

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **EVALUACIÓN DEL CONCRETO PROYECTADO VÍA HÚMEDA EMPLEADO EN LAS OBRAS DEL METRO DE CARACAS, CON ENSAYOS ULTRASÓNICOS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:  
Zurita Peña, Daniel Enrique

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2015

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **EVALUACIÓN DEL CONCRETO PROYECTADO VÍA HÚMEDA EMPLEADO EN LAS OBRAS DEL METRO DE CARACAS, CON ENSAYOS ULTRASÓNICOS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Cesar Peñuela

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Reinaldo Piñero

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela

Por el Br.:  
Zurita Peña, Daniel Enrique

Para optar al Título de  
Ingeniero Civil

Caracas, 2015

Dedicado a mi Señor y Salvador  
Jesucristo, y a mi preciosa madre Ruth  
Peña

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios, por su valiosa salvación, por permitirme cumplir esta meta y por su fidelidad eterna.

A mi mami por su amor incondicional, por ser valiente y por su apoyo en esta carrera que termina. A mi padre, por compartir sus experiencias y por sus consejos.

A mis hermanos Javier y Jasny, por sus ejemplos, el amor y apoyo brindado, por ser mis amigos en todo momento.

A mis hermanos en Cristo y a la Iglesia Bíblica Bautista de Maracay por sus oraciones y su colaboración.

A mi amigo y hermano abraham malave, por acompañarme en esta carrera, en la cual juntos logramos pasar cada obstáculo encontrado, apoyándonos en todo momento, sin olvidarme de Cathe, Maira, Deniss, Mariana, que con su amistad hicieron de esta carrera más alegre.

Al profesor Cesar Peñuela, por su tutela durante el desarrollo de esta investigación, y al señor Reinaldo Piñero, por su amistad, ya que sin su apoyo y colaboración la realización de este trabajo no hubiera podido ser posible.

Al Metro de Caracas, por permitirme realizar este trabajo de investigación, al personal en las distintas aéreas de trabajo por su gran apoyo prestado.

Por último, pero no menos importante, a la Universidad Central de Venezuela, por ser mi segunda casa, y a todos los profesores por transmitir sus conocimientos.

Zurita P. y Daniel Enrique

## **EVALUACIÓN DEL CONCRETO PROYECTADO VÍA HÚMEDA EMPLEADO EN LAS OBRAS DEL METRO DE CARACAS, CON ENSAYOS ULTRASÓNICOS**

**Tutor Académico: Prof. Cesar Peñuela.**

**Tutor Industrial: Ing. Reinaldo Piñero.**

**Trabajo Especial de Grado. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería.**

**Escuela de Ingeniería Civil. 2015, 135 pág.**

**Palabras Clave:** Concreto Proyectado, Metro de Caracas, Ensayo Ultrasonido, Control de Calidad, Ensayo no destructivo.

### **RESUMEN**

Actualmente el Laboratorio del METRO DE CARACAS lleva el control de calidad del concreto proyectado vía húmeda empleado en sus obras, con la ejecución de ensayos de resistencia a compresión en núcleos de moldes prismáticos proyectados con concreto en el foso o túnel; las edades de control son 7, 14 y 28 días, siendo este último exigido por norma. Dichos núcleos son extraídos de una vigueta vaciada en campo, haciendo uso de brocas adiamantadas.

Este método de control de calidad se ha venido realizando así desde hace seis (6) años, pero esto conlleva a un gran consumo de brocas adiamantadas para la extracción continua de los núcleos, siendo de un costo elevado tanto las brocas, como su uso para la extracción (Bs 25.000 por cada extracción, último precio consultado). De lo anterior se desprende la necesidad de innovar los procedimientos y técnicas que controlan la calidad de este tipo de concreto. Si una de las edades temprana (7 días), logra ser

caracterizada con un ensayo no destructivo, como el ensayo de ultrasonido, el consumo de brocas adiamantadas podría disminuirse hasta en un 20 %.

Por tal motivo el presente trabajo especial de grado consiste en la evaluación de la combinación de dos procesos, el primero el del método de ensayo de ultrasonido aplicado a las viguetas, y el segundo, el ensayo a compresión de los núcleos extraídos de la vigueta, de concreto proyectado empleados en las obras del METRO DE CARACAS. La muestra utilizada fueron 12 viguetas y con los datos recolectados de dichos ensayos, se realizaron las curvas de correlación, Velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a compresión, haciendo uso del Método matemático Mandel, para las 3 edades mencionadas, logrando así una alternativa practica para la evaluación de la calidad del concreto, con una herramienta menos costosa.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
I.1 El problema de la investigación. ....	2
I.2 Objetivos de la investigación. ....	4
I.2.1 Objetivo General. ....	4
I.2.2 Objetivos específicos.....	4
I.3 Justificación y Aportes de la Investigación. ....	4
CAPITULO II .....	6
MARCO TEORICO .....	6
II.1 El concreto.....	6
II.1.1 Cemento Hidráulico y Cemento Portland .....	7
II.2 Agregados .....	9
II.2.1 Clasificación de los agregados.....	10
II.2.2. Textura Superficial.....	11
II.2.3. Forma del Agregado.....	12
II.2.4. La Gravedad Específica .....	13
II.2.5. La segregación .....	13
II.3 Aditivos .....	13
II.4 El Agua y el Concreto .....	16
II.5 Relación Agua/Cemento.....	17
II.6 Diseño de mezclas .....	17
II.7 Concreto Proyectado .....	18
II.7.1. Ventajas del Concreto Proyectado .....	20
II.7.2. Métodos de Colocación de Concreto Proyectado .....	20
II.8 Control de Calidad .....	24
II.9 Túnel Minero.....	24

II.9.1	Proceso de excavación .....	25
II.9.2.	Proceso de colocación de la costilla.....	25
II.9.3.	Proceso de preparación y traslado.....	26
II.9.4.	Proyección del concreto .....	27
II.10	Edades de Ensayo y Crecimiento de la Resistencia.....	27
II.11	Determinación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico .....	29
II.12	Método para la Extracción y Ensayo de Núcleos (Core-Drills) .....	30
II.12.1	Equipos Utilizados .....	30
II.13	Teoría de Estadística.....	31
II.13.1	Media Aritmética.....	32
II.13.2	Desviación Estándar.....	32
II.13.3	Varianza .....	33
II.13.4	Decisiones Estadísticas.....	34
II.13.5	Errores de tipo I y Tipo II .....	34
II.13.6	Teoría Elemental del muestreo .....	34
II.13.7	Nivel de Significación .....	35
II.13.8	Criterio T.....	35
II.14	El Método Mandel (1984) .....	36
II.15	Contraste de hipótesis y significación.....	37
II.16	Bases Legales .....	37
CAPITULO III	.....	39
MARCO METODOLÓGICO	.....	39
III.1.	Tipo de investigación y Diseño de investigación.....	39
III.2.	Universo de Estudio.....	41
III.3.	La Muestra del Estudio .....	41
III.4.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	42
III.5.	Técnicas de Análisis de Datos.....	43
III.6.	Fases de la Investigación .....	44
III.6.1.	Fase 1: revisión bibliográfica .....	44
III.6.2.	Fase 2: toma de muestras de concreto proyectado.....	44



III.6.3. Fase 3: Ensayo de ultrasonido en las viguetas obtenidas.....	45
III.6.4. Fase 4: Extracción de núcleos de las viguetas.....	45
III.6.5. Fase 5: Ensayo de ultrasonido en los núcleos obtenidos.....	46
III.6.6. Fase 6: Ensayo de resistencia a compresión de los núcleos. ...	46
III.6.7. Fase 7: Corrección por esbeltez de los núcleos.....	46
III.6.8. Fase 8: Análisis estadístico de los valores atípicos de resistencia a compresión y pulso ultrasónico obtenidos.....	47
III.6.9. Fase 9: Elaboración de las curvas de correlación con el método Mandel.....	48
III.6.10 Fase 10: Comparación de las curvas obtenidas.....	52
III.6.11 Fase 11: Influencia de la extracción con el uso de broca, sobre la velocidad. ....	53
CAPITULO IV.....	54
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	54
IV .1 Fase 2: toma de muestras de concreto proyectado. ....	54
IV.2 Fase 3: Ensayo de ultrasonido en las viguetas obtenidas.....	55
IV.3 Fase 4: Extracción de núcleos de las viguetas.....	58
IV.4 Fase 5: Ensayo de ultrasonido en los núcleos obtenidos.....	60
IV.5 Fase 6: Ensayo de resistencia a compresión de los núcleos. ....	62
IV.6 Fase 7: Corrección por esbeltez de los núcleos.....	65
IV.7 Fase 8: Análisis estadístico de los valores atípicos de resistencia a compresión y pulso ultrasónico obtenidos. ....	66
IV.7.1 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico sobre las viguetas. ....	67
IV.7.2 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico sobre los núcleos. ....	70
IV.7.3 Análisis estadístico de los valores obtenidos de resistencia a compresión sobre los núcleos. ....	72
IV.8 Fase 9: Elaboración de las curvas de correlación con el método Mandel.....	74
IV.8.1 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 7 días.....	74

IV.8.2 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 14 días.....	81
IV.8.3 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 28 días.....	86
IV.9 Fase 10: Comparación de las curvas obtenidas. ....	91
IV.10 Fase 11: Influencia de la extracción con el uso de broca, sobre la velocidad. ....	92
CAPITULO V.....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
V.1. Conclusiones.....	111
V.2. Recomendaciones.....	113
REFERENCIAS .....	114
ANEXOS.....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2. 1 COMPONENTES MINERALÓGICOS DEL CEMENTO PORTLAND.....	9
TABLA 2. 2 TIPOS DE ADITIVOS QUÍMICOS PARA CONCRETOS.....	15
TABLA 2. 3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DOS DIFERENTES PROCESOS.....	22
TABLA 3. 1 DISEÑO DE MEZCLA .....	42
TABLA 4. 1 IDENTIFICACIÓN DE LAS VIGUETAS.....	54
TABLA 4. 2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 7 DÍAS (VIGUETAS 2, 3, 4,5, Y 6).....	55
TABLA 4. 3 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 7 DÍAS (VIGUETAS 7, 8,11 Y 12).....	56
TABLA 4. 4 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 14 DÍAS (VIGUETAS 2, 3, 4,5 Y 6) .....	56
TABLA 4. 5 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 14 DÍAS (VIGUETAS 7, 8, 9,10 Y 11) .....	57
TABLA 4. 6 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 28 DÍAS (VIGUETAS 1, 2, 3,4 Y 5) .....	57
TABLA 4. 7 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO PARA 28 DÍAS (VIGUETAS 6, 7, 8,9 Y 10) .....	58
TABLA 4. 8 ALTURA DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1,2 Y 3.....	59
TABLA 4. 9 ALTURA DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 4,5 Y 6.....	59
TABLA 4. 10 ALTURA DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 7,8 Y 9.....	60
TABLA 4. 11 ALTURA DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 10,11 Y 12.....	60

TABLA 4. 12 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1,2 Y 3. ....	61
TABLA 4. 13 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 4,5 Y 6. ....	61
TABLA 4. 14 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 7,8 Y 9. ....	62
TABLA 4. 15 RESULTADOS DEL ENSAYO DE ULTRASONIDO DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 10,11 Y 12. ....	62
TABLA 4. 16 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1,2 Y 3. ....	63
TABLA 4. 17 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 4,5 Y 6. ....	63
TABLA 4. 18 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 7,8 Y 9. ....	64
TABLA 4. 19 RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 10,11 Y 12. ....	64
TABLA 4. 20 FACTOR DE CORRECCIÓN SEGÚN H/D. ....	65
TABLA 4. 21 RESISTENCIAS CORREGIDAS. ....	66
TABLA 4. 22 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS DE PULSO ULTRASÓNICO OBTENIDOS SOBRE LAS VIGUETAS 1, 2, 3, 4,5 Y 6. ....	67
TABLA 4. 23 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS DE PULSO ULTRASÓNICO OBTENIDOS SOBRE LAS VIGUETAS 7, 8, 9, 10,11 Y 12. ....	68
TABLA 4. 24 . ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES ATÍPICOS DE PULSO ULTRASÓNICO. ....	69

TABLA 4. 25 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE PULSO ULTRASÓNICO OBTENIDOS SOBRE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1, 2, 3, 4,5 Y 6. ....	70
TABLA 4. 26 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE PULSO ULTRASÓNICO OBTENIDOS SOBRE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 7,8,9,10,11 Y 12. ....	71
TABLA 4. 27 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1, 2, 3, 4,5 Y 6. ....	72
TABLA 4. 28 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES OBTENIDOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 7,8,9,10,11 Y 12. ....	73
TABLA 4. 29 MÉTODO MANDEL PARA 7 DÍAS DE LAS VIGUETAS 2 Y 3.74	
TABLA 4. 30 MÉTODO MANDEL PARA 7 DÍAS DE LAS VIGUETAS 5, 6,7 Y 8. ....	75
TABLA 4. 31 MÉTODO MANDEL PARA 7 DÍAS DE LAS VIGUETAS 11 Y 12 .....	76
TABLA 4. 32 MÉTODO MANDEL PARA 7 DÍAS PARA LOS NÚCLEOS.....	77
TABLA 4. 33 RESUMEN DE RESULTADOS.....	79
TABLA 4. 34 MÉTODO MANDEL PARA 14 DÍAS DE LAS VIGUETAS 2,3 Y 4. ....	81
TABLA 4. 35 MÉTODO MANDEL PARA 14 DÍAS DE LAS VIGUETAS 5, 6,7 Y 8.....	82
TABLA 4. 36 MÉTODO MANDEL PARA 14 DÍAS DE LAS VIGUETAS 9,10 Y 11. ....	83
TABLA 4. 37 MÉTODO MANDEL PARA 14 DÍAS PARA LOS NÚCLEOS...	84
TABLA 4. 38 RESUMEN DE RESULTADOS.....	85
TABLA 4. 39 MÉTODO MANDEL PARA 28 DÍAS DE LA VIGUETA 1. ....	86
TABLA 4. 40 MÉTODO MANDEL PARA 28 DÍAS DE LAS VIGUETAS 2, 3, 4, 5,6 Y 7.....	87

