- Nombre del dispositivo: Pundit Lab+
- Número de serie: PL02-005-0173
- Versión del software: 2.4.0
- Indice del hardware: CR

Coefficiente de Poisson - módulo de elasticidad

- Densidad: 0.0 kg/m3
- Velocidad 2: 0 m/s
- Coefficiente de Poisson: 0.00
- Módulo de elasticidad: 0.00 MPa

Comentario

[Añadir]

Fuente: PunditLink

Capítulo VI

Resultados de la Investigación

Los datos que se muestran a continuación son los resultados de la investigación realizados a los testigos de concreto con edad de maduración de 28 días y al concreto de las estructuras de concreto

6.1 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de los cimientos y zapatas

6.1.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Tabla 19: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Testigo	Diámetro		Altura		Área
	Lecturas cm	Promedio Cm	Lecturas Cm	Promedio Cm	Calculado cm ²
1	15.15	15.17	30.45	30.43	180.7
	15.15				
	15.20				
2	15.20	15.18	30.40	30.45	181.0
	15.20				
	15.15				
3	15.20	15.17	30.40	30.43	180.7
	15.20				
	15.10				
4	15.20	15.18	30.40	30.43	181.0
	15.15				
	15.20				

Fuente: Propia.

6.1.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Tabla 20: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.45	30.43	70.60	4310
	30.45			
	30.40			
2	30.40	30.45	71.56	4255
	30.50			
	30.45			
3	30.40	30.43	76.61	3972
	30.50			
	30.40			
4	30.40	30.43	73.90	4118
	30.50			
	30.40			

Fuente: Propia.

6.1.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Tabla 21: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Testigo	Diámetro		Altura		Valor de Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas	Promedio	Lecturas	Promedio	Lectura	Promedio
	Cm	cm	cm	Cm		
1	15.15	15.17	30.45	30.43	44	44
	15.15		30.45		45	
	15.20		30.40		44	
2	15.20	15.18	30.40	30.45	44	43
	15.20		30.50		43	
	15.15		30.45		43	
3	15.20	15.17	30.40	30.43	40	40
	15.20		30.50		41	
	15.10		30.40		40	
4	15.20	15.18	30.40	30.43	42	42
	15.15		30.50		43	
	15.20		30.40		42	

Fuente: Propia.

6.1.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Tabla 22: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de los cimientos y zapatas

Registro de Resistencia en Compresión de los testigos de concreto de Cimientos y Zapatas a 28 días

Fecha de Vaciado		22/08/2016		Fecha de Rotura		19/09/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio Cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
1	15.15	15.17	180.7	728.32	40.31		
	15.15						
	15.20						
2	15.20	15.18	181.0	720.66	39.82		
	15.20						
	15.15						

Fecha de Vaciado		5/09/2016		Fecha de Rotura		3/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio Cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
3	15.20	15.17	180.7	668.07	36.97		
	15.20						
	15.10						
4	15.20	15.18	181.0	695.81	38.44		
	15.15						
	15.20						

Fuente: Propia.

6.1.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada

Tabla 23: Resumen de valores para generar la curva calibrada

Resumen de Valores para Generar Curva Calibrada

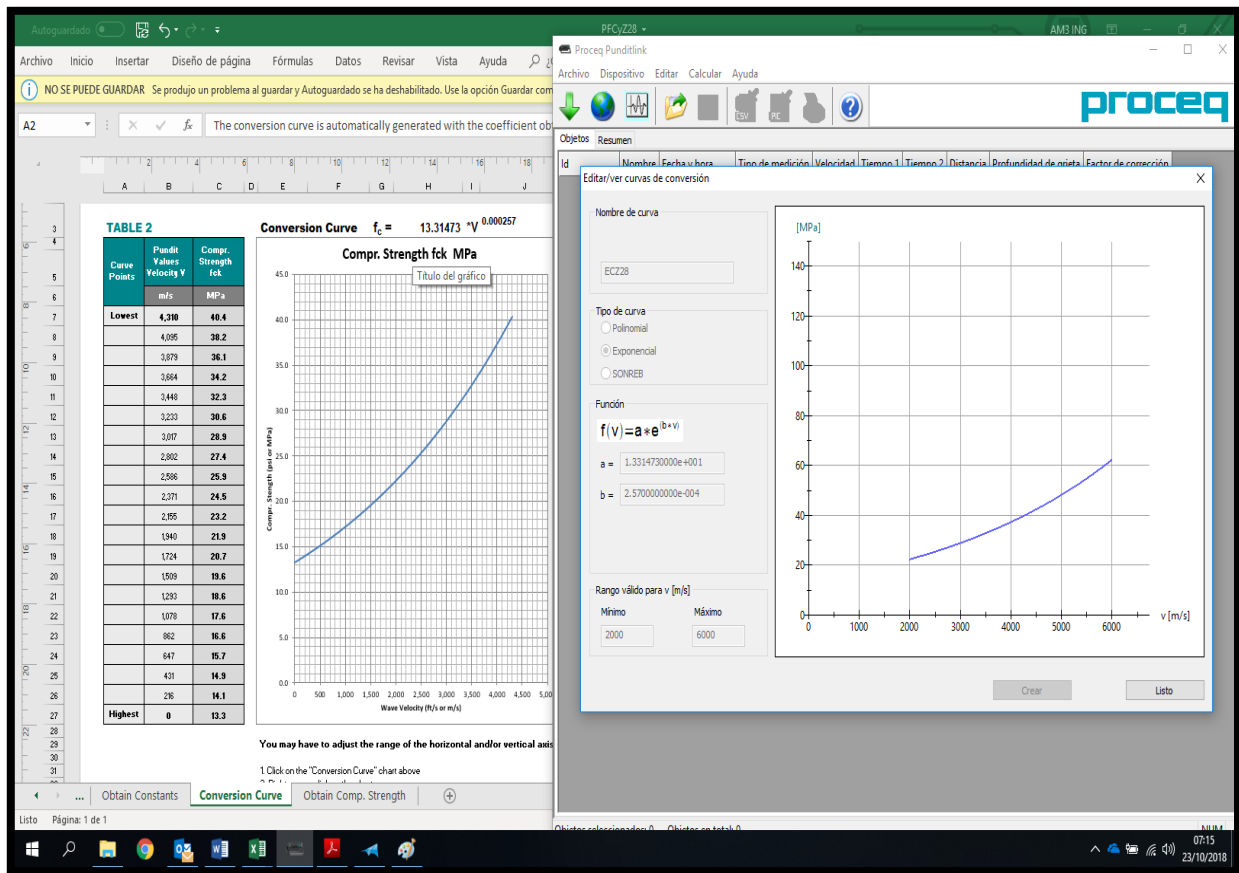
Testigo: Pertenece a Cimientos y Zapatas Ensayados a 28 días

Testigo	Velocidad de Ultrasonido	Valor de Rebote Schmidt	Resistencia en Compresión
	m/s	s/d	MPa
1	4310	44	40.31
2	4255	43	39.82
3	3972	40	36.97
4	4118	42	38.44

Fuente: Propia.

6.1.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas

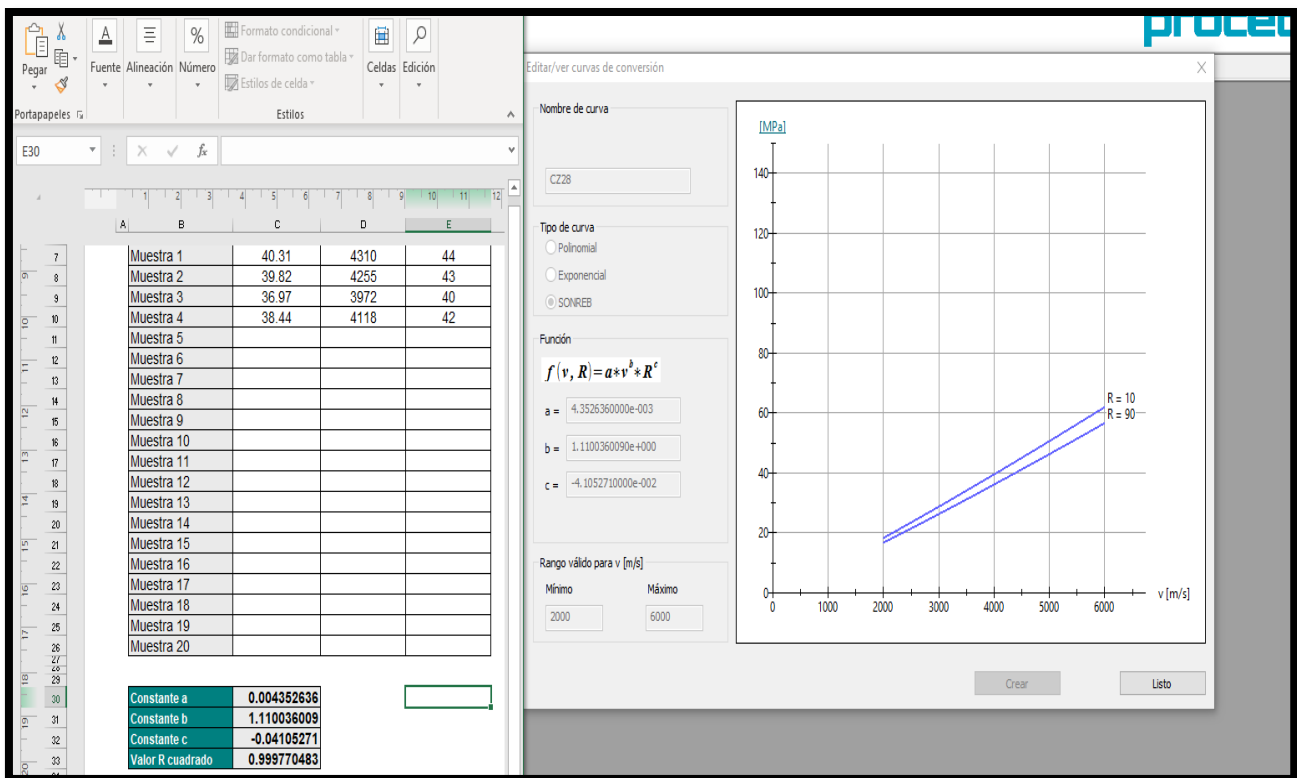
Figura 28: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas



Fuente: Propia.

6.1.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas

Figura 29: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos de concreto de los Cimientos y Zapatas



Fuente: Propia.

6.1.8 Resistencia en compresión del concreto de los Cimientos y Zapatas

Figura 30: Resistencia en compresión del concreto de los Cimientos y Zapatas

The image shows two side-by-side Excel spreadsheets. The left spreadsheet, titled 'TABLA 2: Resistencia a la compresión', contains a table with three columns: 'Resistencia a la compresión', 'Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)', and 'SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)'. The right spreadsheet, titled 'Conversion Curve', contains a table with three columns: 'Data Point No.', 'Compressive Strength fck (MPa)', and 'Pundit Values Velocity V (m/s)'. Both tables list data points from 1 to 16.

Resistencia a la compresión	Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)	SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)
38.75049291	4,150	42
40.258977	4,299	43
39.52863118	4,225	42
39.53901669	4,226	42
40.07190677	4,281	43
40.7613972	4,351	44

Data Point No.	Compressive Strength fck (MPa)	Pundit Values Velocity V (m/s)
1	38.7	4,150
2	40.2	4,299
3	39.5	4,225
4	39.5	4,226
5	40.1	4,281
6	40.8	4,351
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		

Fuente: Propia.

6.2 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de las placas del sótano

6.2.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos de concreto de las placas del sótano

Tabla 24: Registro de las medidas geométricas de los testigos de concreto de las placas del sótano

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Placas de Sótano 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Área Calculado cm ²
	Lecturas Cm	Promedio Cm	Lecturas Cm	Promedio Cm	
1	15.20 15.15 15.20	15.18	30.45 30.45 30.45	30.45	181.0
2	15.20 15.20 15.20	15.20	30.40 30.45 30.45	30.43	181.5
3	15.15 15.15 15.15	15.15	30.40 30.45 30.30	30.38	180.3
4	15.15 15.15 15.15	15.15	30.40 30.45 30.45	30.43	180.3
5	15.15 15.15 15.15	15.15	30.40 30.40 30.40	30.40	180.3
6	15.20 15.15 15.20	15.18	30.40 30.45 30.45	30.43	181.0
7	15.20 15.20 15.20	15.20	30.50 30.40 30.40	30.43	181.5
8	15.15 15.15 15.15	15.15	30.50 30.45 30.40	30.45	180.3

Fuente: Propia.

6.2.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las placas del sótano

Tabla 25: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las placas del sótano

Registro de velocidad de ultrasonido de los testigos de concreto de Placa de Sótano a 28 días

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas Cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.45 30.45 30.45	30.45	73.36	4151
2	30.40 30.45 30.45	30.43	71.53	4254
3	30.40 30.45 30.30	30.38	68.67	4424
4	30.40 30.45 30.45	30.43	66.76	4558
5	30.40 30.40 30.40	30.40	71.78	4235
6	30.40 30.45 30.45	30.43	75.64	4023
7	30.50 30.40 30.40	30.43	75.6	4025
8	30.50 30.45 30.40	30.45	76.43	3984

Fuente: Propia.

6.2.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las placas del sótano

Tabla 26: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las placas del sótano

Registro de Valores de Rebote de Martillo Schmidt de los testigos de concreto de Placas de Sótano a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Valor de Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio cm	Lectura	Promedio
1	15.20	15.18	30.45	30.45	43	42
	15.15		30.45		42	
	15.20		30.45		42	
2	15.20	15.20	30.40	30.43	43	43
	15.20		30.45		43	
	15.20		30.45		42	
3	15.15	15.15	30.40	30.38	44	45
	15.15		30.45		45	
	15.15		30.30		45	
4	15.15	15.15	30.40	30.43	46	46
	15.15		30.45		46	
	15.15		30.45		45	
5	15.15	15.15	30.40	30.40	44	43
	15.15		30.40		43	
	15.15		30.40		43	
6	15.20	15.18	30.40	30.43	42	41
	15.15		30.45		41	
	15.20		30.45		41	
7	15.20	15.20	30.50	30.43	41	41
	15.20		30.40		42	
	15.20		30.40		41	
8	15.15	15.15	30.50	30.45	40	40
	15.15		30.45		41	
	15.15		30.40		40	

Fuente: Propia.

6.2.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las placas del sótano

Tabla 27: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las placas del sótano

Fecha de Vaciado		31/08/2016		Fecha de Rotura		28/09/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio Cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
1	15.20 15.15 15.20	15.18	181.0	701.13	38.74		
2	15.20 15.20 15.20	15.20	181.5	720.87	39.72		
Fecha de Vaciado		3/09/2016		Fecha de Rotura		1/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio Cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
3	15.15 15.15 15.15	15.15	180.3	746.16	41.38		
4	15.15 15.15 15.15	15.15	180.3	769.15	42.66		
Fecha de Vaciado		8/09/2016		Fecha de Rotura		6/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
5	15.15 15.15 15.15	15.15	180.3	712.56	39.52		
6	15.20 15.15 15.20	15.18	181.0	678.06	37.46		
Fecha de Vaciado		16/09/2016		Fecha de Rotura		14/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
7	15.20 15.20 15.20	15.20	181.5	679.93	37.46		
8	15.15 15.15 15.15	15.15	180.3	668.36	37.07		

Fuente: Propia.

6.2.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada

Tabla 28: Resumen de valores para generar la curva calibrada

Resumen de Valores para Generar Curva Calibrada

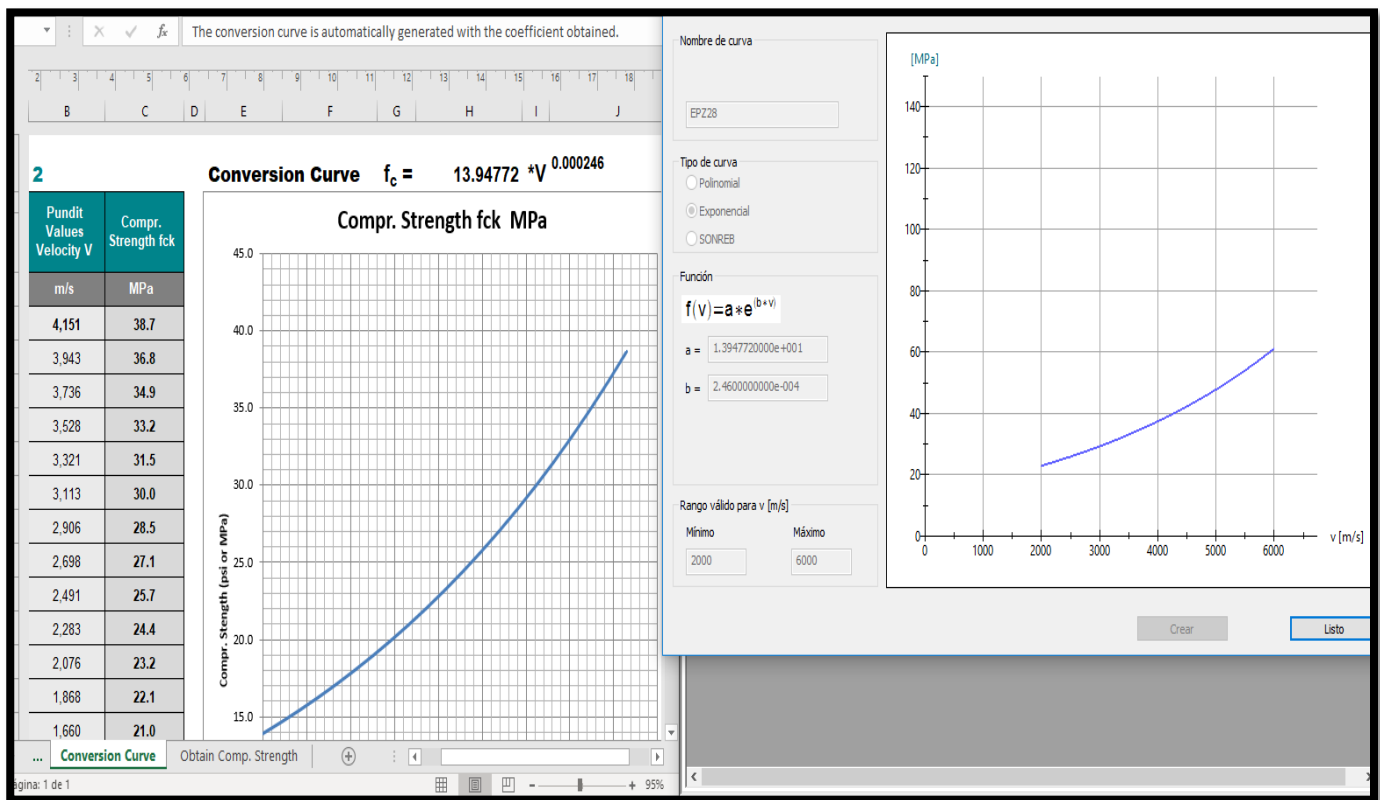
Testigo: Pertenece a Placas de Sótanos Ensayados a 28 días

Testigo	Velocidad de Ultrasonido	Valor de Rebote Schmidt	Resistencia en Compresión
	m/s	s/d	MPa
1	4151	42	38.74
2	4254	43	39.72
3	4424	45	41.38
4	4558	46	42.66
5	4235	43	39.52
6	4023	41	37.46
7	4025	41	37.46
8	3984	40	37.07

Fuente: Propia.

6.2.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano

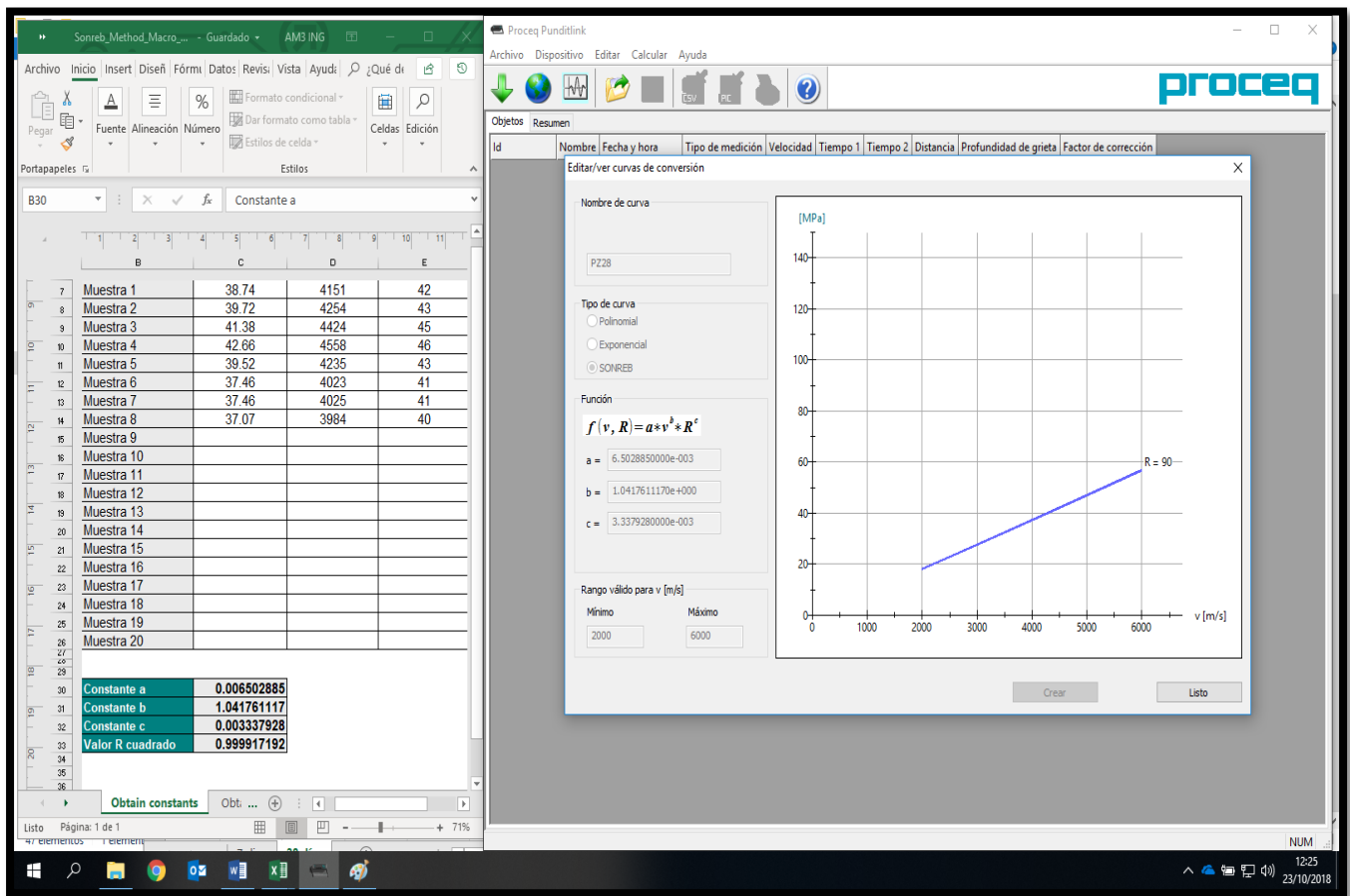
Figura 31: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano



Fuente: Propia.

6.2.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano

Figura 32: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las placas del sótano



Fuente: Propia.

6.2.8 Resistencia en compresión del concreto de las placas del sótano

Figura 33: Resistencia en compresión del concreto de las placas del sótano

TABLE 2: Resistencia a la compresión

Resistencia a la compresión	Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)	SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)
38.69601111	4,150	42
40.14758363	4,299	43
39.42481458	4,225	42
39.43453563	4,226	42
39.97248023	4,281	43
40.65672926	4,351	44

Obtain Compressive Strength

Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
MPa	m/s
38.7	4,150
40.1	4,299
39.4	4,225
39.4	4,226
39.9	4,281
40.6	4,351

This sheet is designed to help you in determining the Compressive Strength of concrete. In case you want to see the shape curve first contact "Conversion Chart". Input the Pundit values (cells) in your spreadsheet (ft/s). Up to 100 values can be inserted.

Fuente: Propia.

6.3 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de las columnas

6.3.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de las columnas

Tabla 29: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de las columnas.

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Columnas a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Área Calculado cm ²
	Lecturas Cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio Cm	
1	15.15	15.17	30.45	30.45	180.7
	15.20		30.50		
	15.15		30.40		
2	15.15	15.18	30.40	30.42	181.0
	15.20		30.45		
	15.20		30.40		
3	15.15	15.17	30.30	30.37	180.7
	15.15		30.45		
	15.20		30.35		
4	15.15	15.15	30.40	30.40	180.3
	15.10		30.45		
	15.20		30.35		

Fuente: Propia.

6.3.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las columnas

Tabla 30: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de las columnas

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Columnas a 28 días

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.45 30.50 30.40	30.45	74.09	4110
2	30.40 30.45 30.40	30.42	70.38	4322
3	30.30 30.45 30.35	30.37	70.88	4285
4	30.40 30.45 30.35	30.40	74.46	4083

Fuente: Propia.

6.3.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las columnas

Tabla 31: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de las columnas

Registro de Valores de Rebote de Martillo Schmidt de los testigos de concreto de Columnas a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Valor de Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio cm	Lectura	Promedio
1	15.15	15.17	30.45	30.45	42	42
	15.20		30.50		43	
	15.15		30.40		42	
2	15.15	15.18	30.40	30.42	44	44
	15.20		30.45		45	
	15.20		30.40		44	
3	15.15	15.17	30.30	30.37	44	43
	15.15		30.45		43	
	15.20		30.35		43	
4	15.15	15.15	30.40	30.40	42	41
	15.10		30.45		41	
	15.20		30.35		41	

Fuente: Propia.

6.3.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las columnas

Tabla 32: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de las columnas

Registro de Resistencia en Compresión de los testigos de concreto de Columnas a 28 días

Fecha de Vaciado		20/09/2016		Fecha de Rotura		18/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas Cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
1	15.15	15.17	180.7	702	38.83		
	15.20						
	15.15						
2	15.15	15.18	181.0	731	40.40		
	15.20						
	15.20						

Fecha de Vaciado		14/10/2016		Fecha de Rotura		11/11/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas Cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
3	15.15	15.17	180.7	723	40.01		
	15.15						
	15.20						
4	15.15	15.15	180.3	686	38.05		
	15.10						
	15.20						

Fuente: Propia.