TABLA 4. 41 MÉTODO MANDEL PARA 28 DÍAS DE LAS VIGUETAS 8,9 Y 10.....	88
TABLA 4. 42 MÉTODO MANDEL PARA 28 DÍAS PARA LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 1,2 Y 3.....	88
TABLA 4. 43 MÉTODO MANDEL PARA 28 DÍAS PARA LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS DE LAS VIGUETAS 4,5,6,7,8,9 Y 10.....	89
TABLA 4. 44 RESUMEN DE RESULTADOS.....	90
TABLA 4. 45 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V1 - 28.....	93
TABLA 4. 46 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V2 - 7.....	93
TABLA 4. 47 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V2 - 14.....	94
TABLA 4. 48 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V2 -28.....	94
TABLA 4. 49 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V3 - 7.....	95
TABLA 4. 50 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V3 - 14.....	95
TABLA 4. 51 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V3 - 28.....	96
TABLA 4. 52 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V4 - 7.....	<b>¡ERROR!</b>
<b>MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	
TABLA 4. 53 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V4 - 14.....	96
TABLA 4. 54 V TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V4 - 28.....	97
TABLA 4. 55 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V5 - 7.....	97
TABLA 4. 56 TABLA RESUMEN – PRUEBA T V5 - 14.....	98
TABLA 4. 57 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V5 - 28.....	98
TABLA 4. 58 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V6 - 7.....	99
TABLA 4. 59 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V6 - 14.....	99
TABLA 4. 60 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V6 - 28.....	100
TABLA 4. 61 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V7 - 7.....	100
TABLA 4. 62 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V7 - 14.....	101
TABLA 4. 63 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V7 – 28.....	101
TABLA 4. 64 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V8 – 7.....	102
TABLA 4. 65 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V8 – 14.....	102
TABLA 4. 66 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V8 – 28.....	103

TABLA 4. 67 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V9 – 14 .....	103
TABLA 4. 68 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V9 - 14 .....	104
TABLA 4. 69 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V9 – 28 .....	104
TABLA 4. 70 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V10 – 14 .....	105
TABLA 4. 71 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V10 – 28 A.....	105
TABLA 4. 72 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V10 – 28 B.....	106
TABLA 4. 73 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V11 – 7 A.....	106
TABLA 4. 74 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V11 – 7 B.....	107
TABLA 4. 75 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V11 – 14 .....	107
TABLA 4. 76 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – V12 – 7 A.....	108
TABLA 4. 77 TABLA RESUMEN – PRUEBA T –V12 – 7 A.....	108
TABLA 4. 78 TABLA RESUMEN – PRUEBA T – RESISTENCIAS 14 Y 28 DÍAS.....	109

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1 CURVA DE CORRELACIÓN PARA 7 DÍAS.....	80
GRÁFICO N° 2 CURVA DE CORRELACIÓN PARA 14 DÍAS.....	86
GRÁFICO N° 3 CURVA DE CORRELACIÓN PARA 28 DÍAS.....	91
GRÁFICO N° 4 CURVA DE COMPARACIÓN 7, 14 Y 28 DÍAS .....	92



## INTRODUCCIÓN

Durante años el control de calidad en el mundo de la construcción, ha sido parte esencial en el desarrollo de cualquier tipo de obra. Para el METRO DE CARACAS C.A. este control es bastante estricto, teniendo altos estándares de calidad en sus proyectos, los cuales se encarga de brindar un mejor servicio a medida que pasa el tiempo.

En Venezuela, específicamente en Caracas, la necesidad de nuevas alternativas de transporte, trae como resultado el emprendimiento de nuevos proyectos, que cubran esta necesidad notoria en la capital. El concreto, es uno de los materiales más usados en las obras de cualquier tipo de estructura y en las obras del metro no es la excepción, siendo el concreto proyectado necesario para la construcción de túneles. Por lo tanto su calidad debe estar abalada por ensayos que brinden confiabilidad en sus resultados.

Para la evaluación de la calidad del concreto proyectado, es necesaria una muestra (vigüeta), a la cual se extraen núcleos (core drill). Para realizar esta extracción, se hace uso de una perforadora tubular, y este proceso se torna tedioso y costoso.

Por lo dicho anteriormente, esta investigación plantea un cambio en el control de calidad del concreto proyectado vía húmeda, en las obras del metro de caracas, a una edad temprana, haciendo uso de un ensayo no destructivo, como lo es el ensayo de pulso de ultrasonido.

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### I.1 El problema de la investigación.

En los últimos años el desarrollo tecnológico ha cambiado de manera radical el modo de realizar las tareas del día a día, afectando a la sociedad de manera directa e indirecta. Este desarrollo altera al mundo de la construcción, induciendo así a un cambio económico, con la invención de nuevas herramientas basadas en software, descubrimientos de nuevos materiales, técnicas renovadas, que hacen que el proceso constructivo sea de manera más eficiente y eficaz.

La búsqueda de nuevos materiales o mezclas de materiales ya existentes, para desarrollar proyectos de obras civiles, no escapa a la influencia de este desarrollo, siendo esto vital para que existan mejoras dentro de este renglón. A pesar de que en la actualidad existen gran cantidad de estructuras diseñadas con acero y otros materiales, el concreto sigue siendo la primera opción en la mayoría de los casos.

En Venezuela la gran demanda de este valioso material ha venido en incremento en los últimos años. El concreto es utilizado, desde viviendas no convencionales, edificios, centros comerciales hasta presas de gran envergadura, entre muchas otras estructuras. Una de las alternativas de uso del concreto, utilizada principalmente en la ciudad de Caracas, es el empleo de concreto proyectado en los túneles del metro.

Actualmente el Laboratorio del METRO DE CARACAS lleva el control de calidad del concreto proyectado vía húmeda, empleado en sus obras, con la ejecución de ensayos de resistencia a compresión en núcleos de moldes

prismáticos proyectados con concreto en el foso o túnel; las edades de control son 7, 14 y 28 días, siendo este último exigido por norma. Dichos núcleos son extraídos de una vigueta vaciada en campo, haciendo uso de brocas adiamantadas.

Este método de control de calidad se ha venido realizando así desde hace seis (6) años, pero esto conlleva a un gran consumo de brocas adiamantadas para la extracción continua de los núcleos, siendo de un costo elevado tanto las brocas, como su uso para la extracción (Bs 25.000 por cada extracción último precio conocido). De lo anterior se desprende la necesidad de innovar los procedimientos y técnicas que controlan la calidad de este tipo de concreto. Una alternativa la representa la aplicación de un tipo de ensayo distinto que minimiza tanto el tiempo como el costo de dicho procedimiento.

Si una de las edades temprana (7 días), lograra ser caracterizada con un ensayo no destructivo, como el ensayo de ultrasonido, el consumo de brocas adiamantadas podría disminuirse hasta en un 20 %, además obteniendo como material de apoyo las características del concreto a los 14 y 28 días, se podría estimar la resistencia del elemento por medio de esta herramienta.

En consecuencia el propósito del presente trabajo especial de grado consiste en la evaluación de la combinación de dos procesos, el primero el del método de ensayo de ultrasonido aplicado a las viguetas, y el segundo, el ensayo a compresión de los núcleos extraídos de la vigueta, de concreto proyectado empleados en las obras del METRO DE CARACAS.

## **I.2 Objetivos de la investigación.**

### **I.2.1 Objetivo General.**

- Evaluar la resistencia a compresión del concreto proyectado vía húmeda, empleando el ensayo de ultrasonido y el ensayo a compresión.

### **I.2.2 Objetivos específicos.**

- Caracterizar a través del ensayo de ultrasonido las mezclas de concreto proyectado vía húmeda.
- Determinar la gráfica de correlación de resistencia versus velocidad de pulso ultrasónico para los siete días.
- Determinar la gráfica de correlación de resistencia versus velocidad de pulso ultrasónico para los catorce (14) y veintiocho (28) días, con fines de proyección.
- Comparar los resultados obtenidos.

## **I.3 Justificación y Aportes de la Investigación.**

La necesidad de proponer este estudio puede contribuir a que se cumplan los estrictos controles de calidad del concreto proyectado vía húmeda para la construcción de los túneles del METRO DE CARACAS, de manera más económica, sin desmejorar la validez de este requisito.

El METRO DE CARACAS se ha caracterizado por cumplir con un estricto control de calidad, tomando como prioridad métodos que arrojan resultados confiables. En este proceso de control de calidad, tanto el uso de brocas adiamantadas utilizadas para la extracción de núcleos (método utilizado actualmente), y la acción misma de la extracción, para su posterior ensayo a compresión, para estimar la resistencia del concreto proyectado, ha generado grandes gastos a la empresa.

El presente proyecto propone brindar la información necesaria para el control de calidad, sustituyendo la extracción de núcleos, por medio de un ensayo no destructivo, como lo es el de ensayo ultrasónico, para la edad de siete (7) días, reduciendo considerablemente los precios de operación, dotando a la empresa de datos valiosos, debido a que se obtendrá información técnica y precisa, de como el método de ultrasonido puede sustituir de manera parcial el proceso de control de calidad.

Esta técnica podrá ser de gran utilidad no solo en el área económica, sino también podrá reducir los tiempos de operación, ya que se evitaría la extracción de núcleos para la edad de siete (7) días y su posterior ensayo a compresión, generando así un sistema más eficiente. Además durante la etapa de ensayos a las muestras, también se estudio el comportamiento del concreto proyectado para los catorce (14) y veintiocho (28) días, para poder estimar la resistencia a estas edades, en el caso de que no se cuente con las herramientas necesarias para su ensayo por la vía tradicional.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **II.1 El concreto**

El concreto u hormigón es un material que se obtiene al mezclar cuidadosamente y de manera proporcionada, cemento, arena y grava u otros áridos y agua, logrando así un material de aspecto de piedra (Winter & Nilson, 1985).

Se puede pensar que el concreto pudo tener sus orígenes en el Imperio Romano, con productos parecidos al concreto, utilizando un aglomerante que llamaban “cementum”, aunque también se piensa que sus inicios pueden estar vinculados con Egipto.

Porrero (2004), en su manual del concreto estructural, hace referencia a la constate evolución y avance del concreto, logrando así avances tecnológicos importantes, dando diversas variantes a su composición y modo de empleo. Esto ha traído como consecuencia a que en el mundo de la construcción el concreto sea el material más usado. Se estima que cada año se produce un tercio de tonelada de concreto por cada ser humano en el planeta, unos 2.000 millones de toneladas de concreto en el año 2002.

Quiroz y Salamanca (2006), concuerdan con Porrero, en que el concreto tuvo sus inicios en el siglo XVIII en el Imperio Romano, en esta época se empleaba el concreto puzolánico, que se obtiene de la mezcla de cal y materiales volcánicos, sin embargo este no posee la cualidad de fraguar bajo el agua cuando se hidrata, dándosele el termino de “no hidráulica”. Aquí radican las diferencias fundamentales entre los concretos primitivos y los actuales.

### **II.1.1 Cemento Hidráulico y Cemento Portland**

El cemento es un material aglomerante que tiene la propiedad de adherencia y cohesión necesaria para que ocurra la unión de áridos inertes entre sí dando como resultado una masa solida de resistencia y durabilidad adecuadas. En este tipo de material se pueden incluir, además de los cementos, a las cales, los asfaltos y alquitranes utilizados en la construcción de carreteras. Con lo comentado anterior mente es importante hacer énfasis en que el cemento utilizado para fabricar concreto para estructuras es el llamado “cemento hidráulico” (Winter & Nilson, 1985).

El cemento Hidráulico fragua y endurece por la interacción química con el agua, tanto al aire como bajo agua, siendo consecuencia de las reacciones de hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables.

El cemento Portland es un tipo de cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker Portland, usualmente en combinación con sulfato de calcio. Este cemento fue patentado en Inglaterra en 1824 y es el empleado hoy día en la mayoría de las estructuras de concreto. Su nombre se deriva de la semejanza en apariencia con la piedra Portland de Inglaterra (Quiroz & Salamanca, 2006).

Según Babor ylbarz (1958):

“El cemento Pórtland consiste esencialmente en una mezcla de silicatos y aluminato de calcio, con algo de cal y de yeso. Se obtiene calentando una mezcla pulverizada de caliza y arcilla. Los componentes básicos son: cal, óxido de aluminio y un poco de óxido férrico. Algunas rocas naturales contienen ya estos elementos en proporciones adecuadas. El material en polvo se calcina en un horno giratorio, en el que gradualmente avanza

hacia el extremo caliente por rotación del cilindro inclinado; en este extremo caliente la temperatura oscila entre 1400 y 1600 grados centígrados, producida por la combustión de gas, aceite o polvo de carbón, y el material funde en parte y se aglomera en forma de “clinker”. Después de enfriarse el clinker se mezcla con un 2 – 3 % de yeso, y se reduce a polvo fino. El producto resultante es el cemento Pórtland”.

Con lo antes mencionado Porrero (2004), concuerda en que el cemento Portland nace de la combinación de sílice y alúmina principalmente, provenientes de arcillas, comúnmente con cal. El producto final es una mezcla compleja de minerales artificiales. Dicho esto hay q decir que el cemento solo constituye un 10 a un 20 % del peso del concreto.