6.3.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada

Tabla 33: Resumen de valores para generar la curva calibrada

Resumen de Valores para Generar Curva Calibrada

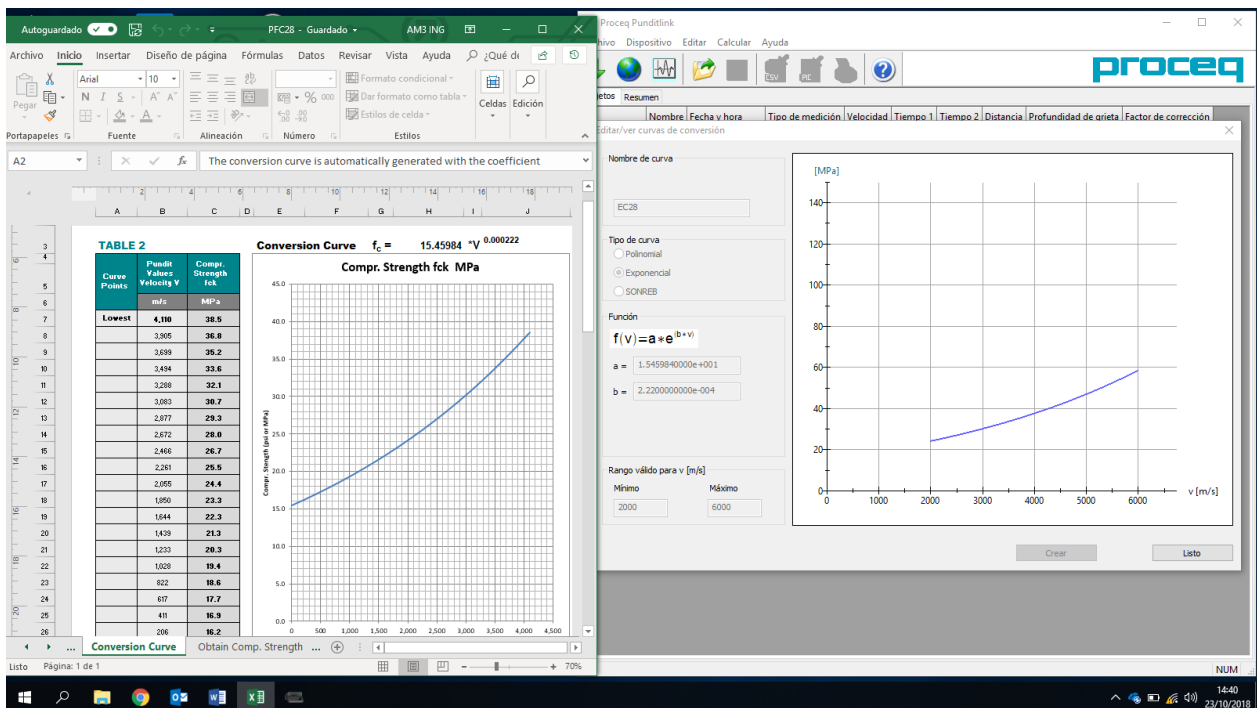
Testigo: Pertenece a Columnas Ensayados a 28 días

Testigo	Velocidad de Ultrasonido	Valor de Rebote Schmidt	Resistencia en Compresión
	m/s	s/d	MPa
1	4110	42	38.83
2	4322	44	40.40
3	4285	43	40.01
4	4083	41	38.05

Fuente: Propia.

6.3.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las columnas

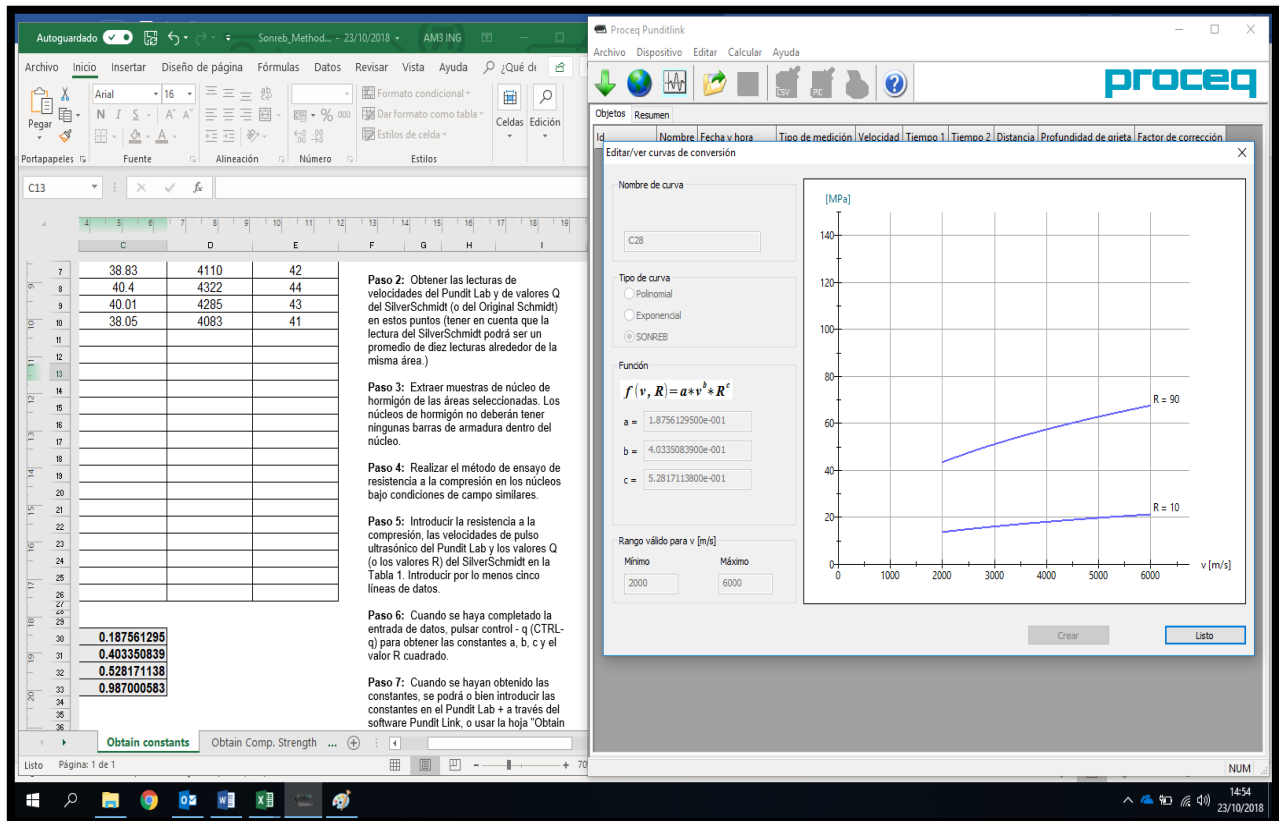
Figura 34: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de las columnas



Fuente: Propia.

6.3.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las columnas.

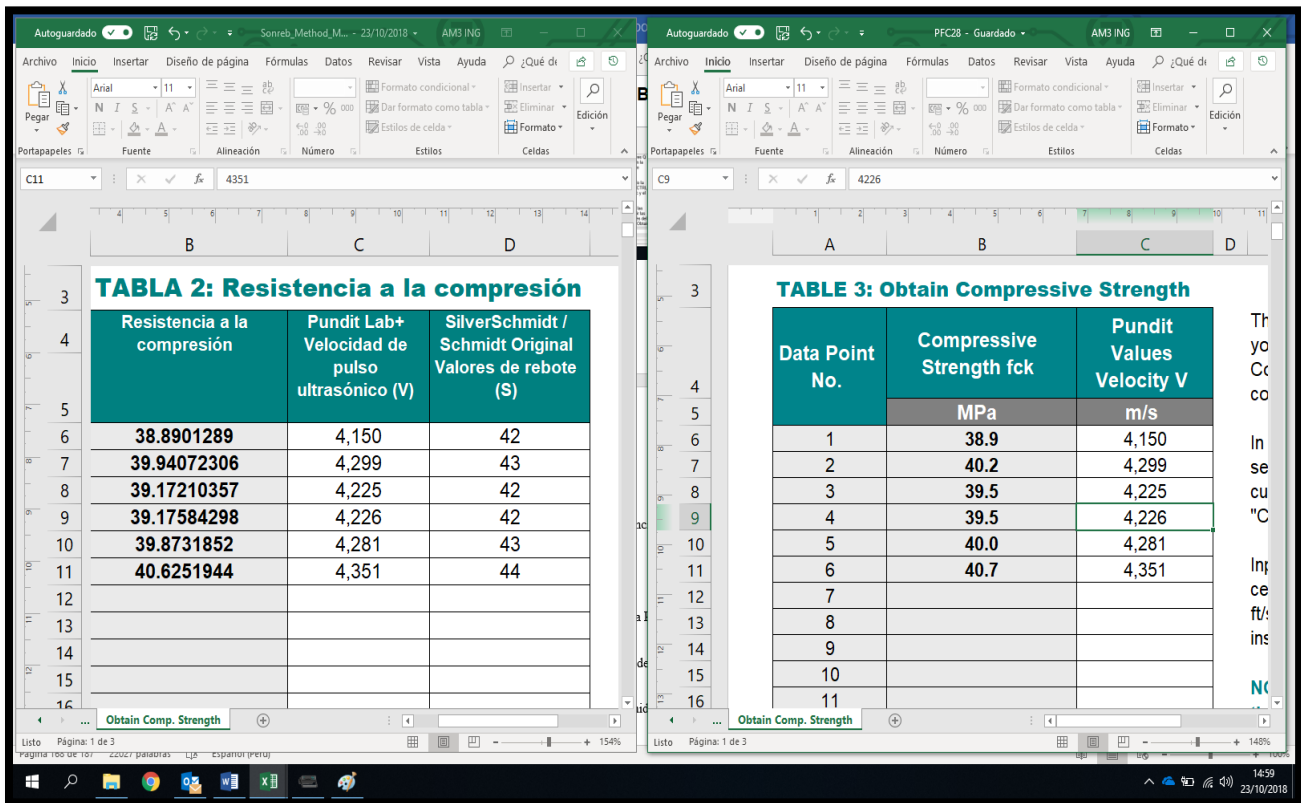
Figura 35: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de las columnas.



Fuente: Propia.

6.3.8 Resistencia en compresión del concreto de las Columnas

Figura 36: Resistencia en compresión del concreto de las Columnas



Fuente: Propia.

6.4 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de la losa del primer piso

6.4.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de la losa del primer piso

Tabla 34: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de la losa del primer piso

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Losa 1er piso a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Área
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas cm	Promedio Cm	Calculado cm ²
1	15.15	15.17	30.40	30.42	180.7
	15.15		30.45		
	15.20		30.40		
2	15.20	15.18	30.40	30.37	181.0
	15.15		30.40		
	15.20		30.30		
3	15.15	15.17	30.40	30.42	180.7
	15.15		30.40		
	15.20		30.45		
4	15.20	15.15	30.40	30.37	180.3
	15.10		30.35		
	15.15		30.35		

Fuente: Propia.

6.4.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de la losa del primer piso

Tabla 35: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de la losa del primer piso

Registro de velocidad de ultrasonido de los testigos de concreto de Losa 1er Piso a 28 días

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.40 30.45 30.40	30.42	73.02	4166
2	30.40 30.40 30.30	30.37	70.24	4324
3	30.40 30.40 30.45	30.42	70.99	4285
4	30.40 30.35 30.35	30.37	74.38	4083

Fuente: Propia.

6.4.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de la losa del primer piso

Tabla 36: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de la losa del primer piso

Registro de Valores de Rebote de Martillo Schmidt de los testigos de concreto de Losa 1er Piso a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Valor de Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas	Promedio	Lecturas	Promedio	Lectura	Promedio
	cm	cm	cm	cm		
1	15.15	15.17	30.40	30.42	42	42
	15.15		30.45		42	
	15.20		30.40		43	
2	15.20	15.18	30.40	30.37	44	44
	15.15		30.40		44	
	15.20		30.30		45	
3	15.20	15.15	30.40	30.42	43	43
	15.10		30.40		43	
	15.15		30.45		43	
4	15.15	15.17	30.40	30.37	41	41
	15.15		30.35		40	
	15.20		30.35		41	

Fuente: Propia.

6.4.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de la losa del primer piso

Tabla 37: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de la losa del primer piso

Registro de Resistencia en Compresión de los testigos de concreto de Losa 1er Piso a 28 días

Fecha de Vaciado		13/09/2016		Fecha de Rotura		11/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
1	15.15	15.17	180.7	694.652	38.44		
	15.15						
	15.20						
2	15.20	15.18	181.0	706.456	39.03		
	15.15						
	15.20						

Fecha de Vaciado		26/09/2016		Fecha de Rotura		24/10/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
3	15.20	15.15	180.3	701.96	38.93		
	15.10						
	15.15						
4	15.15	15.17	180.7	669.84	37.07		
	15.15						
	15.20						

Fuente: Propia.

6.4.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada

Tabla 38: Resumen de valores para generar la curva calibrada

Resumen de Valores para Generar Curva Calibrada

Pertenece a Losa Primer Piso Ensayados a 28 días

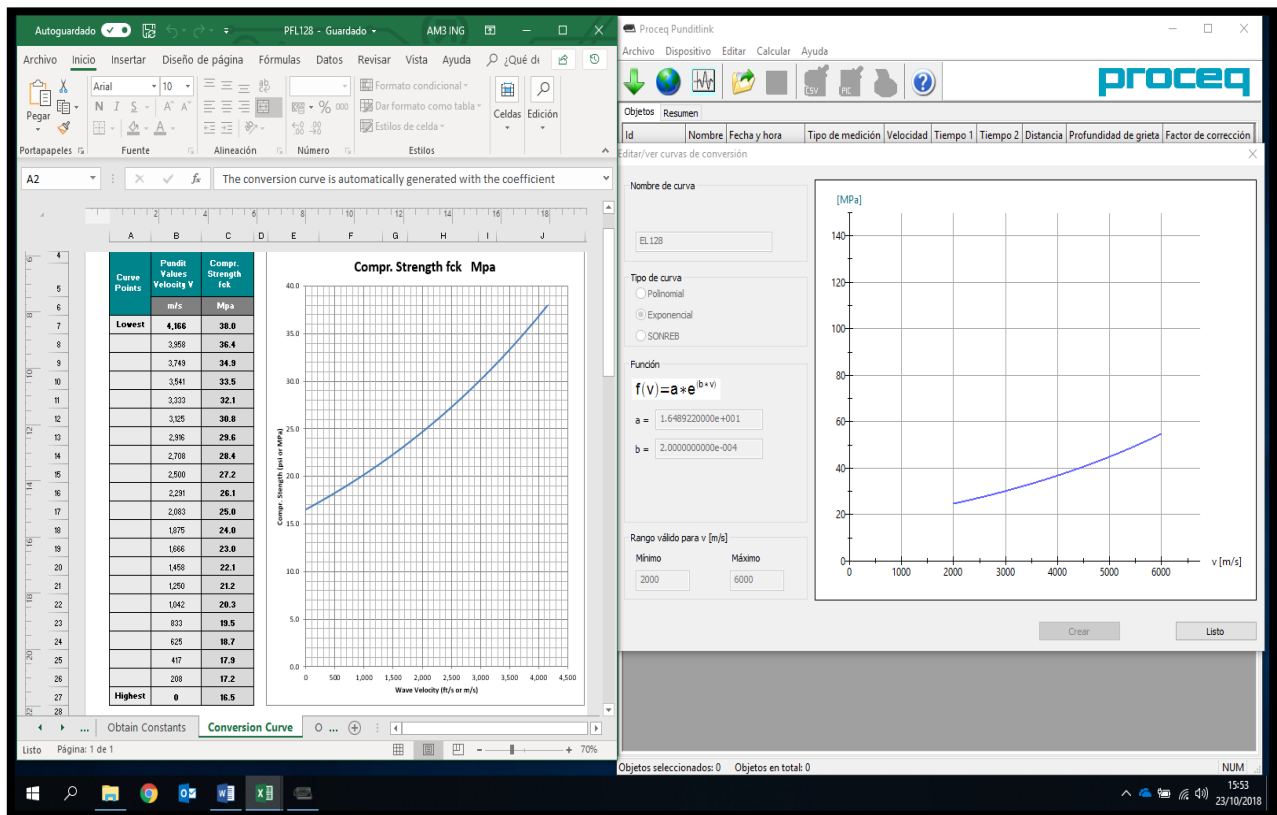
Testigo:

Testigo	Velocidad de Ultrasonido	Valor de Rebote Schmidt	Resistencia en Compresión
	m/s	s/d	MPa
1	4166	42	38.44
2	4324	44	39.03
3	4285	43	38.93
4	4083	41	37.07

Fuente: Propia.

6.4.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso.

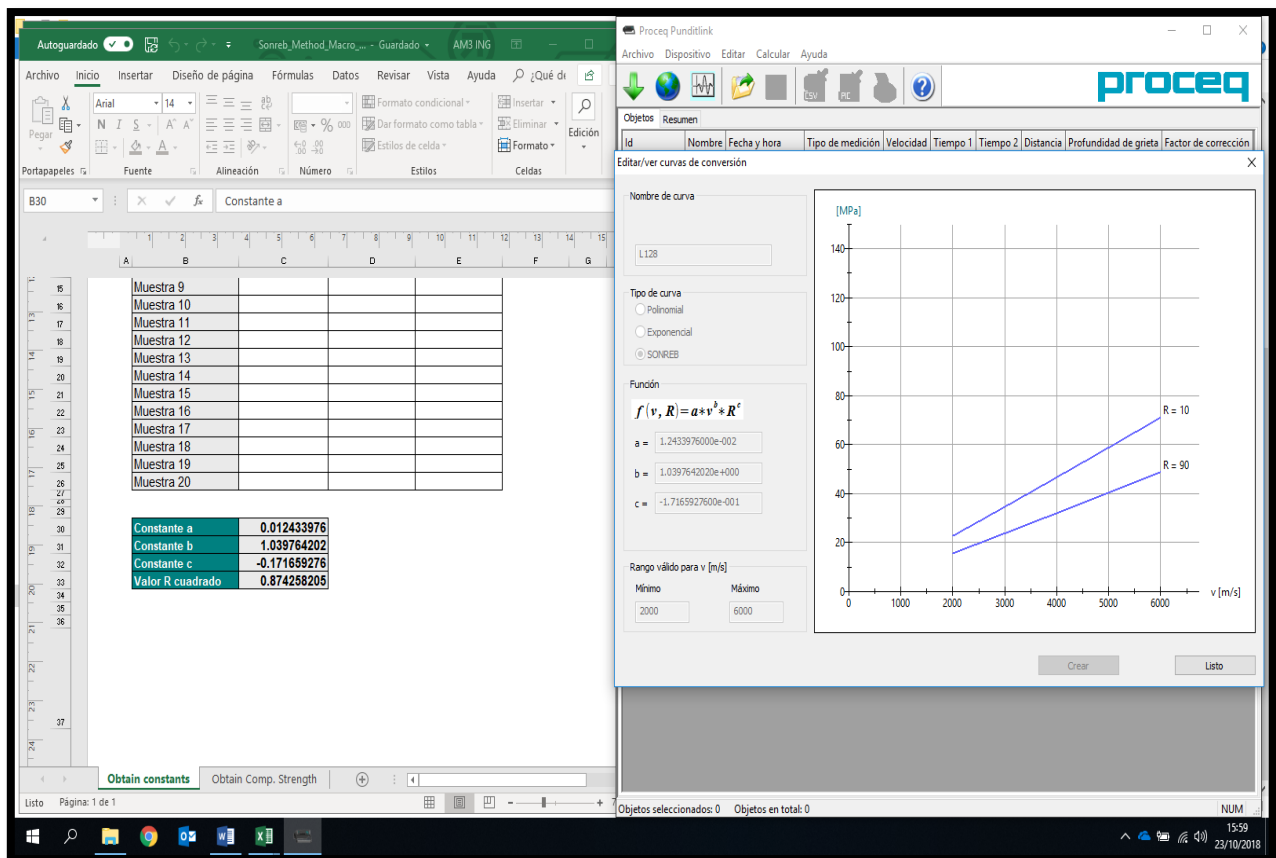
Figura 37: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso.



Fuente: Propia.

6.4.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso

Figura 38: Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de la losa del primer piso



Fuente: Propia.

6.4.8 Resistencia en compresión del concreto de la losa del primer piso

Figura 39: Resistencia en compresión del concreto del concreto de la losa del primer piso

The figure displays two side-by-side screenshots of Microsoft Excel spreadsheets. The left spreadsheet, titled 'TABLA 2: Resistencia a la compresión', contains a table with three columns: 'Resistencia a la compresión', 'Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)', and 'SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)'. The right spreadsheet, titled 'TABLE 3: Obtain Compressive Strength', contains a table with three columns: 'Data Point No.', 'Compressive Strength fck' (with a sub-header 'Mpa'), and 'Pundit Values Velocity V' (with a sub-header 'm/s'). Both tables list data for 10 data points.

TABLA 2: Resistencia a la compresión		
Resistencia a la compresión	Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)	SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)
37.83390062	4,150	42
39.08907688	4,299	43
38.54508838	4,225	42
38.55457429	4,226	42
38.91891623	4,281	43
39.42491836	4,351	44

TABLE 3: Obtain Compressive Strength		
Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	Mpa	m/s
1	37.9	4,150
2	39.0	4,299
3	38.4	4,225
4	38.4	4,226
5	38.9	4,281
6	39.4	4,351
7		
8		
9		
10		

Fuente: Propia.

6.5 Resultados de investigación de los testigos y en el concreto de la losa del segundo piso y vigas

6.5.1 Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Tabla 39: Registro de las medidas geométricas de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Losa 2do piso con Vigas a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Área
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas Cm	Promedio Cm	Calculado cm ²
1	15.15	15.17	30.45	30.45	180.7
	15.15		30.45		
	15.20		30.45		
2	15.20	15.18	30.40	30.43	181.0
	15.15		30.45		
	15.20		30.45		
3	15.20	15.17	30.40	30.38	180.7
	15.15		30.45		
	15.15		30.30		
4	15.20	15.18	30.40	30.43	181.0
	15.15		30.45		
	15.20		30.45		

Fuente: Propia.

6.5.2 Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Tabla 40: Registro de la velocidad del ultrasonido en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Registro de medidas geométricas de los testigos de concreto de Losa 2do Piso con Vigas a 28 días

Testigo	Altura		Medidor de Ultrasonido	
	Lecturas cm	Promedio cm	Tiempo μ s	Velocidad m/s
1	30.45 30.45 30.45	30.45	69.28	4395
2	30.40 30.45 30.45	30.43	71.57	4252
3	30.40 30.45 30.30	30.38	75.48	4025
4	30.40 30.45 30.45	30.43	72.71	4185

Fuente: Propia.

6.5.3 Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Tabla 41: Registro del valor de rebote de esclerometría en los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Registro de Valores de Rebote de Martillo Schmidt de los testigos de concreto de Losa 2do Piso con Vigas a 28 días

Testigo	Diámetro		Altura		Valor de Rebote Martillo Schmidt	
	Lecturas cm	Promedio cm	Lecturas Cm	Promedio cm	Lectura	Promedio
1	15.15	15.17	30.45	30.45	44	44
	15.15		30.45		45	
	15.20		30.45		44	
2	15.20	15.18	30.40	30.43	43	43
	15.15		30.45		44	
	15.20		30.45		43	
3	15.20	15.17	30.40	30.38	41	41
	15.15		30.45		41	
	15.15		30.30		42	
4	15.20	15.18	30.40	30.43	42	42
	15.15		30.45		42	
	15.20		30.45		43	

Fuente: Propia.

6.5.4 Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Tabla 42: Registro de la resistencia en compresión de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Registro de Resistencia en Compresión de los testigos de concreto de Losa 2do Piso con vigas a 28 días

Fecha de Vaciado		10/10/2016		Fecha de Rotura		7/11/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
1	15.15	15.17	181.7	746.607	41.09		
	15.15						
	15.20						
2	15.20	15.18	181.0	718.881	39.72		
	15.15						
	15.20						

Fecha de Vaciado		26/10/2016		Fecha de Rotura		23/11/2016	
Testigo	Diámetro		Área	Fuerza	f'c		
	Lecturas cm	Promedio cm	Calculado cm ²	Lectura KN	Calculado MPa		
3	15.20	15.17	180.7	676.932	37.46		
	15.15						
	15.15						
4	15.20	15.18	181.0	706.456	39.03		
	15.15						
	15.20						

Fuente: Propia.

6.5.5 Resumen de valores para generar la curva calibrada

Tabla 43: Resumen de valores para generar la curva calibrada

Resumen de Valores para Generar Curva Calibrada

Pertenece a Losa Segundo Piso con Vigas Ensayados a 28 días

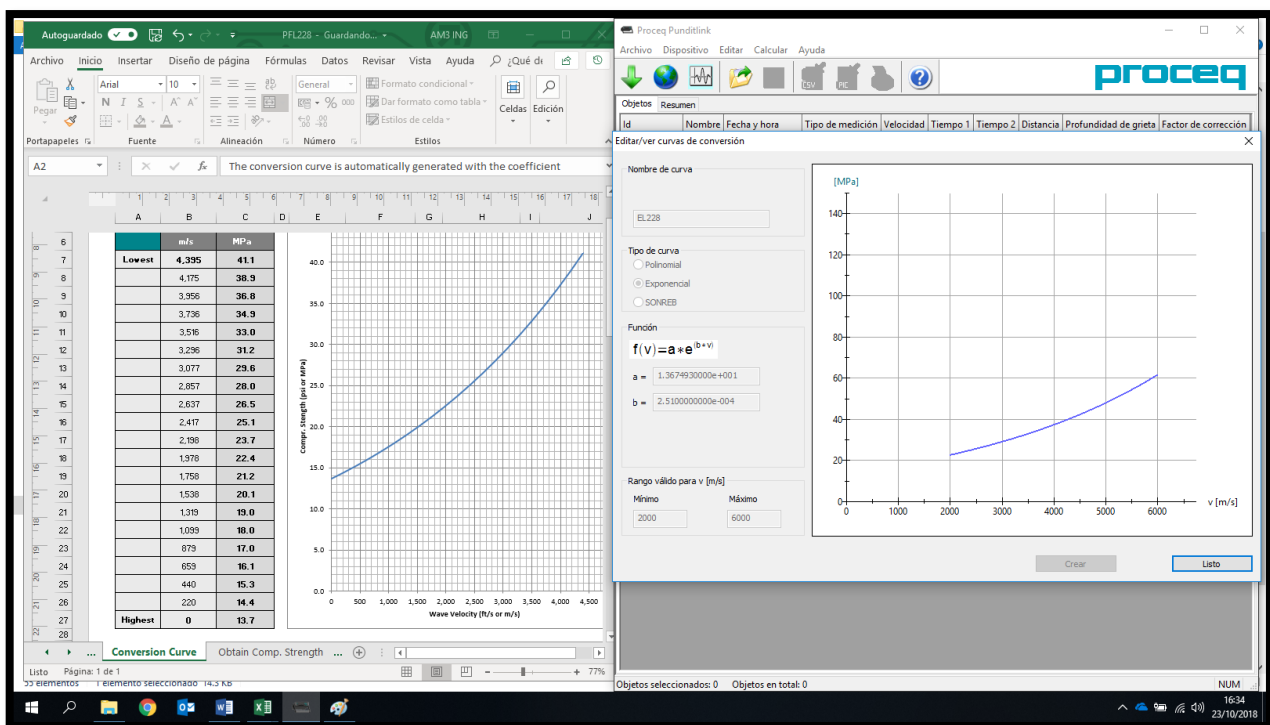
Testigo:

Testigo	Velocidad de Ultrasonido	Valor de Rebote Schmidt	Resistencia en Compresión
	m/s	s/d	MPa
1	4395	44	41.09
2	4252	43	39.72
3	4025	41	37.46
4	4185	42	39.03

Fuente: Propia.