Siempre que se hace referencia del concreto se asocia de manera directa con el cemento tipo portland o cualquier tipo de cemento fabricado a base de cemento portland, esto es debido a que son los aglomerantes más conocidos en el mundo de la industria del concreto, sin embargo existen otros tipos de aglomerantes, a los cuales para diferenciarlos del cemento ya mencionado, se le añade alguna palabra que los caracterice que mayormente viene referenciado a su origen.

Al ocurrir la mezcla de estos materiales se forma el “clinker”, el yeso impide el fraguado instantáneo, regula el fraguado y el inicio del proceso de endurecimiento al controlar las reacciones de hidratación temprana del aluminato tricálcico.

El cemento a utilizar en la elaboración de la mezcla debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos por la norma COVENIN 28-93 “Especificaciones para Cemento Portland”, y con las modificaciones indicadas en las especificaciones generales de la C.A. METRO DE CARACAS.



Tabla 2. 1 Componentes Mineralógicos del Cemento Portland.

Componente	Formula Química	Formula Abreviada
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} - \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferritoaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{FA}$
Yeso	$\text{CaSO}_4 - 2\text{H}_2\text{O}$	Y
Álcalis	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	N + K
Magnesia	MgO	M
Cal libre	$\text{CaO} + \text{Ca}(\text{OH})_2$	C.L.
Residuo insoluble	$\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$	R.I.

Fuente: Porrero (2004).

## II.2 Agregados

En el concreto los agregados, también denominados áridos o inertes, representan entre el 70 y el 85% de la masa del hormigón. Estos poseen varias características importantes como lo son la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica. Estas características deben ser las que ayuden al desarrollo de ciertas propiedades en el concreto, como la trabajabilidad, las exigencias del contenido de cemento, la adherencia con la pasta y el desarrollo de resistencias mecánicas (Porrero, 2004).

Winter & Nilson (1985), también sostiene que para lograr tener una buena resistencia mecánica, resistencia a los elementos y economía, la compactación de los agregados es clave, razón por la cual la granulometría

de las partículas juega un papel muy importante. También es importante que los áridos tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que estén libres de impurezas, como barro, limo y materia orgánica, que pueden afectar en la adherencia con la pasta de cemento, y que no se produzcan reacciones químicas desfavorables entre ellos y el cemento.

### **II.2.1 Clasificación de los agregados**

Los agregados pueden clasificarse según su granulometría en dos grupos; finos también llamados arenas, o gruesos también conocidos como gravas.

Se conoce como *agregado fino* (árido fino), al material compuesto por partículas duras y resistentes, que pasan por el tamiz número 4 un mínimo del 95 % en peso, siendo entonces el *agregado grueso* (árido grueso) la fracción de material que queda retenida en el mismo tamiz, un mínimo del 70 % en peso. (Rey, 2006)

En el concreto, la calidad de los agregados son de vital importancia, por tal motivo una buena distribución granulométrica es fundamental. Tanto los agregados finos como gruesos deben cumplir con todas las especificaciones de las normas Venezolanas COVENIN 277-92 “Agregados para concreto”, y con las especificaciones generales de la C.A. METRO DE CARACAS.

Porrero (2004), cita en el “Manual de Concreto Estructural”, el comentario de la Norma COVENIN 1753, Artículo 3.3, donde dice lo siguiente:

“No siempre se pueden obtener económicamente los agregados que se ajusten a las Normas Venezolanas u otras reconocidas. En algunas circunstancias, los materiales que no

cumplen con especificaciones, tienen una larga historia de comportamiento satisfactorio. Con una aprobación especial por parte del Ingeniero Responsable de la obra, tales materiales pueden emplearse cuando exista evidencia aceptable sobre su buen comportamiento. Debe observarse, no obstante, que un buen comportamiento en el pasado no garantiza un resultado satisfactorio bajo otras condiciones y en otras localidades.” (p. 194)

Como ya se ha venido mencionando las características de los agregados son de carácter vital para la vida del concreto. A continuación se desarrollan las características más importantes de los agregados:

### **II.2.2. Textura Superficial**

Esta característica afecta de manera directa la calidad del concreto en estado fresco e influye en gran manera en la resistencia, especialmente en la resistencia a la flexotracción incluso aun más que a la de compresión (Quiroz & Salamanca, 2006).

Algunos estudiosos relacionan directamente la forma de los granos con la textura superficial .Porrero (2004) aclara que no hay métodos normativos para la medición de esta característica, sino que se relaciona con la roca de donde es originado el agregado. Hay personas que con su experiencia en el mundo del concreto, pueden estimar a simple vista el comportamiento en la mezcla, sin embargo para poder cuantificar su efecto hay que recurrir a mezclas de prueba.

En esta característica se podrían clasificar los agregados en dos grupos; el primero, el material triturado, estos tienen como resultado de su trituración superficie irregular, lo cual ayuda a la adherencia, aunque Quiroz & Salamanca (2006), concuerda con esta realidad, también aporta que la

superficie en contacto con la pasta de cemento es mayor, siendo necesaria mayor contenido de pasta para lograr la trabajabilidad deseada.

El segundo grupo que podemos encontrar el canto rodado natural, estos poseen superficie lisa que favorecen a la fluidez y la densificación.

### **II.2.3. Forma del Agregado**

Durante la historia geológica, los agregados naturales han sido sometidos a la acción de las olas y del agua, dando como resultado partículas que pueden ser esencialmente esféricas, aunque otro grupo, siendo rotas por trituración, da como consecuencia partículas que pueden ser muy angulosas.

Aunque no existen métodos normativos para cuantificarla, nuevamente la experiencia visual del experto puede ser el que dicte la sentencia de rechazo o aceptación en este punto. Se ha dictaminado que la presencia de partículas planas y alargadas presentes en la mezcla disminuyen la calidad del hormigón, disminuyendo la trabajabilidad, obligando a utilizar mayor cantidad de agua y arena lo que conduce a disminuir la resistencia (Quiroz & Salamanca, 2006). Aunque el agregado presente buena resistencia, si presenta esta forma, favorece a la posibilidad de fraccionamiento durante el mezclado y la compactación.

En el caso de los agregados gruesos es importante determinar la proporción de partículas con la característica ya mencionada (planas y alargadas), para esto se toma una muestra representativa. El procedimiento se explica de manera detallada en la norma COVENIN 264, "Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y la dimensión mínima en agregados gruesos para concreto", donde el fin es determinar el coeficiente de forma de los agregados, obtenido dividiendo la dimensión máxima entre la mínima, donde el resultado de manera normativa

debe ser menor que 5. Aunque normativamente la proporción de agregados de esta característica debe ser de un 25 %, hay ocasiones donde se deben establecer especificaciones ya que este valor puede resultar demasiado tolerante (Porrero, 2004).

#### **II.2.4. La Gravedad Específica**

Quiroz & Salamanca (2006), comentan que esta característica es la relación que existe entre la densidad del agregado y la del agua (1000 kg/cm<sup>3</sup>). Aunque hay que resaltar que todos los áridos en cierto punto son porosos, esto permite la entrada del agua. Por tal motivo hay que considerar no solo el peso sino el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas.

#### **II.2.5. La segregación**

La selección de una buena gradación granulométrica es esencial para evitar la segregación, ya que esta es perjudicial para el hormigón. Esta consiste en la separación de los materiales de la mezcla del concreto. La segregación puede presentarse de dos formas; la primera, que ocurra la separación entre los agregados finos y gruesos, y la segunda, por la separación entre la pasta y los agregados. Porrero asegura que esto puede evitarse no solo con una buena gradación sino que también debe asegurarse su constancia. También menciona el hecho de que de ser utilizados sub-fracciones de los agregados, aparte de los finos y gruesos, se lograrían concretos más estables y homogéneos, claro está que esto implicaría mayores costos.

### **II.3 Aditivos**

Según Bracamontes (2004):

“Son sustancias orgánicas y/o inorgánicas diferentes al agua, agregado y cemento hidráulico que reaccionan química y

físicamente, y que se agregan al concreto fresco antes, durante o después del mezclado en pequeñas cantidades, con el fin de modificar o mejorar alguna de sus propiedades en estado fresco o endurecido.”

En Venezuela los aditivos llegan a finales de los años cuarenta. Aunque estos representan un gran adelanto dentro del mundo de la construcción, llegando a obtener concretos de mayores exigencias, en sus inicios tuvieron comportamientos erráticos. En la actualidad se ha logrado profundizar en los fundamentos en los que se basan los aditivos, dando pie a que la industria de la construcción los emplee de manera constante y de forma confiada (Porrero, 2004).

Para el concreto proyectado puede ser muy deseable la inclusión de aditivos en condiciones especiales. Haciendo buen uso de los aditivos se pueden producir resultados muy satisfactorios pero en algunos casos, si bien esto ocurre en el concreto normal, puede que no sea útil en el concreto proyectado (Ryan, 1990).

Las limitaciones y especificaciones para el uso de aditivos se encuentran en el Artículo 3.5 de la norma COVENIN 1753 “Proyecto y diseño de obras en concreto estructural”. Ya que los aditivos están diseñados para alterar de manera conveniente algunas propiedades de las mezclas, es importante ver como este afecta a las otras características de dicha mezcla. Para esto es importante la evaluación y selección del aditivo, mediante pruebas hechas directamente al concreto, siguiendo las directrices señaladas en la norma COVENIN 351 “Aditivos químicos utilizados en el concreto. Métodos de ensayos”, también se cuenta con la ASTM C494 y ASTM C1017.

La norma COVENIN 356:1994 “Aditivos utilizados en el concreto. Especificaciones”, nos ofrece información acerca de los distintos tipos de aditivos y los efectos que estos pueden causar a las mezclas.

Tabla 2. 2 Tipos de Aditivos Químicos para Concretos.

Tipo	Efectos sobre las mezclas
A	Reductores de agua
B	Reductores de fraguado
C	Aceleradores de fraguado
D	Reductores de agua y retardadores
E	Reductores de agua y aceleradores
F	Reductores de agua de alto rango
G	Reductores de agua de alto rango y retardadores

Fuente: COVENIN 356:1994

Rey (2006), plantea que los aditivos más empleados en concreto proyectado por vía húmeda son los acelerantes, los superplastificantes, el humo de sílice, los estabilizadores de fraguado, los reductores de rebote, las fibras de acero o polipropileno y las cenizas volantes.

En relación a esto, el Manual del Concreto Estructural de Porrero (2004), afirma el uso cada vez mayor de productos de altos rendimientos denominados aditivos superplastificantes, los cuales poseen limitaciones en el tiempo de duración de su efectividad sobre el concreto fresco, esto le da mayor importancia a la planificación de todas las etapas del proceso de construcción del concreto. En el concreto proyectado este tipo de aditivo beneficia a la facilidad de bombeo y ayuda a obtener altas resistencias a edades tempranas ideal para el uso en túneles.

## II.4 El Agua y el Concreto

En el concreto, así como en la vida cotidiana el agua juega un papel de vital importancia. Esta está presente en varias etapas del proceso de elaboración del hormigón. Según Nilson (1999):

“El agua debe estar libre de contaminantes, en zonas urbanas se suele usar agua potable, la cual se considera exenta de materia orgánica y sólidos en suspensión”.

En términos generales, el agua potable de las ciudades esta apta para elaborar y curar el concreto. Sin embargo Arnal (1984), afirma, de que si en el sitio donde se ejecuta la obra no se encuentra el agua adecuada, se puede lograr la resistencia deseada aumentando el contenido de cemento en una proporción variable y que va en aumento dependiendo de la mala calidad del agua.

Como ya se ha mencionado el agua interviene en dos momentos importantes en la elaboración del concreto, siendo la primera, denominada *agua de mezclado*, ocupando comúnmente entre un 15 y 20 % del volumen de concreto fresco, formando con el cemento la pasta, que lubrica y soporta a los agregados. Las funciones principales del agua en este punto, son las de hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación al concreto (Porrero, 2004).

El otro momento donde encontramos el agua es en el proceso de curado del concreto, denominándose *agua de curado* precisamente por la función que cumple de hidratar al concreto durante la etapa del fraguado y posterior endurecimiento. Esta también ayuda a evitar la desecación y evitar la retracción prematura.

En cuanto a los requisitos mínimos físicos y químicos, el agua debe cumplir con las especificaciones establecidas en la norma COVENIN 2385 –



86 “Agua de mezclado para el concreto”, además debe cumplir con las especificaciones generales de la C.A. METRO DE CARACAS.

## **II.5 Relación Agua/Cemento**

Según Guido, G. (1985):

“La relación agua/cemento se define como la expresión de la calidad de la pasta de cemento en el concreto. Se emplea a/c entre 0.4 y 0.8. Mientras más bajo la relación a/c más alta es la resistencia y mas impermeable es el concreto, siempre y cuando haya buena compactación”.

Es por ello que esta relación es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto, pues determina la resistencia final del mortero. Expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento. La relación agua / cemento que se elija para el diseño de la mezcla, debe ser el menor valor requerido para cubrir las consideraciones de exposición de diseño. Cuando la durabilidad no sea el factor que rija el diseño, la relación agua / cemento deberá elegirse en base a la resistencia a compresión del concreto.

## **II.6 Diseño de mezclas**

Para la realización de una buena comida se consideran cuales son los ingredientes para su preparación, y también las cantidades adecuadas para que se logre el sabor esperado. El diseño de mezclas viene a ser esa receta en la cual se calculan las cantidades de todos los componentes que integran el concreto, esperando como resultado una mezcla que cumpla con las especificaciones adecuadas.

Porrero (2004) nos ofrece toda una serie de variables que afectan en este diseño de mezcla como los son; Condiciones ambientales de la obra,

tipo de obra, tipo de agregado y tipo de cemento, resistencia promedio requerida, entre otras.