6.5.6 Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

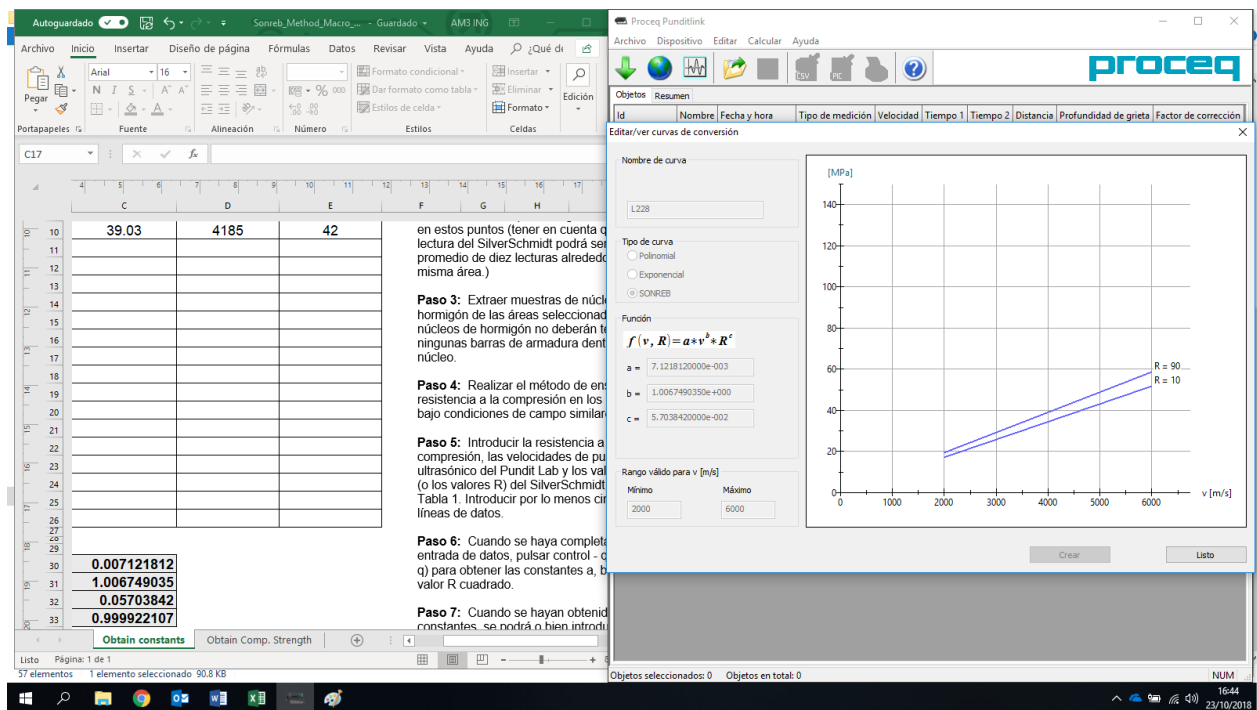
Figura 40: Curva calibrada con fórmula exponencial y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas



Fuente: Propia.

6.5.7 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

Figura 41 Curva calibrada con fórmula Sonreb y datos de los testigos del concreto de concreto de la losa del segundo piso y vigas

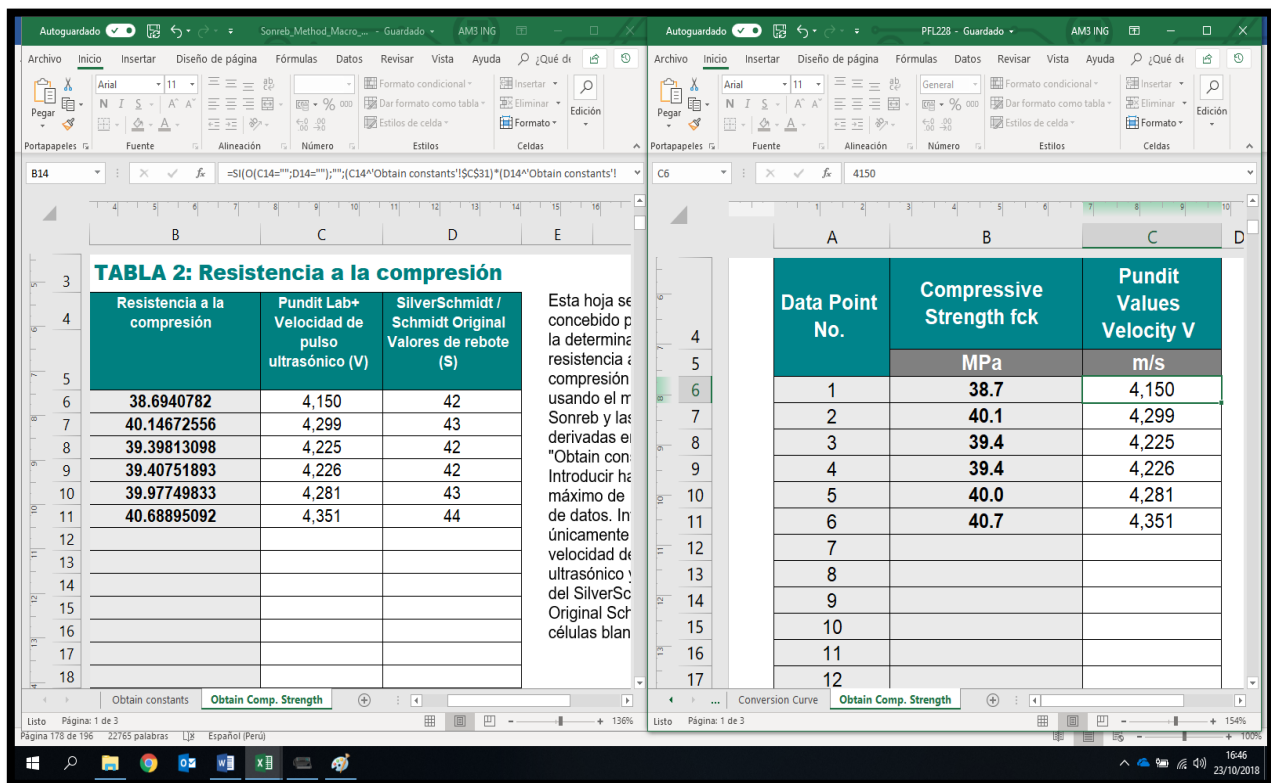


Fuente: Propia.

6.5.8 Resistencia en compresión del concreto de la losa del segundo piso

y vigas

Figura 42: Resistencia en compresión del concreto de la losa del segundo piso y vigas



Fuente: Propia.

Conclusiones

Las conclusiones corresponden al objetivo general y a los objetivos específicos planteados al comienzo de la presente tesis. Así tenemos:

Usando el equipo medidor de velocidad del ultrasonido, se determina directamente la resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto. Los valores determinados se pueden ver directamente en el equipo medidor y/o software del equipo medidor de velocidad del ultrasonido.

Figura 43: Equipo medidor de velocidad del ultrasonido



Fuente: Propia.

Figura 44: Resistencia a la compresión

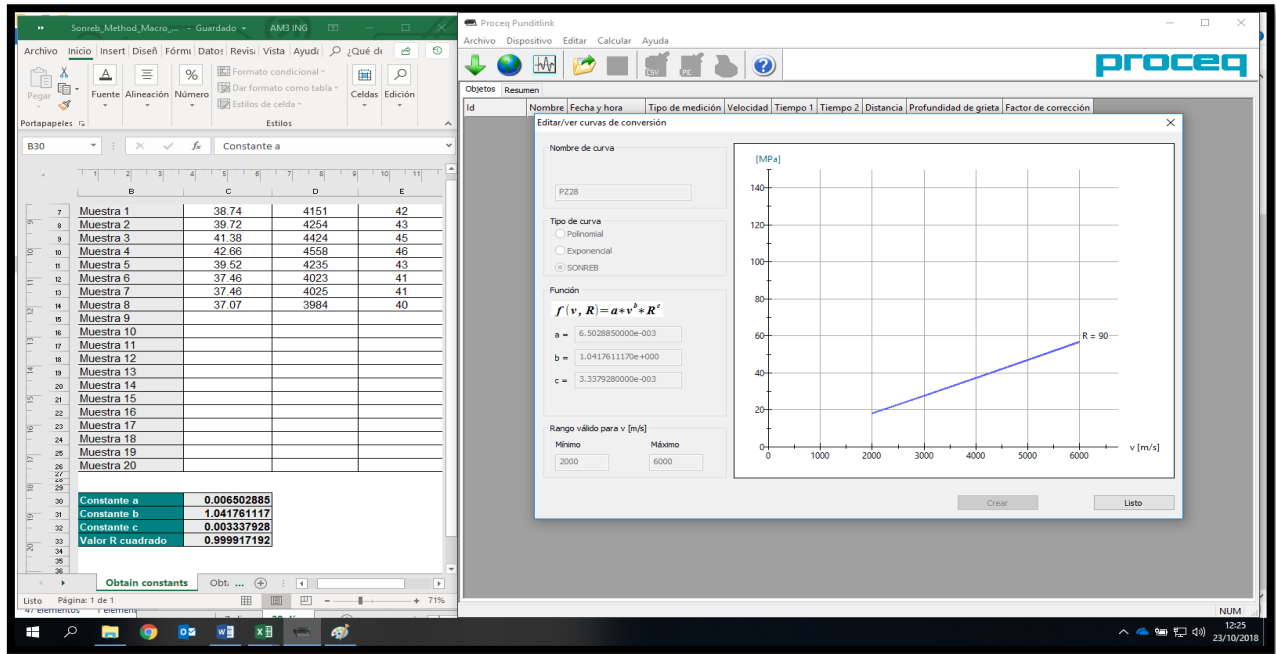
TABLA 2: Resistencia a la compresión			
	Resistencia a la compresión	Pundit Lab+ Velocidad de pulso ultrasónico (V)	SilverSchmidt / Schmidt Original Valores de rebote (S)
Punto de datos 1	38.69601111	4,150	42
Punto de datos 2	40.14758363	4,299	43
Punto de datos 3	39.42481458	4,225	42
Punto de datos 4	39.43453563	4,226	42
Punto de datos 5	39.97248023	4,281	43
Punto de datos 6	40.65672926	4,351	44
Punto de datos 7	39.38593133	4221	42
Punto de datos 8	40.93906756	4380	44
Punto de datos 9	38.15883471	4095	41
Punto de datos 10	39.41509362	4224	42
Punto de datos 11	40.55938942	4341	44
Punto de datos 12	39.27901035	4210	42
Punto de datos 13	40.2576955	4310	44
Punto de datos 14	39.71960739	4255	43
Punto de datos 15	36.96251638	3972	40
Punto de datos 16	38.38522177	4118	42
Punto de datos 17	38.7057249	4151	42
Punto de datos 18	39.7098828	4254	43
Punto de datos 19	41.37069508	4424	45
Punto de datos 20	42.68006504	4558	46
Punto de datos 21	39.52513371	4235	43
Punto de datos 22	37.46014964	4023	41

TABLE 3: Obtain Compressive Strength		
Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	MPa	m/s
1	38.7	4,150
2	40.1	4,299
3	39.4	4,225
4	39.4	4,226
5	39.9	4,281
6	40.6	4,351
7	39.3	4221
8	40.9	4380
9	38.1	4095
10	39.4	4224
11	40.5	4341
12	39.2	4210
13	40.2	4310
14	39.7	4255
15	37.0	3972
16	38.4	4118
17	38.7	4151
18	39.7	4254
19	41.4	4424
20	42.7	4558
21	39.5	4235
22	37.5	4023
23	37.5	4025
24	37.1	3984
25	38.8	4166

Fuente: Propia.

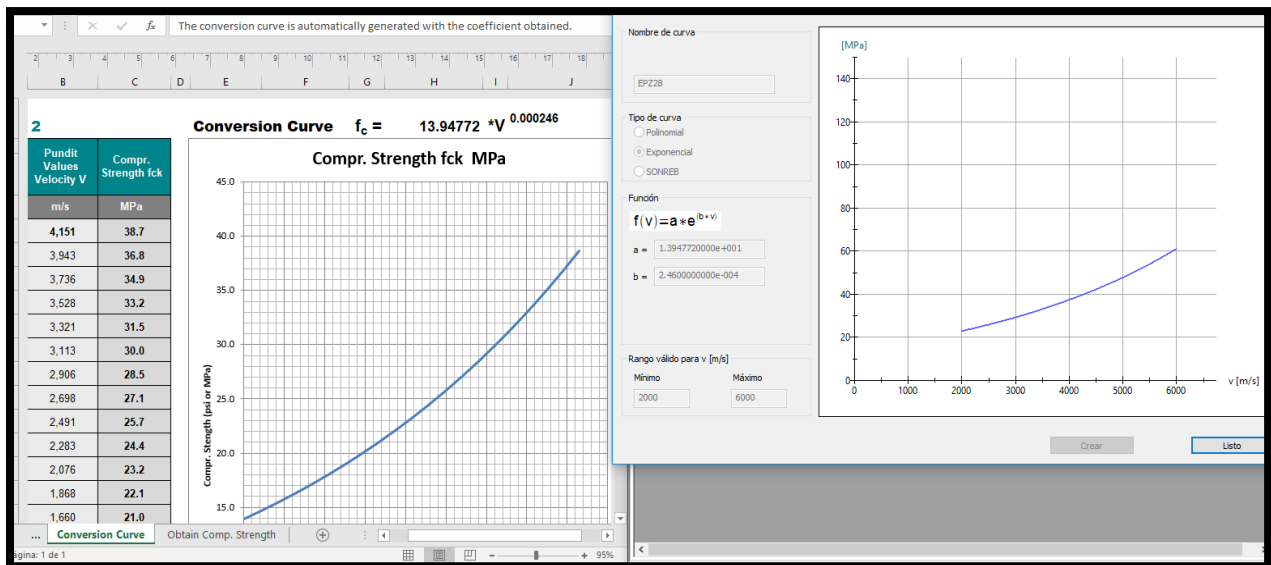
Se calibran curvas que sirven para determinar directamente la resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto. La calibración de las curvas, se ejecutan con datos de ensayos previos a testigos de concreto. Estos ensayos son: Velocidad de ultrasonido, Rebote con el Martillo Schmidt y Resistencia a la compresión.

Figura 45: Calibración de curvas – imagen 1



Fuente: Propia.

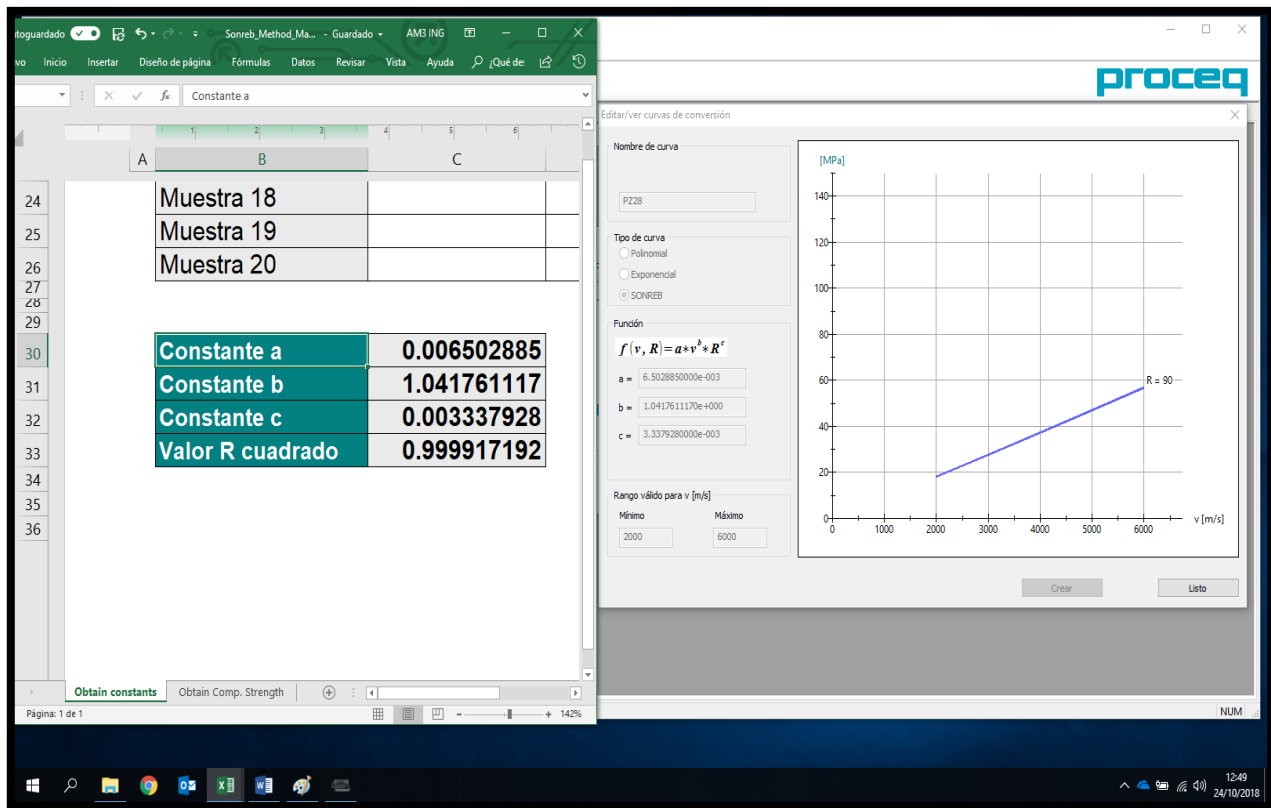
Figura 46: Calibración de curvas – imagen 2



Fuente: Propia.

Para garantizar la correcta calibración de las curvas, se analiza el factor de correlación que tiene el software el cual indica que siempre que el parámetro ERE al Cuadrado está muy cerca del valor de UNO, significa que la correlación se aproxima a lo deseado.

Figura 47: Calibración de curvas – imagen 3



Fuente: Propia.

Finalmente se concluye que el uso de esta tecnología, la investigación y la interpretación puede ayudar a:

El usuario consumidor, es el principal beneficiado porque sabrá que la infraestructura que ocupa o usa le garantiza seguridad y performance, ya que se puede evaluar el concreto de las estructuras de concreto in-situ, en tiempo real y las veces que crea conveniente.

Al productor de concreto, ofrecer al mercado concreto de calidad

A las constructoras, garantizar producción en la construcción de obras con concreto

A las consultoras, obtener parámetros que permitan mejorar los diseños de concreto

A las supervisoras, más controles sin tener que hacer inversiones adicionales

A los laboratorios, disminuir considerablemente los ensayos destructivos

Recomendaciones

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando el equipo medidor de velocidad de ultrasonido, se debe elegir la curva calibrada para cada tipo de concreto, almacenada en el equipo medidor de velocidad de ultrasonido

Se debe untar con gel acoplante las áreas de contacto del concreto de las estructuras de concreto y las áreas de contacto de los transductores, emisor y receptor de ultrasonido; para garantizar la correcta transmisión de ultrasonido desde el emisor al concreto y al receptor de ultrasonido.

Se debe garantizar la perpendicularidad entre el pistón del equipo medidor de uniformidad y el área de contacto del testigo de concreto.

Para la elaboración de la curva calibrada, los resultados registrados de los ensayos de ultrasonido, esclerometría y resistencia a la compresión deben ser analizados estadísticamente en función de los criterios de aceptación del concreto, para tener la mejor representación.

Se recomienda elaborar curvas para cada tipo de concreto con sus respectivas variaciones en función del tipo de cemento, tipo de agregado, calidad de agua, tipo de arena; para tener data a la mano y contribuir al desarrollo de la construcción con concreto

Bibliografia

ASTM C 10 (2014). *Standard Specification for Natural Cement*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 29 (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 31 (2014). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 33 (2014). *Standard Specification for Concrete Aggregates*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 39 (2012). *Standard Test Method for Compressive Strength for Cylindrical Concrete Specimens*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 42 (2012). *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams for Concrete*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 117 (2017). *Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 127 (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 131 (2014). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 136 (2014). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 142 (2017). *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*.

USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 143 (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*. USA:

American Section of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 231 (2017). *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the*

Pressure Method. USA: American Section of the International Association for Testing

Materials ASTM

ASTM C 535 (2016). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse*

Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA: American Section

of the International Association for Testing Materials ASTM

ASTM C 566 (2013). *Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate*

by Drying. USA: American Section of the International Association for Testing Materials

ASTM

ASTM C 597-02 (2009). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*. USA:
American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 684 (1999). *Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete
Compression Test Specimens*. USA: American Section of the International Association
for Testing Materials ASTM.

ASTM C 803 (2010). *Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete*.
USA: American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C 805 (2008). *Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*. USA:
American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

ASTM C1064 (2017). *Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement
Concrete*. USA: American Section of the International Association for Testing Materials
ASTM.

ASTM C 1289 (2018). *Standard Specification for Faced Rigid Cellular Polyisocyanurate Thermal
Insulation Board*. USA: American Section of the International Association for Testing
Materials ASTM.

ASTME 11 (2017). *Standard Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves*. USA:
American Section of the International Association for Testing Materials ASTM.

Es.wikipedia.org. (2018). *Ultrasonido*. [online] Recuperado de:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Ultrasonido>

NTP 334.002 (2013). *Determinación de la finura del cemento Portland expresada por la superficie específica (aparato de permeabilidad al aire)*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.009 (2018). *Tubos de hormigón (concreto) simple para alcantarillado, drenaje de aguas de lluvias y aguas residuales. Requisitos. 3ª Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.033 (2016). *Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo. 4ª Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.034 (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. 4ª Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.035 (2015). *Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. 4a. Edición.* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.037 (2016). *Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de concreto. 4ª Edición.* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.04 (2008). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.046 (2013). *Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.059 (2011). *Método de ensayo normalizado para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto.* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.065 (2017). *Tubos de concreto para la conducción de líquidos sin presión. Ensayo de resistencia al aplastamiento. Método de los tres filos. 2ª Edición.* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.083 (2003). *Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.181 (2001). *Método de ensayo para determinar el número de rebote del hormigón (concreto) endurecido (esclerometría)*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 339.216 (2016). *Práctica normalizada para la utilización de cabezales con almohadillas de neopreno en el ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto endurecido (EQV. ASTM C1231/C1231M:2014)*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.012 (2018) *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.013 (2018). *Método de ensayo normalizado para determinar el efecto de las impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia de morteros y hormigones. 3ª Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.015 (2018) *Método de ensayo normalizado para terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados. 3ª Edición* Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.017 (2016). *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados. 3a. Edición (Basada ASTM C 29/C29M-2009)*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.018 (2014). *Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.019 (2014). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.020 (2014). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaño grande por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.021 (2018). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3a Edición*. Lima, Perú: Indecopi.

NTP 400.022 (2018). *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3a Edición.* Lima, Perú: Indecopi.

Rivva, E. (2008). *Supervisión del Concreto en Obra.* Lima, Perú: Editorial del Instituto de Construcción y Gerencia ICG.

Anexos

Anexo 1:

Resultados de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, usando equipo medidor de velocidad del ultrasonido.

Resultados de Resistencia en Compresión de Cimientos y Zapatas.



Pundit Function to Estimate
Compressive Strength of Concrete
v 1.01

TABLE 3: Obtain Compressive Strength

Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	MPa	m/s
1	38.7	4,150
2	40.2	4,299
3	39.5	4,225
4	39.5	4,226
5	40.1	4,281
6	40.8	4,351
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		

This sheet is designed to assist you in determining the Compressive Strength of concrete.

In case you want to create and to see the shape of the conversion curve first continue with the sheet "Conversion Curve".

Input the Pundit Values (white cells) in your selected unit (m/s or ft/s). Up to 100 data points may be inserted.

NOTE : Input only values within the range of column B of Table 2 in the "Conversion Curve" sheet.

The derived Compressive Strength will be displayed automatically in the grey column in the selected unit (MPa or PSI).

Resultados de Resistencia en Compresión de Placas de Sótano



Pundit Function to Estimate
Compressive Strength of Concrete
v 1.01

TABLE 3: Obtain Compressive Strength

Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	MPa	m/s
1	38.7	4,150
2	40.1	4,299
3	39.4	4,225
4	39.4	4,226
5	39.9	4,281
6	40.6	4,351
7	39.3	4221
8	40.9	4380
9	38.1	4095
10	39.4	4224
11	40.5	4341
12	39.2	4210
13	40.2	4310
14	39.7	4255
15	37.0	3972
16	38.4	4118
17	38.7	4151
18	39.7	4254
19	41.4	4424
20	42.7	4558
21	39.5	4235
22	37.5	4023
23	37.5	4025
24	37.1	3984
25	38.8	4166
26	40.4	4324
27	40.0	4285
28	38.0	4083
29	38.3	4110
30	40.3	4322
31	40.0	4285
32	38.0	4083
33	41.1	4395

This sheet is designed to assist you in determining the Compressive Strength of concrete.

In case you want to create and to see the shape of the conversion curve first continue with the sheet "Conversion Curve".

Input the Pundit Values (white cells) in your selected unit (m/s or ft/s). Up to 100 data points may be inserted.

NOTE : Input only values within the range of column B of Table 2 in the "Conversion Curve" sheet.

The derived Compressive Strength will be displayed automatically in the grey column in the selected unit (MPa or PSI).