La idea es obtener un material de comportamiento deseado, tanto durante su estado plástico como en su estado endurecido. Como ya se ha mencionado muchas son las variables que afectan el diseño de mezcla, por lo tanto un diseño puede o no parecerse a otro, sin embargo ningún diseño es perfecto. Su propósito específico, es el de obtener las cantidades de cada uno de los componentes, pero también es de ayuda en cuanto al estudio que se le hace al concreto bajo la influencia de un cambio en los materiales o variando las proporciones de los mismos. Esto da un panorama más amplio en cuanto a la búsqueda de materiales, costos, transporte, equipos, entre otros.

## **II.7 Concreto Proyectado**

La definición de Concreto Proyectado según Cánovas (1990):

“El hormigón proyectado es un material formado por una mezcla de áridos de tamaño reducidos, cemento agua y en algunos casos aditivos, que se transportan neumáticamente a lo largo de un tubo flexible o manguera y se lanza o proyecta sobre una superficie de soporte”.

Según Las Especificaciones Europeas para Hormigón Proyectado (1996):

“El hormigón proyectado es una mezcla de cemento, áridos y agua, que se proyecta neumáticamente mediante un pulverizador sobre el lugar, para producir una densa masa homogénea” (p. 8).

Según Ryan (1990):

“el concreto lanzado puede definirse como mortero o concreto transportado a través de una manguera y proyectado neumáticamente a una gran velocidad sobre una superficie. La fuerza del chorro, que produce un impacto sobre la superficie, compacta el material”.

En los tres conceptos antes establecidos de diferentes autores, se aprecian los mismos argumentos para definir el concreto proyectado, lanzado o shotcrete como también es llamado en otras localidades. Podemos observar que no existe ninguna diferencia entre lo que conocemos como el concreto tradicional y el concreto proyectado, simplemente tienen un procedimiento diferente en la forma de colocación y en las funciones que cumplen en las diferentes obras que se efectúan en la rama de la ingeniería civil. (Anexo 1)

Según Porrero y otros (2004) en su obra Manual del Concreto Estructural señala: “El tamaño máximo del agregado debe limitarse, ya que granos muy gruesos producirían mucho rebote, tanto en el proceso seco como en el húmedo, y no permitirían buenos acabados, lo frecuente es emplear 19mm (3/4) o granos menores.”

El endurecimiento al momento del lanzado debe producirse en un tiempo muy rápido pues de otro modo la mezcla se desprende de la superficie de aplicación en la medida que aumenta el espesor colocado.

Si el concreto proyectado es aplicado de una buena forma puede llegar a ser un material de construcción estructuralmente sano y duradero, que posee excelentes propiedades de adherencia a concretos existentes, roca, acero y muchos otros materiales. Puede tener una alta resistencia, baja absorción y resistencia a ciertos ataques tanto de la intemperie en que se

encuentre, como ataques químicos. Es importante destacar que muchas de las propiedades del concreto proyectado empleado de una buena forma pueden ser comparables e inclusive superiores a la del concreto convencional.

### **II.7.1. Ventajas del Concreto Proyectado**

- El concreto proyectado es ventajoso en situaciones cuando el costo del encofrado es excesivo o impráctico y donde el encofrado puede ser reducido o eliminado.
- En situaciones donde el área de trabajo es difícil, y existen espacios reducidos o limitados.
- Cuando se requieren capas delgadas o de espesor variable o donde las técnicas normales de vaciado convencional no pueden ser utilizadas.
- Son posibles ahorros adicionales ya que el concreto proyectado requiere solo una planta pequeña y transportable para su manufactura y colocación.

### **II.7.2. Métodos de Colocación de Concreto Proyectado**

Son las técnicas o formas como se proyecta la mezcla, la escogencia de alguno de estos métodos dependerá de su uso, tipo de terreno, disposición de material y de equipos y de la cantidad de obra a proyectar.

El concreto proyectado puede ser aplicado por medio de dos técnicas bien diferentes el proceso de vía seca y el proceso de vía húmeda. En cualquiera de las dos formas se deben emplear dosificadores para suministrar el flujo adecuado y continuo del material de una forma homogénea.

### **II.7.2.1. Método vía seca**

El sistema de mezcla seca consta de una serie de fases, y requiere unos equipos especializados. Es un procedimiento mediante el cual todos los componentes del hormigón se mezclan previamente, excepto el agua, que se añade en la boquilla antes de la proyección de la mezcla, transportándose la mezcla en seco a través de mangueras de forma neumática hasta la boquilla. (Rey, 2006)

Según Melbye (1994), en su obra Shotcrete para soporte de rocas dice:

“En la fabricación de la mezcla seca se utiliza usualmente una proporción de cementante que varía entre 250 y 450 kilogramos por 1000 litros de agua, o entre 320 y 460 kilogramos por metro cúbico de concreto para estimar el contenido real del cemento del Concreto Proyectado aplicado, es necesario considerar el rebote. El principal efecto del rebote es la pérdida del agregado de mayor tamaño, que conducen a un aumento del contenido de cemento si se compara con la mezcla inicial. En una mezcla regular de 350 Kg. de cemento por metro cúbico, un rebote del 20% se traduce aproximadamente en 400 Kg. de cemento por metro cúbico de Concreto Proyectado.”

### **II.7.2.2. Método vía Húmeda**

El procedimiento es muy similar al de la vía seca, pero el agua se añade en la mezcladora. En este método, el material cementante, agregado, agua son previamente y completamente mezclados tal y como se haría para un concreto convencional. En la boquilla solo se añaden los aditivos líquidos. El material mezclado es alimentado al equipo de proyección, como por ejemplo una bomba de concreto, el cual empuja la mezcla a través de la manguera por desplazamiento positivo o aire (Zambrano, 2008).

En la **tabla 2.3** se establecen las ventajas y desventajas de los dos diferentes procesos.

Como consecuencia de la Proyección, algunos de los granos gruesos del agregado *rebotan* y no quedan adheridos. Este material caído no tiene utilidad, aunque algunos constructores intentan remezclarlo, con lo cual dañan la calidad de la pieza. El rechazo depende de la composición de la mezcla, de su consistencia y de la calidad y experiencia del personal al momento de su colocación. Este debe ser lo más bajo posible, pues afecta la economía.

Con la finalidad de producir la menor cantidad de rebote posible es importante tomar en cuenta otros factores como: composición de la mezcla (tamaño de partículas, composición granulométrica, cemento, aditivos, relación a/c), velocidad de proyección, espesor de capas, tipo de soporte y habilidad del personal. Los rechazos y residuos nunca serán reutilizados.

Tabla 2. 3 ventajas y desventajas de los dos diferentes procesos.

Proceso de vía Húmeda	Proceso de vía Seca
Agua de mezclado controlada instantáneamente en la boquilla por el operador para ajustarse a las condiciones variables de campo.	Agua de mezclado controlada en planta y medida en el momento de la dosificación
Longitudes posibles de manguera mayores, si es necesario limitado a aceleradores como el único aditivo practico.	Distancias de bombeo normal necesaria.
Limitado a aceleradores como el único aditivo practico.	Compatible con todos los aditivos ordinarios. Dispensadores especiales para la adición de aceleradores son necesarios.
Uso intermitente fácilmente acomodable dentro de límites de tiempo prescritos.	Más conveniente para aplicación continúa de concreto proyectado.
Comportamiento de resistencia excepcional posible.	Menores resistencias, similar al concreto convencional.
Mayor rebote.	Menor rebote.
Costo de mantenimiento de equipos tiende a ser menor.	Costo de mantenimiento de equipos tiende a ser mayor

Fuente: Zambrano (2008).

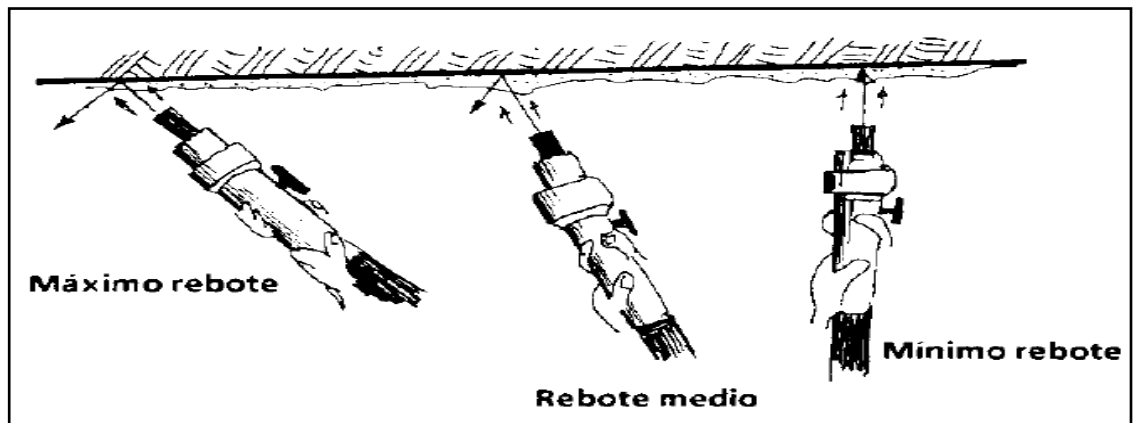


Figura 2.1. Manipulación de la boquilla para un mejor concreto proyectado.  
 Fuente: Hormigón y morteros proyectados. Recomendaciones de utilización por UNE(1994)

La colocación en obra del concreto proyectado debe dar como resultado un concreto compacto, resistente y bien adherente, con la mínima cantidad de rebote producido. Estos factores dependen en gran medida del operador de la boquilla, por lo tanto, se debe contar con un personal altamente calificado para el trabajo.

Para obtener un concreto proyectado de calidad la proyección del mismo debe de ser en forma continua sin interrupciones de flujo, la aplicación debe comenzarse de abajo hacia arriba para evitar la incorporación del rebote a la estructura. La proyección debe realizarse por capas compactas, uniformes y exentas de irregularidades.

La distancia entre la boquilla y la superficie dependerá de la cantidad del material y la velocidad del mismo, tomando en cuenta que si la distancia es demasiado corta, es imposible que la capa del concreto se forme sobre la superficie de aplicación, ya que el material se arranca continuamente por la fuerza del chorro. Por el contrario, si la boquilla se encuentra demasiado lejos de la superficie, se reduce la adherencia y la compactación del material. La

distancia optima se encuentra entre 0.6 y 1.8 m dependiendo de la velocidad del material.

## **II.8 Control de Calidad**

Sin importar el tamaño del proyecto, se debe realizar algún tipo de ensayos de pre construcción y evaluación para asegurar que el personal, equipos y materiales sean competentes. Antes de la aplicación del concreto proyectado, el equipo supervisor de la calidad debe valorar la conveniencia del operador de la boquilla, los materiales y proporción de mezcla, los equipos, el personal y el proceso de aplicación.

Según Ornes (1990), En su obra *Anotaciones Generales Sobre Inspección de Obras*:

“El control de calidad es la verificación sistemática de aquellas variables en los procesos de la producción que influyen sobre la excelencia del producto final, estas variables se deben a la aplicación de los materiales.” (p 45)

En todo proceso de construcción que se ejecute durante la obra debe tener un control estricto con las empresas que han sido contratadas al momento de que estas efectúen cualquier tipo de trabajo ya que ellas normalmente realizan la labor sin importar la calidad de los materiales o la mano de obra con que se ejecute la misma.

## **II.9 Túnel Minero**

Los túneles mineros son excavaciones con un revestimiento de concreto proyectado los cuales llevan un refuerzo de acero llamado costilla. La construcción de estos túneles comienza con una pequeña excavación central que va extendiéndose hacia los lados hasta completar la longitud del eje mayor.



La proyección del concreto se realiza por medio de una maquina llamada *Aliva*, la cual consta entre cosas de una tolva por donde se introduce la mezcla, un dispositivo donde se adiciona el aditivo y conexiones de entrada y salida para agua y aire a presión, además la manguera que lleva la mezcla a presión al sitio de proyección.

La excavación se realiza con la retroexcavadora y taladros de aire comprimido, el proceso de construcción de este túnel se divide en las siguientes etapas:

### **II.9.1 Proceso de excavación**

- Como ya se explico la excavación se realiza con maquinas retroexcavadoras y taladros de aire a compresión.
- Para consolidar el terreno antes de excavar se inyecta en el mismo una lechada (cemento y agua). Esto se realiza con una maquina que perfora el suelo e inyecta la lechada. La presión con la que se inyecta es de 5000 psi. En los sitios donde el suelo es firme no se realizan inyecciones.
- Se excava el terreno hasta la profundidad deseada y se deja suelo en la parte central del arco excavado, esto se hace con la finalidad de que los obreros puedan usarlo como andamio para la colocación del armado de la costilla. (Anexo 2)
- El material excavado es depositado por el minishover en una tolva y sacado del túnel por medio de una grúa.
- Siempre que el nivel freático de la zona está por encima de la excavación se usan bombas para extraer el agua además se colocan sacos en la parte inferior del arco para que el agua no salga con sedimentos.

### **II.9.2. Proceso de colocación de la costilla**

La costilla es el elemento encargado de soportar los esfuerzos del terreno y contribuir a la estabilidad del túnel. Está formada por cuatro

elementos que se unen mediante pernos y dan la forma del arco del túnel. Estos elementos están formados por perfiles IPN o por cimbras de celosía con cabillas de 1", 3/8" y 1/2", dependiendo de las condiciones del terreno se selecciona el tipo de elemento; si el terreno es poco estable se usan los perfiles IPN y si el terreno es estable se usan las de cimbra de celosía.