Resultados de Resistencia en Compresión de Columnas



Pundit Function to Estimate
Compressive Strength of Concrete
v 1.01

TABLE 3: Obtain Compressive Strength

Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	MPa	m/s
1	38.9	4,150
2	40.2	4,299
3	39.5	4,225
4	39.5	4,226
5	40.0	4,281
6	40.7	4,351
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		

This sheet is designed to assist you in determining the Compressive Strength of concrete.

In case you want to create and to see the shape of the conversion curve first continue with the sheet "Conversion Curve".

Input the Pundit Values (white cells) in your selected unit (m/s or ft/s). Up to 100 data points may be inserted.

NOTE : Input only values within the range of column B of Table 2 in the "Conversion Curve" sheet.

The derived Compressive Strength will be displayed automatically in the grey column in the selected unit (MPa or PSI).

Resultados de Resistencia en Compresión de Losa Primer Piso



Pundit Function to Estimate
Compressive Strength of Concrete
v 1.01

TABLE 3: Obtain Compressive Strength

Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	Mpa	m/s
1	37.9	4,150
2	39.0	4,299
3	38.4	4,225
4	38.4	4,226
5	38.9	4,281
6	39.4	4,351
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		

This sheet is designed to assist you in determining the Compressive Strength of concrete.

In case you want to create and to see the shape of the conversion curve first continue with the sheet "Conversion Curve".

Input the Pundit Values (white cells) in your selected unit (m/s or ft/s). Up to 100 data points may be inserted.

NOTE : Input only values within the range of column B of Table 2 in the "Conversion Curve" sheet.

The derived Compressive Strength will be displayed automatically in the grey column in the selected unit (MPa or PSI).

Resultados de Resistencia en Compresión de Losa Segunda Piso



Pundit Function to Estimate
Compressive Strength of Concrete
v 1.01

TABLE 3: Obtain Compressive Strength

Data Point No.	Compressive Strength fck	Pundit Values Velocity V
	MPa	m/s
1	38.7	4,150
2	40.1	4,299
3	39.4	4,225
4	39.4	4,226
5	40.0	4,281
6	40.7	4,351
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		

This sheet is designed to assist you in determining the Compressive Strength of concrete.

In case you want to create and to see the shape of the conversion curve first continue with the sheet "Conversion Curve".

Input the Pundit Values (white cells) in your selected unit (m/s or ft/s). Up to 100 data points may be inserted.

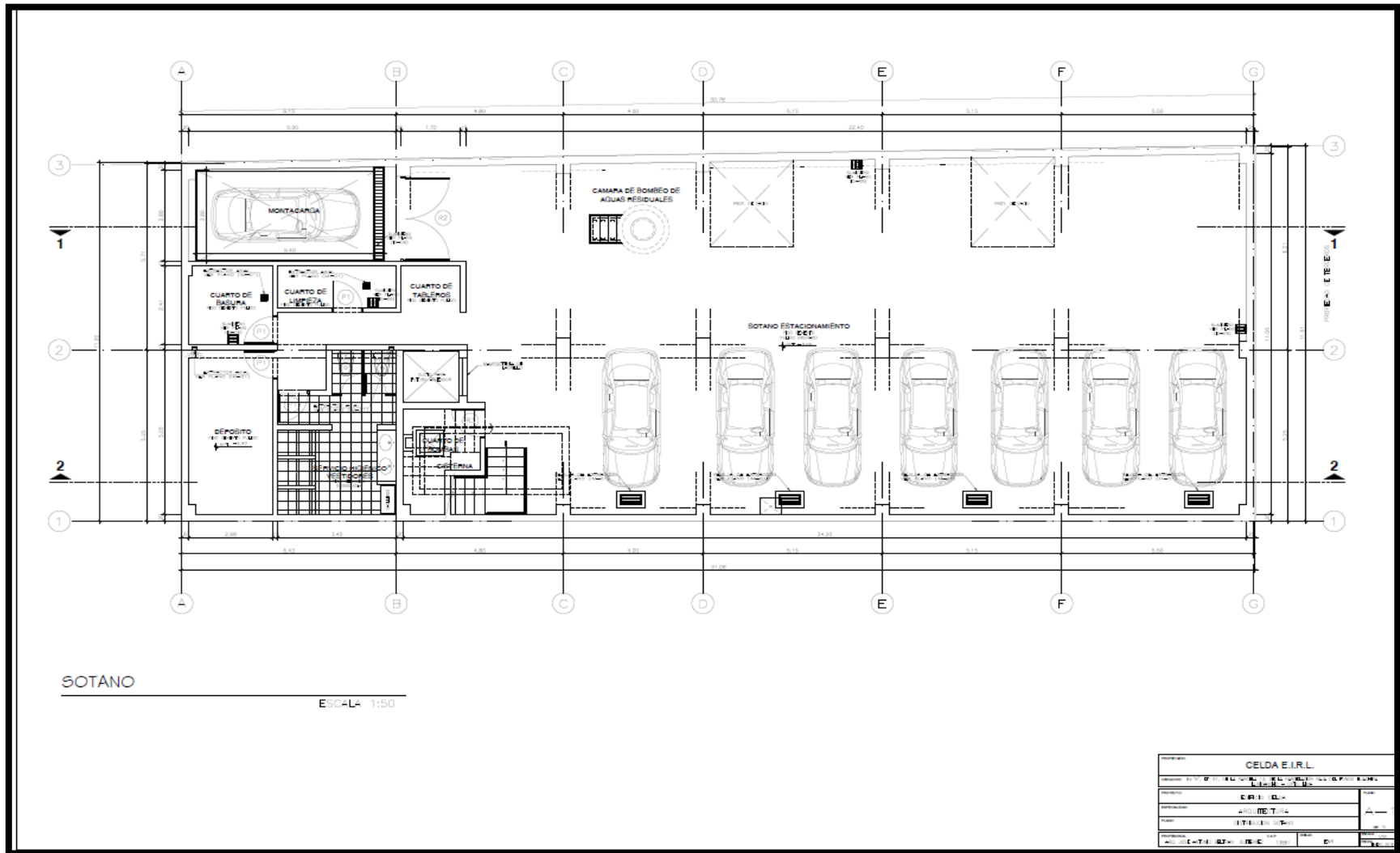
NOTE : Input only values within the range of column B of Table 2 in the "Conversion Curve" sheet.

The derived Compressive Strength will be displayed automatically in the grey column in the selected unit (MPa or PSI).

Anexo 2:

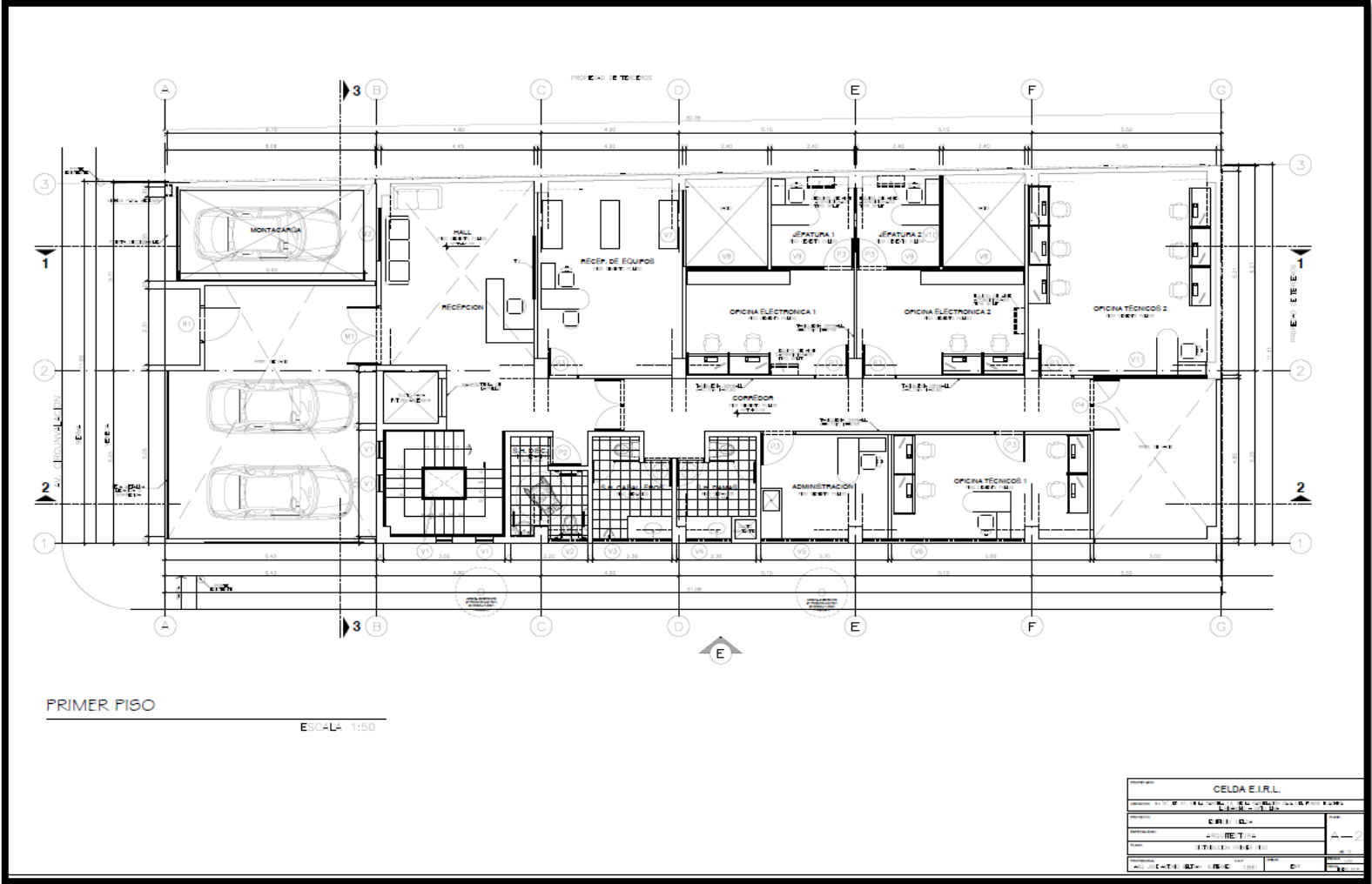
Planos de la Estructura que sirvió para hacer la investigación

Figura 48: Plano de Distribución sótano.



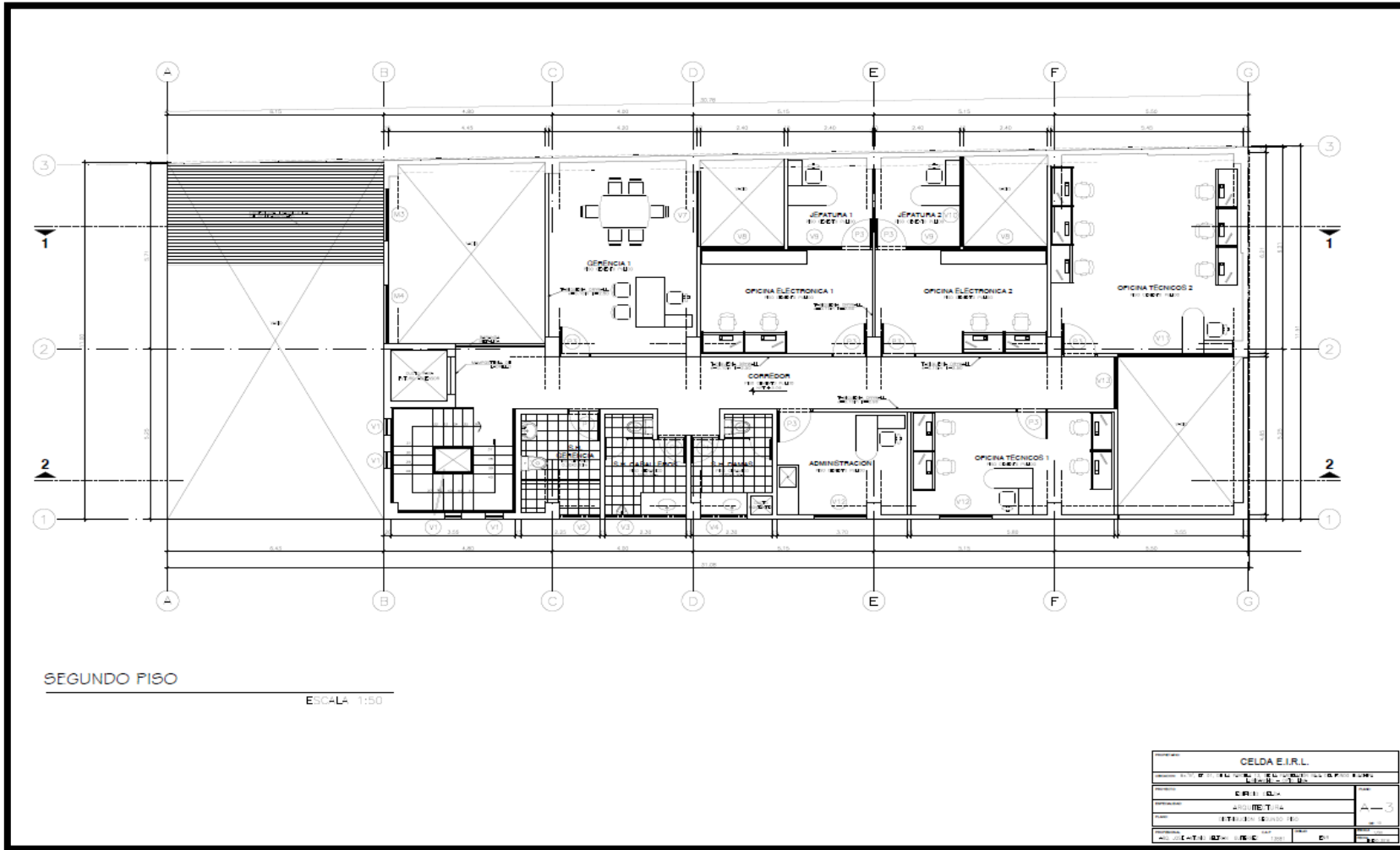
Fuente: Celda E.I.R.L.