- La costilla como ya se explico, está formada por 4 elementos que van unidos por pernos.
- En la mezzanina se unen dos elementos por un lado (un lateral con un superior) y los otros dos elementos por el otro (el otro lateral con el otro superior) de manera que cuando lleguen al túnel sea más fácil de colocar.
- Los obreros colocan la costilla uniéndola con la anterior con unos separadores que la mantienen a 80 cm de la interior y la empalman en la cumbre para tener ya los cuatro elementos unidos.
- Luego de esto buscan la correcta ubicación de la costilla y la acuñan con listones de madera.
- Después de fijarla colocan mallas electrosoldadas para facilitar la adherencia entre el concreto y el terreno. Estas mallas son de 1/4" de diámetro y de abertura 10 x 10 cm.
- Una vez hecho esto el tipógrafo nivela la posición de la costilla.
- Terminando esto la costilla esta lista para ser proyectada.

### **II.9.3. Proceso de preparación y traslado**

Cuando falta poco tiempo para proyectar se ordena al operador que prepare la cantidad de concreto necesaria y se transporte al túnel minero esto se realiza de la siguiente forma:

- El agregado (arena- arcocillo) es transportado a la planta por medio de bandas transportadoras hasta la planta donde se pesa la cantidad necesaria para producir  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$  de concreto, es decir 940 Kg. (esto es debido a que la capacidad máxima de la planta es de  $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ ).

- En la misma tolva se pesa la cantidad de cemento necesaria para  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> de concreto, es decir 200 kg.
- Luego el agregado y el cemento son mezclados mecánicamente durante unos 5 a 10 minutos.
- La mezcla que llega al túnel minero es descargada sobre otro minishovel y esta es colocada en un embudo el cual la transporta a la aliva que es la encargada de impulsar la mezcla y el agua a presión para proyectar el concreto.

#### **II.9.4. Proyección del concreto**

- La mezcla es impulsada por aire a presión a través de una manguera de 4" que llega hasta el sitio de proyección, al mismo tiempo el agua es conducida por otra manguera de 1" la cual se une a la que lleve la mezcla justo antes de llegar a la boquilla. La presión de proyectado es de 3 a 4 Kg /cm<sup>3</sup>.
- El concreto proyectado sale a gran velocidad por la boquilla la cual es manejada por un operador quien se coloca contra el sitio donde se va a proyectar cubriendo uniformemente el terreno con el concreto y tratando de que todo tenga el mismo espesor.
- El operador requiere de un auxiliar que lo ayude en caso de que este se agote y que le vaya señalando donde le falta proyectar.
- Se debe empezar desde abajo hacia arriba y el operador debe proyectar perpendicular a la superficie, para esto se coloca en el centro del arco. Transcurridas las primeras 24 horas después de haberse proyectado se procede a curar el concreto rociando agua sobre la superficie del mismo.

#### **II.10 Edades de Ensayo y Crecimiento de la Resistencia**

Desde el momento en que se termina el atiesamiento que conocemos como final de fraguado del concreto, se inicia el desarrollo de resistencias,

que al principio es rápido y luego va disminuyendo su velocidad a medida que transcurre el tiempo.

La edad normativa a que se miden las resistencias es la de 28 días (en el METRO DE CARACAS 7, 14 y 28 días) pero también se determinan con frecuencia las resistencias a otras edades, como información adicional y a veces como especificación de la obra, por ser más conveniente. Las edades usuales en estos casos son 1, 3, 7, 14, 28, 90, 180 y 360 días.

En la figura 2.2. se presenta la curva teórica del crecimiento de la resistencia del concreto en función a su edad.

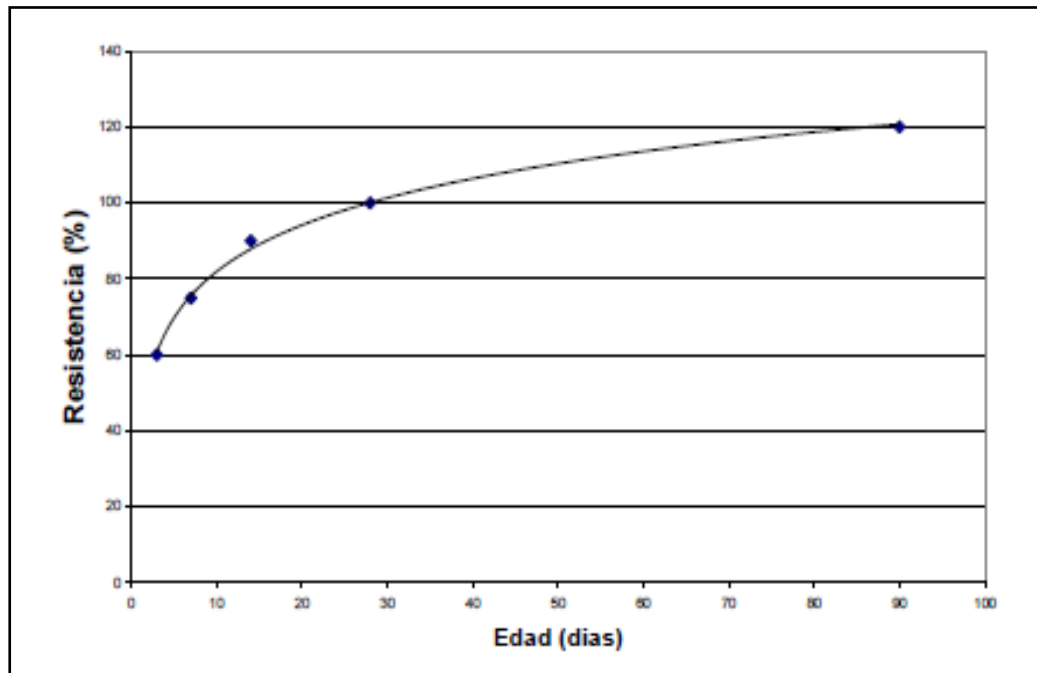


Figura 2.2. Curva Teórica de crecimiento de resistencia en el concreto.

Fuente: Zambrano (2008)

Como podemos observar en la grafica el concreto tiene un rápido crecimiento de resistencia a pocos días, ya que tan solo a los siete días este ha alcanzado un 75% de su resistencia máxima, y se observa que a medida

que la edad va aumentando también disminuye la velocidad con que esta crece.

## II.11 Determinación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico

Este ensayo no destructivo será pieza fundamental en el desarrollo de este proyecto. Consiste en medir el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en atravesar la masa de concreto que se está evaluando. El procedimiento consta de un emisor de generador de pulsos, colocado en una de las caras del elemento a estudiar, y en la cara opuesta un receptor, ambos terminales deben estar en contacto pleno con la cara respectiva, ya que de lo contrario el ensayo arrojaría resultados erróneos (Porrero, 2004).

Este ensayo se regirá en el presente proyecto por la norma ASTM C597 "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", aunque existe la norma COVENIN 1681 "Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto"

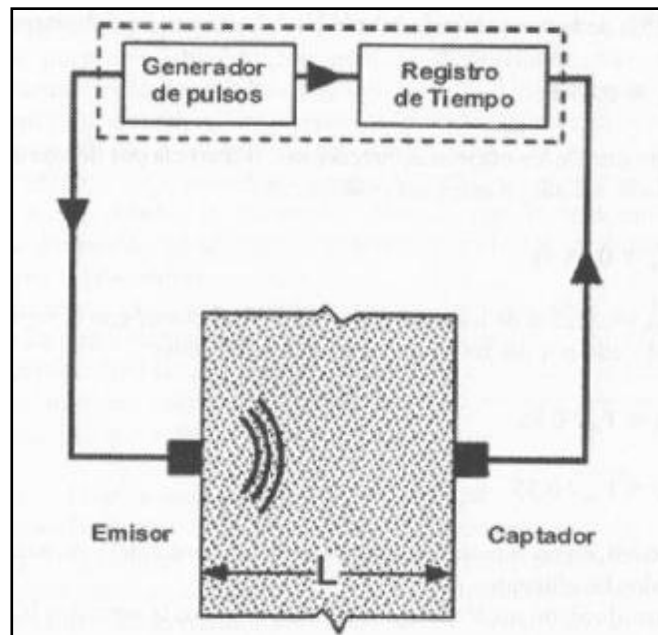


Figura 2.3. Esquema de la Disposición de emisor y receptor en el ensayo ultrasónico.

Fuente: Porrero S. Joaquín (2004) "Manual del Concreto Estructural".

La velocidad de propagación de la onda está en función de la densidad y de las constantes elásticas del material a estudiar.

El ensayo puede ser realizado por distintos tipos de transmisión, directa, semi-directa e indirecta. En lo que compete a esta investigación, solo se utilizara el tipo de transmisión directa.

#### ***II.11.1. Determinación de la velocidad de pulso por transmisión directa***

Consiste en colocar los transductores en caras perpendicularmente opuestas entre sí. La exactitud de determinación de la velocidad es gobernada principalmente por la exactitud de la medición de longitud de la trayectoria. El acoplador utilizado debe extenderse lo más fino posible para evitar cualquier efecto que resulta de las diferentes velocidades entre el medio acoplamiento y el concreto.

### **II.12 Método para la Extracción y Ensayo de Núcleos (Core-Drills)**

Este método describe los procedimientos para la extracción preparación y ensayo de probetas cilíndricas extraídas del concreto endurecido proyectado sobre una bandeja para determinaciones de longitud y resistencias a la compresión.

#### **II.12.1 Equipos Utilizados**

- Las muestras serán tomadas en un molde rígido y no absorbente, tendrá forma de bandeja abierta por una de sus caras, con un fondo de dimensiones mínimas de 15 cm X 60 cm en la base y una altura de 15 cm mínimo. (Anexo 3)
- Perforadora tubular para la obtención de probetas cilíndricas (Anexo 4).
- Para los ensayos a compresión de los núcleos se debe utilizar una prensa (Anexo 5).

- Los equipos utilizados para la toma de las muestras deben ser los mismos de la proyección y estos deben poseer la capacidad de medir las cantidades de agua o aditivo que se le adicionan a la mezcla
- Sierra para cortar probetas cilíndricas hasta el tamaño adecuado para ensayos de resistencia a compresión (Anexo 6).

## **II.13 Teoría de Estadística**

La estadística según Murray R. Spiegel (1980):

“Está ligada con los métodos científicos en la toma, organización, recopilación, presentación y análisis de datos, tanto para la deducción de conclusiones como para tomar decisiones razonables de acuerdo con tales análisis. En sentido más estricto, la estadística se utiliza para denotar los mismos datos o números que se derivan de ellos, como por ejemplo promedios”. (p. 5)

Obtenidos de encuestas, experimentos o cualquier serie de medidas, los datos estadísticos son a menudo tan numerosos que resultan prácticamente inútiles sino se les condensa, o reduce, en forma más conveniente.

En ocasiones puede ser satisfactorio presentar datos tal como son y dejar que hablen por si mismos; en otras quizás solo sea necesario agrupar los datos y presentar los resultados en forma tabular o grafica. Sin embargo, la mayoría de las veces los datos deben resumirse aunmas. A continuación se presentan las variables utilizadas para la interpretación de datos en esta investigación.

### II.13.1 Media Aritmética

La Media Aritmética Según Murray R. Spiegel (1980):

“Es un valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como tales valores, tienden a situarse en el centro del conjunto de datos ordenados según su magnitud”.

Expresada de forma más intuitiva, podemos decir que la media (aritmética) es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación. Viene dada por la siguiente expresión:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Ecuación 2.1.

Donde:

$\bar{x}$  = media aritmética

$X_i$  = datos de la muestra

$n$  = numero de datos

### II.13.2 Desviación Estándar

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto de la media aritmética. Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media, y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media.



La desviación estándar está definida por la siguiente fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Ecuación 2.2.

Donde:

S= desviación estándar

$\bar{x}$  = media aritmética

$X_i$  = datos de la muestra

n = numero de datos

### II.13.3 Varianza

Es una colección de modelos estadísticos y sus procedimientos asociados. El análisis de varianza sirve para comparar si los valores de un conjunto de datos numéricos son significativamente distintos a los valores de otro o más conjuntos de datos. El procedimiento para comparar estos valores está basado en la varianza global observada en los grupos de datos numéricos a comparar. Típicamente, el análisis de varianza se utiliza para asociar una probabilidad a la conclusión de que la media de un grupo de puntuaciones es distinta de la media de otro grupo de puntuaciones.

La varianza estadística viene dada por la siguiente expresión:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Ecuación 2.3.

Donde:

$S^2$  = Varianza

$\bar{x}$  = media aritmética

$X_i$  = datos de la muestra

n = numero de datos

#### **II.13.4 Decisiones Estadísticas**

Muy a menudo en la práctica, se tienen que tomar decisiones sobre poblaciones partiendo de la información muestral de las mismas. Tales decisiones se llaman decisiones estadísticas. Para llegar a tomar decisiones, conviene hacer determinados supuestos o conjeturas acerca de las poblaciones que se estudian. Tales supuestos que pueden ser o no ciertos se llaman hipótesis estadísticas y, en general, lo son sobre las distribuciones de probabilidad de las poblaciones.

#### **II.13.5 Errores de tipo I y Tipo II**

Si se rechaza una hipótesis cuando debería ser aceptada, se dice que se comete un error del tipo I. Si, por el contrario se acepta una Hipótesis que debería ser rechazada, se dice que se comete un error del tipo II. En cualquiera de los dos casos se comete un error al tomar una decisión equivocada.

#### **II.13.6 Teoría Elemental del muestreo**

La teoría del muestreo según Murray R. Spiegel (1980) "Es un estudio de las relaciones existentes entre una población y muestras extraídas de la misma. Tiene gran interés en muchos aspectos de la estadística. Por ejemplo, permite estimar cantidades desconocidas de la población (Tales como la media poblacional, la varianza, etc.), frecuentemente llamadas parámetros poblacionales o brevemente parámetros, a partir del

conocimiento de las correspondientes cantidades muestrales (tales como la media maestra, la varianza, etc.)”

### **II.13.7 Nivel de Significación**

El nivel de significación Según Murray R. Spiegel (1980) “Es la probabilidad máxima con la que en el ensayo de una hipótesis se puede cometer un error del tipo 1 (rechazando una hipótesis cuando debería ser aceptada)”. Esta probabilidad se denota frecuentemente por alfa; generalmente se fija antes de la extracción de las muestras, de modo que los resultados obtenidos no influyen en la elección.

En la práctica se acostumbra a utilizar niveles de significación del 0,05 o 0,01, aunque igualmente pueden emplearse otros valores. Si por ejemplo, se elige un nivel de significación del 0,05 o 5 % al diseñar un ensayo de hipótesis entonces existe aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se está con un 95% de confianza de que se toma la decisión adecuada. En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0,05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0,05.

Para cumplir con los objetivos planteados dentro de esta investigación se recurrió a un método estadístico que definen y ayudan a la interpretación del análisis final de los datos obtenidos en campo, pudiendo con esto tener un mejor estudio del problema y así poder concluir con el desarrollo de esta investigación. El método estadístico utilizado en este trabajo será explicado continuación:

### **II.13.8 Criterio T**

Este criterio basado en la norma ASTM E 178 (Standard Practice for Dealing With Outlying Observation), explica en forma detallada el análisis de

los valores que se encuentran en observación y que aparentemente son dudosos para la investigación.

Esta práctica abarca los valores críticos en observación de la muestra, y la forma de probar su significación estadística de los mismos. Un valor crítico o valor atípico en observación es aquel que parece desviarse notablemente de los demás miembros de la muestra con la que se está trabajando, puede ser, que los valores en observación solo se trate de una simple manifestación de que tan variables son los datos en la muestra sin afectar a esta, o también, el resultado errado de la desviación que ocurrió durante el procedimiento experimental ya sea por un mal empleo de los instrumentos, una mala toma de los datos o un error de cálculo en estos.

Si se comprueba estadísticamente que solo se trata de un valor descarriado en la muestra este debe mantenerse y ser tratado de la misma manera que otras observaciones en la muestra. Por otra parte, si ocurre lo contrario puede ser conveniente iniciar una investigación para determinar el motivo del ilógico valor. La observación incluso puede ser rechazada como resultado del análisis estadístico al que ha sido sometido.

Existe una serie de criterios para la realización de la prueba T en valores atípicos de la muestra, en todos estos, la observación dudosa es incluida en el cálculo para luego ser comparado con un valor crítico basado en la teoría de "Muestreo aleatorio" para determinar si la observación dudosa debe conservarse o ser rechazada. El procedimiento según la norma ASTM E 178 para aplicar el criterio T esta desarrollado en la metodología.

#### **II.14 El Método Mandel (1984)**

El método Mandel permite obtener una correlación confiable ya que corrige el error que ocurre en la variable X, el cual afecta la correlación, a diferencia de cualquier otro método o programas como Excel. Al realizar la

correlación, los valores de velocidad de pulso a través de la vigueta se verán reflejados en el eje X, mientras que los valores de resistencia a compresión de los núcleos se verán reflejados en el eje Y.

Este método será realizado bajo la norma ACI 228.1 “In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”, de esta manera se obtendrán curvas de correlación de calidad y con errores despreciables. El procedimiento de este método será desarrollado en la metodología.

### **II.15 Contraste de hipótesis y significación**

Las herramientas de análisis *Prueba t* de dos muestras permiten comprobar la igualdad de las medias de población que subyacen a cada muestra. Esta herramienta es totalmente distinta al denominado *Criterio T*.

### **II.16 Bases Legales**

- **Norma COVENIN 338:2002 Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.** Esta norma brinda conocimiento técnico esencial en cuanto a los cilindros de concreto, su manejo y ensayo.
- **Norma COVENIN 1976-03 Concreto. Evaluación y métodos de ensayo.** Los criterios de aceptación de núcleos, están descritos en esta norma.
- **Norma ASTM C42 ASTM C42/C42M Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.** El contenido de esta norma ayudo a la corrección por esbeltez de los núcleos obtenidos.

- **Normas ASTM C597 Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete y COVENINN 1681-80 Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.** El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico fue realizado según estas normas.
- **Norma ASTM E178 Standard Practice for Dealing With Outlying Observations.** El criterio estadístico utilizado, es parte del contenido de esta norma.
- **Norma ACI 228.1 In-Place Methods to Estimate Concrete Strength.** El método matemático Mandel, es desarrollado en esta norma.
- **Norma ACI 214.4R-03 Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results.** Esta norma ayudo a la interpretación de los resultados de Resistencia a compresión de los núcleos.
- **Norma ASTM E122-00 Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process.** Trae contenidos referentes al error presente en un promedio dado por una serie de pruebas en una muestra.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

Según Tamayo y Tamayo (2001):

“la metodología constituye una medida del plan, se refiere a la descripción de la unidad de análisis o de investigación, las técnicas de observación y la recolección de datos, los instrumentos, los procedimientos técnicas de análisis” .(p.19)

Todo trabajo de investigación debe considerar una diversidad de aspectos comunes que llegan a caracterizar el fenómeno a estudiar, referente a el enfoque investigativo, las técnicas de investigación, el tipo de investigación, los instrumentos, la población y muestra, los procedimientos y técnicas de análisis.

En el presente capitulo se describirá los métodos y procedimientos utilizados para el desarrollo del proyecto.

#### **III.1. Tipo de investigación y Diseño de investigación.**

De acuerdo a la problemática planteada, el tipo de investigación, es un proyecto factible, según Balastrini (2002), ya que se “observan los hechos estudiados tal como se manifiesta en su ambiente natural” (p.132). Por su parte el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2006), de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador define el proyecto factible como:

“...consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar

problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El proyecto debe tener apoyo en una investigación documental, de campo o un diseño que incluye ambas modalidades”. (p.16).

Ahora bien, esta investigación se caracteriza como factible ya que logra un cambio en el control de calidad interno del metro de Caracas, específicamente para el concreto proyectado, en la edad de siete días. Además de esto ofrece un valor aproximado de la resistencia en edades más tardías.

Por otra parte, la investigación se torno como un estudio explicativo, ya que analiza la variación de pulso ultrasónico en un cilindro, luego de su extracción. La Universidad Nacional Abierta y a Distancia, en su portal de internet define la investigación exploratoria como estudios que “pretenden conducir a un sentido de comprensión o entendimiento de un fenómeno. Apuntan a las causas de los eventos físicos o sociales.”

La investigación se orienta hacia la incorporación de un diseño de campo, ya que se realiza la toma de muestras con viguetas tomadas en sitio, y de dichas viguetas son extraídos los núcleos, a los cuales se les realiza el ensayo no destructivo, como lo es el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico y posteriormente el destructivo, ensayo a compresión. Ya que se observa el hecho estudiado tal como se manifiestan en su ambiente natural, para sustentar este criterio, el Manual de la UPEL (2006) define lo siguiente:

“Se entiende por una investigación de campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlo, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos



característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos en desarrollo”. (p.14)

### **III.2. Universo de Estudio**

En la presente investigación el elemento de observación y estudio, será el concreto total colocado en el foso del túnel de ventilación, obra perteneciente al METRO DE CARACAS C.A.

En opinión de Ander-Egg (1983), universo de estudio es:

“la totalidad de un conjunto de elementos, seres u objetos que se desean investigar y de la cual se estudiara una fracción (la muestra) que se pretende que reúna las mismas características y en igual proporción”. (p.45).

El universo objeto de estudio, constituye una población finita, en la medida que está constituida por un determinado número de elementos, que con relación a este estudio está limitado a el elemento estructural vaciado en su totalidad, del foso denominado, VSE Este, Solo aire, Túnel de ventilación.

### **III.3. La Muestra del Estudio**

Hernández, Fernández y Baptista (1998), señalan que “la muestra es en esencia un subgrupo de la población”. (p.212).

Señalado ya el universo de estudio, se define la muestra como las viguetas ensayadas, que representan la calidad del elemento estructural señalado. La muestra está conformada por un total de 12 viguetas, las cuales fueron tomadas de manera similar al del proceso de toma de muestras que realiza el Metro.

El diseño de mezcla será el siguiente:

Tabla 3. 1 Diseño de mezcla

	Valor	Unidad
<b>Cemento</b>	555	kg
<b>Arena</b>	1655	kg
<b>Agua</b>	200	lts
<b>Plasti Polyheed 248</b>	5	l/m3
<b>Adi. Retardador pozzolith 2237</b>	1	l/m4
<b>a/c</b>	0,36	

### III.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En función de los objetivos definidos en el presente estudio, se emplearon una serie de instrumentos y técnicas de recolección de la información, orientadas de manera esencial a alcanzar los fine propuestos.

Según Tamayo (1995) explica que las técnicas de recolección de datos “Es la parte operativa del diseño investigativo. Hace relación al procedimiento, condiciones y lugar de la recolección de datos”. (p.147).

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta investigación son, la toma de viguetas y el respectivo ensayo de velocidad de pulso ultrasónico, extracción de núcleos de la vigueta y el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico y posteriormente el de compresión, recopilación bibliográfica y documental para la determinación de los aspectos técnicos y teóricos.

Para los respectivos ensayos mencionados de viguetas y núcleos, se diseño un formato para la toma de los datos y resultados arrojados. El formato contiene la siguiente información:

- Número de vigueta, nombre de la vigueta, fecha de toma, fecha de ensayo, número de ensayo, edad de ensayo, velocidad. (Anexo 7)

- Número de vigueta, nombre de la vigueta, fecha de toma, fecha de ensayo, número de cilindro, edad de ensayo, altura, velocidad de pulso, carga, resistencia. (Anexo 7)

Además de esto, conjuntamente en el control de calidad del metro de caracas, se maneja un formato para los ensayos de núcleos, donde de manera más detallada se maneja información acerca de los mismos.

### **III.5. Técnicas de Análisis de Datos**

Luego de haber empleado las medidas para la recolección de los datos, se procedió a realizar un análisis de los datos suministrados en campo. El análisis de estos datos se realizó de manera cuantitativa a través del empleo de tablas, gráficos, esquemas, planillas de medición, estudios estadísticos que permiten el mejor empleo de ellos.

Sabino (1996), plantea lo siguiente refiriéndose al análisis de los datos cuantitativos:

“Este tipo de operación se efectúa, naturalmente, con toda la información numérica resultante de la investigación. Esta, luego del procedimiento sufrido, se nos presenta como un conjunto de cuadros, tablas y medidas, a las cuales habrá que pasar en limpio, calculándose sus porcentajes y otorgándoles forma definida”. (p.172).

Los datos recogidos en campo fueron todos agrupados e introducidos en tablas que permiten establecer graficas en donde se observan la relación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia, para el elemento estudiado. Realizando un análisis de los resultados obtenidos se llegó a las conclusiones expresadas en esta investigación.

### **III.6. Fases de la Investigación**

Para lograr los objetivos planteados, fue necesario la realización de una serie de fases, las cuales se llevaron secuencialmente de la siguiente manera:

#### **III.6.1. Fase 1: revisión bibliográfica**

Para la realización de este trabajo de investigación fue necesaria la recopilación de material bibliográfico los cuales aportaron al conocimiento teórico requerido. Se realizó la revisión de normas venezolanas y normas internacionales, libros, artículos y trabajos de investigación referentes al tema.

#### **III.6.2. Fase 2: toma de muestras de concreto proyectado.**

Esta fase se realizó según el procedimiento establecido por el metro de caracas. En el momento que el concreto es proyectado en el túnel, también es proyectado en una vigueta de dimensiones ya definidas por el METRO DE CARACAS, para su posterior estudio. (Anexo 8)

Es importante destacar que el vaciado no se realiza de una vez en los cilindros, ya que esto aumenta la influencia del rebote. Para esta fase de la investigación se logró la toma de 12 viguetas tomadas del foso, con distintas fechas de toma.

Para realizar esta toma es necesario personal capacitado ya que si se toma de una manera inadecuada puede afectar los resultados obtenidos en los ensayos. Cada vigueta es identificada con el nombre de vigueta según el número correspondiente por el METRO DE CARACAS, número de vigueta respecto a la investigación, fecha de toma, fechas de ensayo para cada edad, lugar de toma. (Anexo 9)

### **III.6.3. Fase 3: Ensayo de ultrasonido en las viguetas obtenidas.**

Luego de la toma de muestra, la vigueta es trasladada al laboratorio para ser ensayada. En el proceso actual del laboratorio, los núcleos son extraídos el día que se cumpla la edad de ensayo correspondiente. Para lograr la relación de resistencia y velocidad, es necesario que el día de ensayo, antes de la extracción la vigueta sea sometida a un ensayo no destructivo, como lo es el método de pulso ultrasónico, obteniendo así la velocidad de propagación del pulso. Este ensayo no es realizado por el laboratorio como medida de control de calidad, pero para fines de cumplir los objetivos planteados este paso es indispensable. (Anexo 10)

Este ensayo se realizó según la norma ASTM C597 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”. El equipo utilizado para este ensayo fue el “V-Meter MK IV™ Sistema de velocidad de pulso ultrasónico”, el cual arrojaba los resultados de velocidad en metros sobre segundos de manera directa. Para utilizar el equipo es necesario introducir varias variables, como lo son, cantidad de pulsos por segundos y la distancia que separa al emisor y al receptor, los resultados obtenidos se registraron en las tablas de resultados expuestas en el Capítulo IV.