Figura 49: Plano de Distribución Primer Piso.



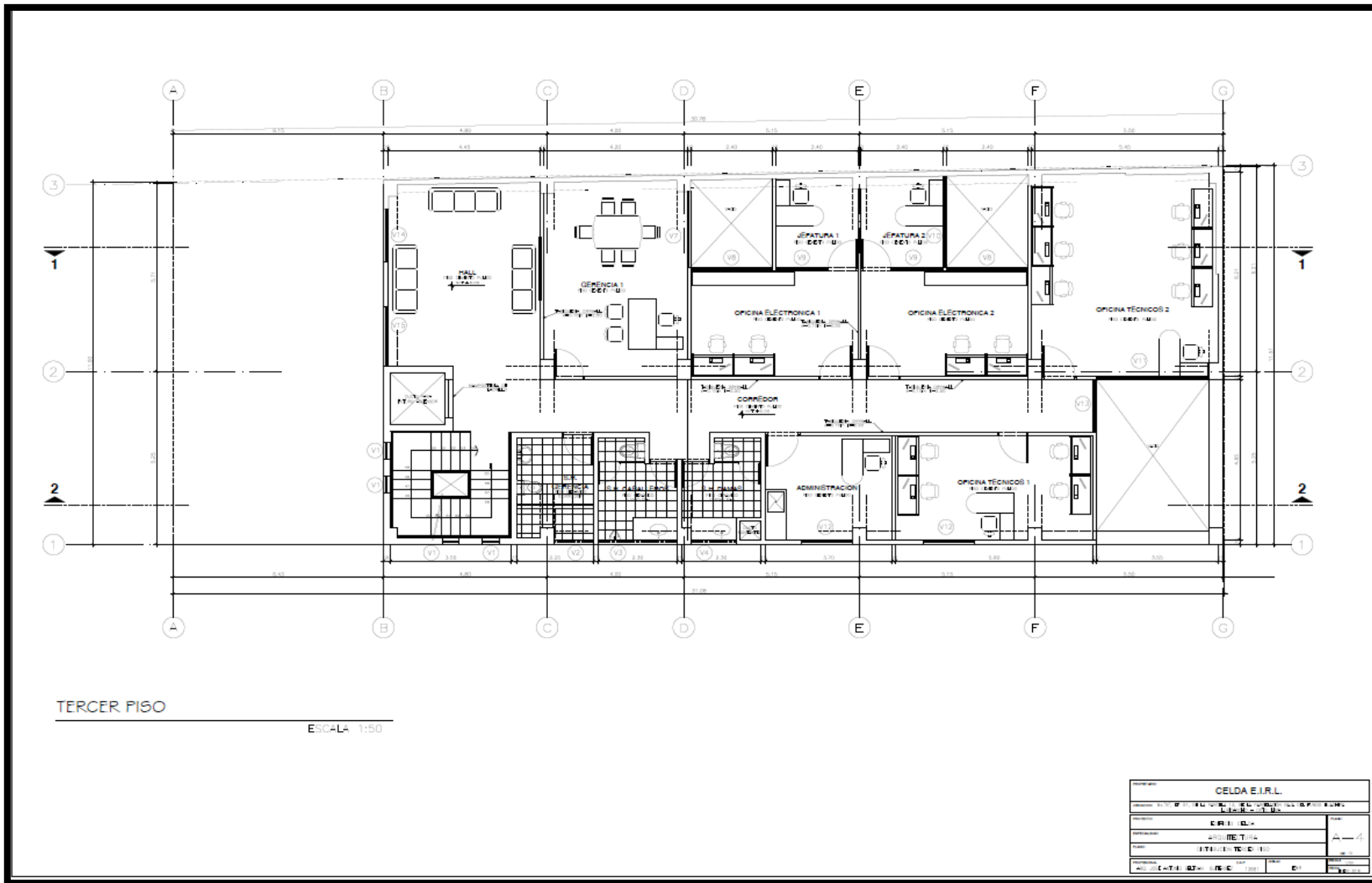
Fuente: Celda E.I.R.L.

Figura 50: Plano de Distribución Segundo Piso.



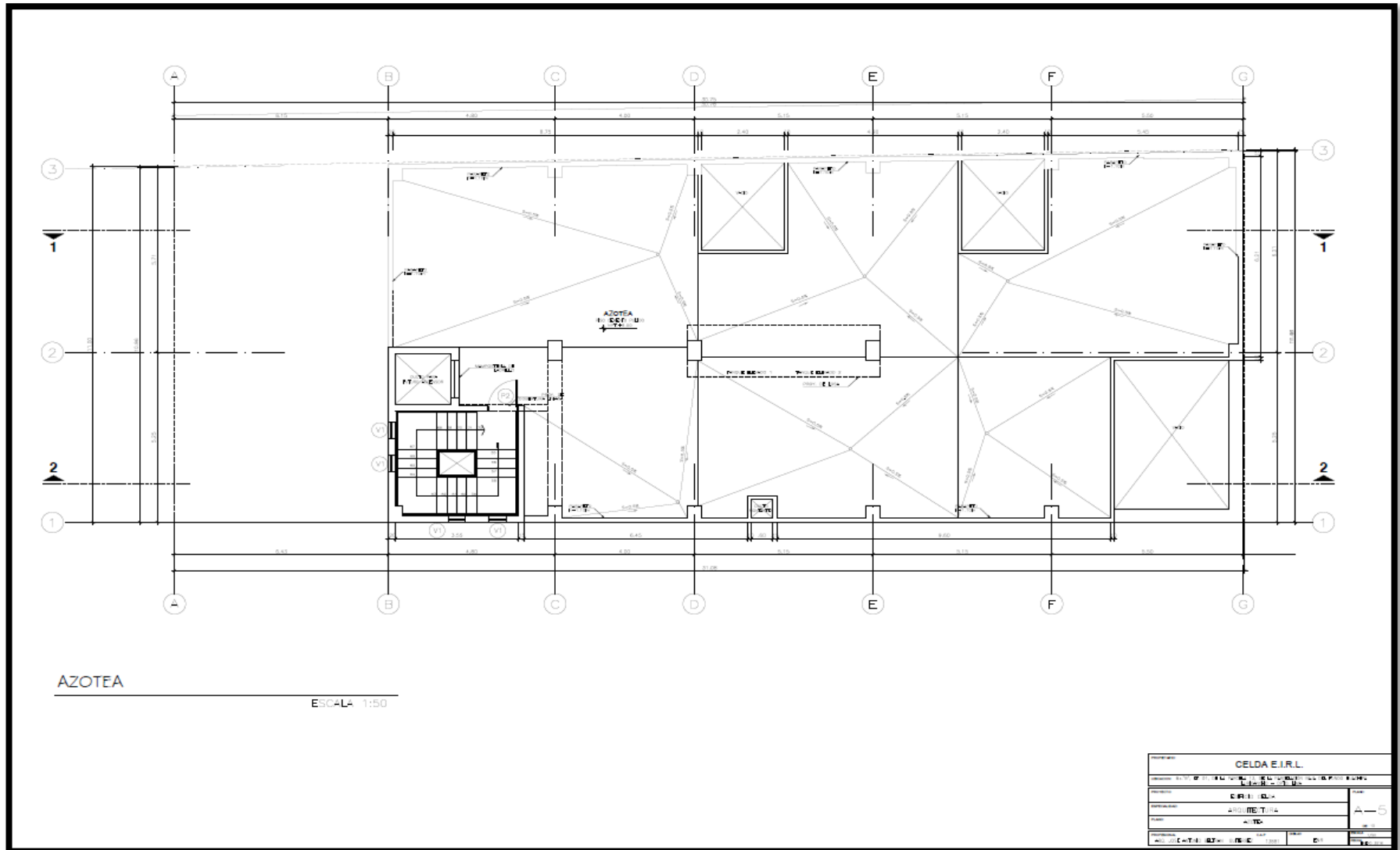
Fuente: Celda E.I.R.L.

Figura 51: Plano de Distribución Tercer Piso.



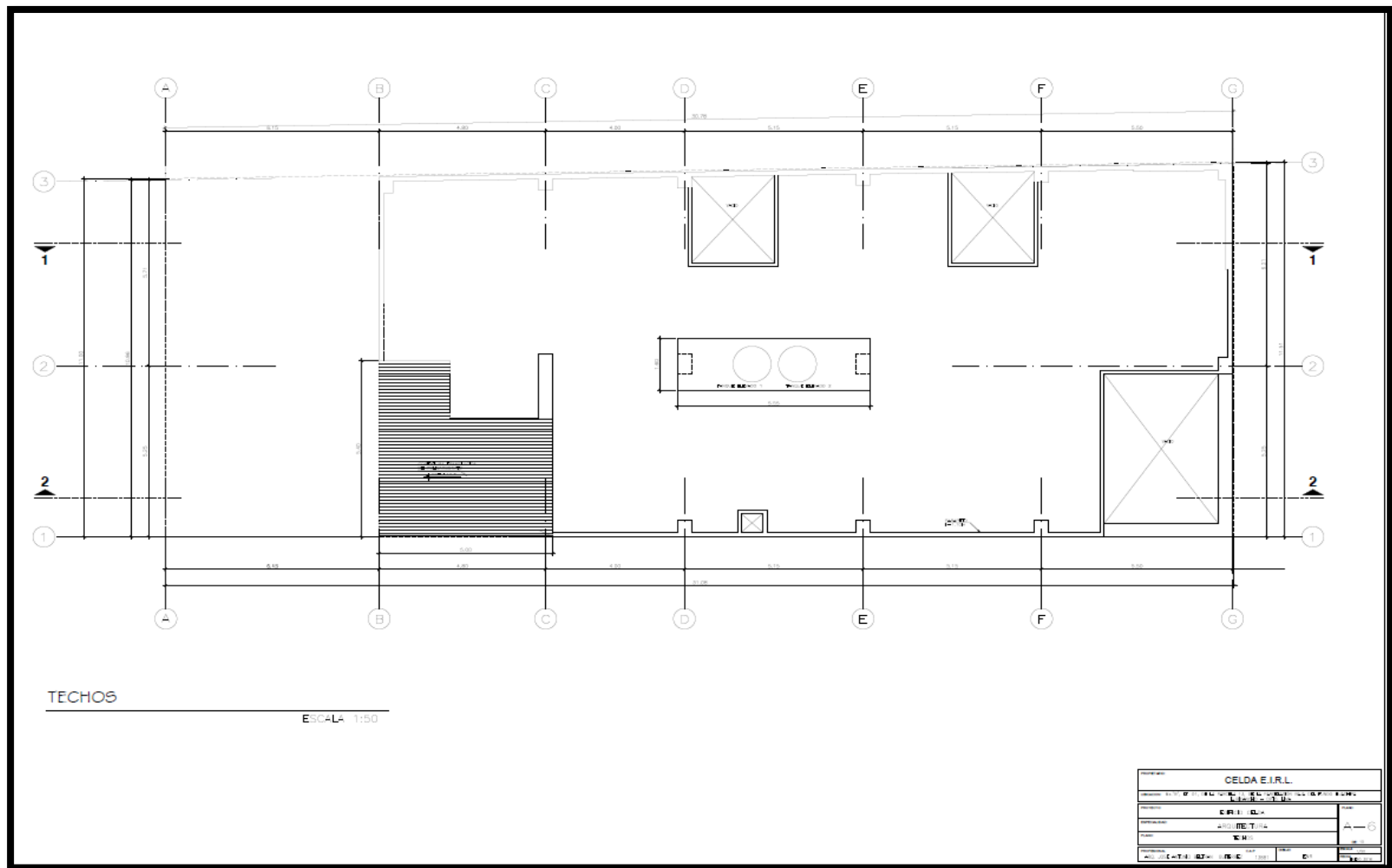
Fuente: Celda E.I.R.L.

Figura 52: Plano de Azotea.



Fuente: Celda E.I.R.L.

Figura 53: Plano de techos.



Fuente: Celda E.I.R.L.

Anexo 3:

Panel Fotográfico

Figura 54: Ensayo de velocidad del ultrasonido a los testigos de concreto.



Fuente: Propia.

Figura 55: Ensayo de esclerometría a los testigos de concreto.



Fuente: Propia.

Figura 56: Ensayo de resistencia en compresión de testigos de concreto



Fuente: Propia.

Figura 57 Ensayo de detección de barras de refuerzo del concreto de las estructuras en proceso de construcción



Fuente: Propia.

Figura 58: Ensayo de detección de barras de refuerzo del concreto de la estructura completamente acabada



Fuente: Propia.

Figura 59: Ensayo de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, del edificio en proceso de construcción



Fuente: Propia.

Figura 60: Ensayo de resistencia en compresión del concreto de las estructuras de concreto, del edificio terminado



Fuente: Propia.