### **III.6.4. Fase 4: Extracción de núcleos de las viguetas.**

Una vez realizado el ensayo de ultrasonido se procedió a la extracción de núcleos. Es importante recordar que por cada edad de ensayo se extraen 3 núcleos, haciendo uso de las brocas adiamantadas. Esta fase se fundamenta en la norma ASTM C42/C42M “Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”.

Para hacer la extracción de manera eficiente es necesario que la vigueta no presente irregularidades originadas por el concreto sobrante al momento de la toma, por tal motivo se quitan estas irregularidades, para lograr así que la boca broca quede paralela a la superficie donde hará

contacto. Cada núcleo obtenido se realiza la medición de su altura y se pesa, además es identificado con el número de vigueta y número de núcleo. Para esta investigación no se tomara en cuenta el peso. (Anexo 11)

#### **III.6.5. Fase 5: Ensayo de ultrasonido en los núcleos obtenidos.**

Como se menciona anteriormente, para la extracción de núcleos se utilizo brocas adiamantadas, las cuales producen un impacto en el concreto, variando así la velocidad de pulso ultrasónico en el concreto. Con fines de estudiar este fenómeno, se le realizo el ensayo de ultrasonido a los núcleos obtenidos, justo antes de su ensayo a compresión, siguiendo el mismo proceso mencionado anteriormente, basado en la norma ASTM C597 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”. (Anexo 12).

#### **III.6.6. Fase 6: Ensayo de resistencia a compresión de los núcleos.**

En esta etapa de la investigación se evaluó la resistencia a compresión de los núcleos obtenidos, según el proceso de control de calidad del METRO DE CARACAS C.A. Este ensayo se rige bajo la norma COVENIN 338 “concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto”, pero también se consulto la norma ASTM C1231 “Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders”. (Anexo 13)

Los parámetros medidos son la carga, dada en kilogramos fuerza y la resistencia dada en kilogramos sobre centímetros cuadrados. Este ensayo se realizo para cada núcleo.

#### **III.6.7. Fase 7: Corrección por esbeltez de los núcleos.**

Es posible que al realizar la extracción, algunos de los núcleos no salgan con las condiciones adecuadas para su ensayo, por tal motivo es necesario cortarlos, para que sean sometidos a compresión. Debido a esto los resultados obtenidos de resistencia pueden dar con cierto margen de

error, para dar solución a este tema, la norma ASTM C42, plantea un factor de corrección dependiendo del valor de esbeltez. Este factor lo encontramos en la Tabla 4.20.

Este factor es multiplicado por la resistencia obtenida del ensayo, y de esta manera se obtiene la resistencia corregida. Los valores de la esbeltez, el factor y la resistencia final los encontramos en la Tabla 4.21.

### **III.6.8. Fase 8: Análisis estadístico de los valores atípicos de resistencia a compresión y pulso ultrasónico obtenidos.**

Este análisis estadístico de los valores atípicos obtenidos de los ensayos realizados, tanto de compresión, como de velocidad de pulso, se baso en la norma ASTM E178 “Standard Practice for Dealing With Outlying Observations”, la cual nos indica el siguiente procedimiento lleva por nombre, Criterio T y se aplico a todos los valores dudosos de la investigación, que en este tipo de investigación, son los valores máximos y mínimos de los resultados obtenidos en una muestra.

- Se calcula la media aritmética de los datos obtenidos en la investigación por medio de la Ecuación 2.1.
- Se calcula la desviación estándar de los datos obtenidos en la investigación por medio de la Ecuación 2.2.
- Se revisan todos los datos tomados y se localizan los valores que se diferencian notablemente del resto de los demás, es decir valores que serán puestos bajo observación para efectuarles un análisis estadístico correspondiente y determinar su aceptación o rechazo.
- Se calcula el parámetro T por medio de la siguiente fórmula:

$$T_n = \frac{(X_n - \bar{x})}{S}$$

Ecuación 3.1.

Donde

$\bar{x}$  = media aritmética

S = desviación estándar

$T_n$  = criterio T para el valor en observación

$X_n$  = valor en observación

- Se toma la tabla de aceptación o rechazo (Anexo 14) de la muestra que se encuentra en la norma ASTM E 178 (Critical Values For T (one-sided-test) When Standard Deviation is Calculate) el valor con el cual va a ser comparado el parámetro T, dependiendo este valor del numero de datos y nivel de significación que se haya planteado para este estudio. El METRO DE CARACAS exige un nivel de significación de  $\alpha=0.05$ , es decir, 95 % de confianza.
- Si el parámetro T es menor al valor extraído de la tabla, se acepta el dato de observación de lo contrario este será rechazado y no se tomara en cuenta para los futuros cálculos.

### **III.6.9. Fase 9: Elaboración de las curvas de correlación con el método Mandel.**

Después que se han obtenido los datos de prueba de correlación, la siguiente secuencia de cálculos se utiliza para establecer la relación de fuerza y su incertidumbre, basados en la norma ACI 228.1 “In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”

- Transformar los datos tomando el logaritmo natural de cada resultado de ensayo.

$$\begin{array}{l} x = \ln i \\ y = \ln c \end{array}$$

Ecuación 3.2.



Donde:

$i$  = resultado de ensayo de ultrasonido

$c$  = resultado de ensayo a compresión

- Para cada nivel de intensidad  $j$ , calcular el promedio y desviación estándar de los logaritmos de los resultados de los ensayos ya mencionados.

Entonces:

$X_j$  = la media de los logaritmos de los ensayos de ultrasonido a nivel de la fuerza  $j$ .

$Y_j$  = la media de los logaritmos de la compresión ensayos de resistencia a nivel de la fuerza  $j$ .

$S_{xj}$  = la desviación estándar de los logaritmos del ensayos de ultrasonido a nivel de fuerza  $j$ .

$S_{yj}$  = la desviación estándar de los logaritmos de los ensayos de resistencia a la compresión a nivel de la fuerza  $j$ .

- Calcular  $s_x^2$  y  $s_y^2$ , que son las varianzas promedio de los logaritmos de los ensayos de ultrasonido y de los ensayos a compresión respectivamente.

$$(s_y)^2 = \frac{\sum (s_{yj})^2}{N}$$

$$(s_x)^2 = \frac{\sum (s_{xj})^2}{N}$$

Ecuación 3.3 y 3.4

- Calcular el valor de  $\lambda$  de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{\frac{(s_y)^2}{n_y}}{\frac{(s_x)^2}{n_x}}$$

Ecuación 3.5

Donde:

$n_y$  = número de replicas de pruebas de ultrasonido.

$n_x$  = número de pruebas de resistencia a compresión.

Es importante resaltar que el numerador y denominador de la ecuación X son las variaciones de la resistencia a la compresión media y en el lugar de resultados respectivamente. Si hay un número diferente de repeticiones de prueba en cada nivel de la fuerza, el número promedio de repeticiones es el que debe utilizarse para  $n_y$  y  $n_x$ .

- Se encuentran los valores de  $b$  y  $k$  resolviendo las siguientes ecuaciones simultáneamente:

$$b = \frac{S_{xy} + kS_{yy}}{S_{xx} + kS_{xy}}$$

$$k = \frac{b}{\lambda}$$

Ecuación 3.6 y 3.7

En la Ecuación 3.6, los términos  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$  y  $S_{xy}$  se calculan según la siguiente forma:

$$S_{xx} = \Sigma(X_j - \bar{X})^2$$

Ecuacion 3.8

$$S_{yy} = \sum(Y_j - \bar{Y})^2$$

$$S_{xy} = \sum(X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})$$

Ecuación 3.9 y 3.10

Los términos  $\bar{X}$  y  $\bar{Y}$  son los promedios de los logaritmos de los resultados de ultrasonido y de compresión, y se calculan de la siguiente manera:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_j}{N}$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_j}{N}$$

Ecuación 3.11 y 3.12

- Las estimaciones de mejor ajuste de  $B$  y  $a$  son las siguientes:

$$B = b$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X}$$

Ecuación 3.13

- Para calcular los errores estándar de las estimaciones de  $a$  y  $B$  se utilizan los siguientes pasos:

1. Calcular las sumas modificadas:

$$S_{uu} = S_{xx} + 2kS_{xy} + k^2S_{yy}$$

$$S_{vv} = b^2S_{xx} - 2bS_{xy} + S_{yy}$$

Ecuación 3.14 y 3.15

2. Calcular el error de seguimiento de ajuste:

$$s_e = \sqrt{\frac{S_{vv}}{N-2}}$$

Ecuación 3.16

3. El error en **a** viene dado por la siguiente ecuación:

$$s_a = s_e \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{\bar{X}^2(1+kb)^2}{S_{uu}}}$$

Ecuación 3.17

4. El error en **B** viene dado por la siguiente ecuación:

$$s_B = s_e \frac{|1+kb|}{\sqrt{S_{uu}}}$$

Ecuación 3.18

El procedimiento anterior aparece en el Apéndice 2 “Regression analysis with X-error”, de la norma ya mencionada y se realizó primeramente para la edad de siete días, para cumplir el objetivo n° 2 planteado en esta investigación. Posteriormente, también se realizó para las edades de 14 y 28 días, logrando así el objetivo n° 3.

#### **III.6.10 Fase 10: Comparación de las curvas obtenidas.**

Una vez obtenida las graficas, se aprecio el comportamiento visual de la curva obtenida, y se realiza una comprobación teórica, asignando valores aleatorios de velocidad y observando los valores de resistencia obtenida, y ver si están dentro del rango con valores lógicos.

### **III.6.11 Fase 11: Influencia de la extracción con el uso de broca, sobre la velocidad.**

Aprovechando los datos obtenidos de velocidad de pulso ultrasónico antes y después de la extracción del core-drill, se plantea la comparación estadística de los datos, para observar si el uso de broca afecta la velocidad en este tipo de mezclas, y en cuanto porcentaje afecta. Dicha comparación, se lleva a cabo, haciendo uso del programa Excel, con la prueba denominada, "*Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales*". Como referencia teórica se usó la NCV 3549-1999 "*Tecnología del Concreto. Manual de elementos de estadística y diseño de experimentos*".

En resumen la hipótesis funciona de la siguiente manera:

- Se tienen dos promedios de valores y se desea saber si son iguales.
- Se compara promedios en función de sus desviaciones estándar.
- Luego se calcula un valor estadístico de prueba y se compara con uno de tabla, si el de prueba es superior al crítico de la tabla no son iguales (valor absoluto), si es superior no son iguales los promedios.

Esta misma prueba fue aplicada también a los valores obtenidos de las resistencias de 14 y 28 días, para verificar la sospecha de que estadísticamente eran iguales.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados se determinaron a través del procedimiento descrito en el CAPITULO III, y se expresan en este capítulo mediante gráficos y tablas. Para la primera fase descrita no fue necesario ningún tipo de cálculo, así que se tomara como punto de inicio la Fase 2.

#### IV .1 Fase 2: toma de muestras de concreto proyectado.

Se tomaron un total de 12 viguetas, las cuales fueron identificadas con el nombre de vigueta según el número correspondiente por el METRO DE CARACAS, número de vigueta respecto a la investigación, fecha de toma, fechas de ensayo para cada edad, lugar de toma.

Tabla 4. 1 Identificación de las viguetas.

Vigueta N°	Nombre de la vigueta	Fecha de toma	Fecha de ensayo		
			7 días	14 días	28 días
1	V - 225	06/05/2015	13/05/2015	20/05/2015	03/06/2015
2	V - 226	20/05/2015	27/05/2015	03/06/2015	17/06/2015
3	V - 227	27/05/2015	03/06/2015	10/06/2015	24/06/2015
4	V - 228	09/06/2015	16/06/2015	23/06/2015	07/07/2015
5	V - 229	09/06/2015	16/06/2015	23/06/2015	07/07/2015
6	V - 230	16/06/2015	23/06/2015	30/06/2015	14/07/2015
7	V - 231	25/06/2015	02/07/2015	09/07/2015	23/07/2015
8	V - 232	02/07/2015	09/07/2015	16/07/2015	30/07/2015
9	V - 233	29/06/2015	06/07/2015	13/07/2015	27/07/2015
10	V - 234	15/07/2015	22/07/2015	29/07/2015	12/08/2015
11	V - 235	28/07/2015	04/08/2015	11/08/2015	28/08/2015
12	V - 236	11/07/2015	18/07/2015	25/07/2015	08/09/2015

- Las fechas resaltadas indican que la vigueta llego tarde por tal motivo no se realizo el ensayo de esa edad.

- Las fechas en color naranja indican que el ensayo a esas edades no eran necesarias.

Mas adelante se podrá notar que para los casos señalados (fechas resaltadas en color rojo y naranja) se realizo el ensayo de la edad que era necesaria, esperando que se cumpliera su fecha.

#### IV.2 Fase 3: Ensayo de ultrasonido en las viguetas obtenidas.

Para lograr los objetivos planteados antes de la extracción de los núcleos, se realizo el ensayo de ultrasonido, basado en la norma ASTM C597 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”. Este ensayo se realizo para cada vigueta, en la edad que correspondía el ensayo. Los resultados del ultrasonido se muestran a continuación, estando representados en las tablas siguientes, ocupando dos tablas por edades para una mejor visualización de los resultados.

Tabla 4. 2 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 7 días (Viguetas 2, 3, 4,5, y 6)

Vigueta N°	2	3	4	5	6
N° de ensayo	Velocidad (m/s)				
1	2322	3254	3378	3394	3304
2	3106	3151	3171	3205	3289
3	3018	3247	3304	3254	3289
4	2060	3212	3356	3425	3099
5	3080	3233	3110	3341	3219
6	2988	3171	3232	3341	3125
7	2868	3112	3262	3282	3205
8	3055	3198	3297	3401	3080
9	2095	3289	3240	3425	3226
10	2959	3036	3289	3505	3289

Tabla 4. 3 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 7 días (Viguetas 7, 8, 11 y 12)

Vigueta N°	7	8	11	11	12	12
N° de ensayo	Velocidad (m/s)					
1	3417	2874	3205	2171	3043	2857
2	3488	2793	3080	2086	2896	2982
3	3513	2901	3363	2947	3024	3061
4	3546	2727	2101	3348	3030	3024
5	3546	2804	2168	2315	3099	3024
6	3546	2600	3118	2168	3030	3067
7	3554	3074	3440	3240	2947	2988
8	3546	3036	3289	3067	3000	2918
9	3571	3049	2229	3448	3006	2918
10	3538	3012	3448	3529	3333	2981

Tabla 4. 4 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 14 días (Viguetas 2, 3, 4, 5 y 6)

Vigueta N°	2	3	4	5	6
N° de ensayo	Velocidad (m/s)				
1	3432	3289	3247	3247	3311
2	3297	3254	3118	2830	3326
3	3529	3219	3049	2970	3191
4	3289	3191	3043	2778	3067
5	3409	3205	3086	2737	3178
6	3378	3363	2846	2698	3191
7	3538	3378	2688	2947	3171
8	3371	3378	1963	3099	3261
9	3304	3378	3074	3219	3254
10	3261	3268	3219	3036	3198



Tabla 4. 5 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 14 días (Viguetas 7, 8, 9,10 y 11)

Vigueta N°	7	8	9	9	10	11
N° de ensayo	Velocidad (m/s)					
1	3464	3247	3371	3348	3304	3378
2	3554	3036	3363	3198	3341	3378
3	3571	3132	3212	3261	3378	3538
4	3667	2988	3067	3212	3394	3538
5	3606	3178	3205	3158	3178	3448
6	3659	3067	3061	3132	3219	3480
7	3623	3112	3012	3043	3171	3546
8	3505	3145	3319	3185	3233	3488
9	3606	3106	3275	3311	3205	3597
10	3606	2901	3158	3268	3138	3513

Tabla 4. 6 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 28 días (Viguetas 1, 2, 3,4 y 5)

Vigueta N°	1	2	3	4	5
N° de ensayo	Velocidad (m/s)				
1	3513	3341	3178	3341	3401
2	3546	3464	3282	3171	3425
3	3606	3529	3151	3240	3505
4	3554	3425	3282	3326	3448
5	3632	3440	3118	3333	3448
6	3650	3319	3074	3132	3233
7	3606	3440	3247		
8	3580		3185		

Tabla 4. 7 Resultados del Ensayo de Ultrasonido para 28 días (Viguetas 6, 7, 8,9 y 10)

Vigueta N°	6	7	8	9	10	10
N° de ensayo	Velocidad (m/s)					
1	3212	3448	3326	3297	3254	3304
2	3488	3650	3261	3297	3289	3341
3	3432	3529	3275	3254	3363	3348
4	3348	3632	3138	3254	3378	3348
5	3394	3650	2959	3304	3268	3319
6	3401	3632	3247	3432	3333	3118
7						
8						

Como se menciona en la fase anterior, hubo casos en los que no se pudo realizar el ensayo a la edad que correspondía, por tal motivo se espero que la vigueta alcanzara la edad de ensayo que se pudiera aprovechar, para cumplir con la cantidad de ensayos con la que se pudiera trabajar.

#### **IV.3 Fase 4: Extracción de núcleos de las viguetas.**

La fase 4 consistió en la extracción de los núcleos, por lo tanto no se realizo ningún cálculo numérico, pero vale la pena mencionar, que luego de la extracción del núcleo, se esperaba que estuviera seco para su debida identificación, además se realiza la medición de su longitud y su peso. Para esta investigación no fue necesario tomar en cuenta el peso, pero si sus alturas (**h**) en centímetros, las cuales aparecen en las siguientes tablas.

Tabla 4. 8 Altura de los núcleos extraídos de las viguetas 1,2 y 3.

Núcleo N°	Vigueta N° 1		Vigueta N° 2		Vigueta N° 3	
	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)
1			7	13	7	15
2			7	13,3	7	14,5
3			7	13,7	7	14,7
4			14	15	14	13,8
5			14	15	14	14,3
6			14	15	14	7,8
7	28	15	28	14,2	28	15
8	28	15	28	13,7	28	15
9	28	14,5	28	13,6	28	15

Tabla 4. 9 Altura de los núcleos extraídos de las viguetas 4,5 y 6.

Núcleo N°	Vigueta N° 4		Vigueta N° 5		Vigueta N° 6	
	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)
1	7		7	14,3	7	14,3
2	7		7	14	7	14,5
3	7		7	14,4	7	14,5
4	14	14,6	14	14,8	14	15
5	14	12	14	14,6	14	15
6	14	10,5	14	14,6	14	15
7	28	14	28	14,5	28	15
8	28	14,5	28	15	28	15
9	28	12	28	15	28	15

- Las celdas resaltadas indican que el núcleo no cumplía las condiciones para ser ensayado. (Anexo 15)

Tabla 4. 10 Altura de los núcleos extraídos de las viguetas 7,8 y 9.

Núcleo N°	Vigueta N° 7		Vigueta N° 8		Vigueta N° 9	
	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)
1	7	14,7	7	13,7	14	15
2	7	15	7	14,3	14	15
3	7	15	7	13,1	14	15
4	14	14,1	14	15	14	15
5	14	14,2	14	15	14	15
6	14	13,9	14	15	14	15
7	28	15	28	15	28	15
8	28	15	28	15	28	15
9	28	15	28	15	28	15

Tabla 4. 11 Altura de los núcleos extraídos de las viguetas 10,11 y 12.

Núcleo N°	Vigueta N° 10		Vigueta N° 11		Vigueta N° 12	
	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)	Edad (días)	h (cm)
1	14	15	7	14	7	15
2	14	15	7	14	7	15
3	14	15	7	14	7	15
4	28	15	7	15	7	15
5	28	15	7	15	7	15
6	28	15	7	12	7	14,5
7	28	15	14	15		
8	28	15	14	14		
9	28	15	14	15		

#### IV.4 Fase 5: Ensayo de ultrasonido en los núcleos obtenidos.

Para poder realizar la medición del pulso ultrasónico a través de los núcleos, el instrumento solicita como dato la altura ( $h$ ), obtenida en el paso anterior. Una vez realizada esa medición e identificado el núcleo se procede al ensayo de cada núcleo, de cada vigueta, en la edad correspondiente, justo

antes del ensayo a compresión. En las tablas mostradas a continuación se puede apreciar la velocidad obtenida en metros sobre segundos.

Tabla 4. 12 Resultados del Ensayo de Ultrasonido de los núcleos extraídos de las viguetas 1,2 y 3.

Núcleo N°	Vigueta N° 1		Vigueta N° 2		Vigueta N° 3	
	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)
1			7	3421	7	3448
2			7	3359	7	3273
3			7	3495	7	3326
4			14	3505	14	3366
5			14	3464	14	3405
6			14	3378	14	3265
7	28	3571	28	3506	28	3311
8	28	3641	28	3540	28	3363
9	28	3625	28	3579	28	3386

Tabla 4. 13 Resultados del Ensayo de Ultrasonido de los núcleos extraídos de las viguetas 4,5 y 6.

Núcleo N°	Vigueta N° 4		Vigueta N° 5		Vigueta N° 6	
	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)
1	7		7	3381	7	3373
2	7		7	3474	7	3372
3	7		7	3302	7	3349
4	14	3484	14	3541	14	3401
5	14	3226	14	3535	14	3304
6	14	2901	14	3427	14	3198
7	28	3448	28	3616	28	3394
8	28	3494	28	3409	28	3409
9	28	3399	28	3667	28	3363

- Las celdas resaltadas indican que el núcleo no cumplía las condiciones para ser ensayado.

Tabla 4. 14 Resultados del Ensayo de Ultrasonido de los núcleos extraídos de las viguetas 7,8 y 9.

Núcleo N°	Vigueta N° 7		Vigueta N° 8		Vigueta N° 9	
	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)
1	7	3731	7	3031	14	3371
2	7	3632	7	3023	14	3333
3	7	3676	7	3104	14	3240
4	14	3780	14	3112	14	3341
5	14	3698	14	3049	14	3440
6	14	3639	14	2947	14	3289
7	28	3713	28	3212	28	3464
8	28	3695	28	3178	28	3425
9	28	3641	28	3219	28	3425

Tabla 4. 15 Resultados del Ensayo de Ultrasonido de los núcleos extraídos de las viguetas 10,11 y 12.

Núcleo N°	Vigueta N° 10		Vigueta N° 11		Vigueta N° 12	
	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)	Edad (días)	V (m/s)
1	14	3132	7	3694	7	3233
2	14	3112	7	3608	7	3261
3	14	3289	7	3474	7	3198
4	28	3311	7	3546	7	3138
5	28	3268	7	3432	7	3226
6	28	3417	7	3540	7	3063
7	28	3205	14	3401		
8	28	3240	14	3468		
9	28	3275	14	3488		

#### IV.5 Fase 6: Ensayo de resistencia a compresión de los núcleos.

Medida la altura de los núcleos, y habiendo pasado por el ensayo de ultrasonido, se procedió al ensayo a compresión de cada núcleo justo después del ensayo anterior. Los resultados los encontramos en las tablas siguientes, con el mismo esquema de presentación, la carga expresada en

kilogramos fuerza y la resistencia en kilogramos sobre centímetros cuadrados.

Tabla 4. 16 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 1,2 y 3.

Núcleo N°	Vigueta N° 1			Vigueta N° 2			Vigueta N° 3		
	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )
1				7	9606	249,6	7	8115	210,9
2				7	11307	293,8	7	8778	228,1
3				7	10884	282,8	7	8239	214,1
4				14	12484	324,4	14	10641	275,8
5				14	11004	285,9	14	10659	277,8
6				14	9123	237,0	14	10090	262,2
7	28	11143	289,5	28	7216	187,5	28	10341	268,7
8	28	14204	369,0	28	13031	338,6	28	10255	266,4
9	28	13983	363,3	28	10622	276,0	28	9164	238,1

Tabla 4. 17 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 4,5 y 6.

Núcleo N°	Vigueta N° 4			Vigueta N° 5			Vigueta N° 6		
	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )
1	7			7	7643	198,6	7	10075	261,1
2	7			7	10648	276,7	7	7250	188,4
3	7			7	9779	254,1	7	9100	236,4
4	14	9097	236,4	14	9539	247,8	14	9475	246,2
5	14	7804	202,8	14	10105	262,5	14	10577	274,8
6	14	9157	237,9	14	10903	283,3	14	10320	268,1
7	28	8947	232,5	28	9625	250,1	28	7773	201
8	28	7913	205,5	28	12031	312,6	28	11337	296,6
9	28	10007	260,0	28	10981	285,3	28	9295	241,5

- Las celdas resaltadas indican que el núcleo no cumplía las condiciones para ser ensayado.

Tabla 4. 18 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 7,8 y 9.

Núcleo N°	Vigueta N° 7			Vigueta N° 8			Vigueta N° 9		
	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )
1	7	14215	369,3	7	7604	182,5	14	10539	273,8
2	7	11716	304,4	7	6429	167	14	12180	316,5
3	7	14365	373,2	7	4144	107,7	14	10501	273
4	14	13679	355,4	14	8186	212,7	14	10363	269,3
5	14	13458	349,7	14	5657	147	14	11869	308,4
6	14	12049	313,1	14	7276	189	14	10026	260,5
7	28	14560	378,3	28	9348	242,9	28	13754	357,4
8	28	14990	389,5	28	11210	291,3	28	13223	346,2
9	28	13304	345,7	28	12551	326,1	28	13406	348,3

Tabla 4. 19 Resultados del Ensayo de Resistencia a Compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 10,11 y 12.

Núcleo N°	Vigueta N° 10			Vigueta N° 11			Vigueta N° 12		
	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	Edad (días)	C (kgf)	R (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14	5526	147,3	7	13473	350,1	7	7958	206,8
2	14	6826	177,4	7	13057	339,3	7	6174	160,4
3	14	6418	166,8	7	13739	357	7	8760	227,6
4	28	10880	282,7	7	13679	355,4	7	5526	143,6
5	28	11750	305,5	7	13477	350,2	7	8419	218,7
6	28	12941	336,2	7	13746	377,2	7	8022	208,4
7	28	12550	328,3	14	17036	442,6			
8	28	12430	319,7	14	17576	456,7			
9	28	12413	322,5	14	15369	399,3			



#### IV.6 Fase 7: Corrección por esbeltez de los núcleos.

Para la corrección de la resistencia por motivos de esbeltez fue necesario acudir a norma ASTM C42, la cual contiene el factor por el cual hay que multiplicar para corregir la resistencia, dependiendo del valor de la altura entre el diámetro ( $h/d$ ). De la expresión anterior, la única que varía es la altura, ya que el diámetro se mantiene en 7 cm.

Tabla 4. 20 Factor de corrección según h/d.

$h/d$	factor de corrección
2	1
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: C42/C42M “Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”.

El cálculo para realizar esta corrección sería el siguiente, Tomando como calculo tipo, al cilindro 6 de la vigueta N° 4:

$$\frac{h}{d} = \frac{10,1}{7} = 1,5 \quad \longrightarrow \quad \text{Factor (tabla 4.20)} \quad \longrightarrow \quad 0,96$$

Este factor es multiplicado por la resistencia obtenida en el ensayo para obtener así, la resistencia corregida:

$$0,96 * 237,9 = 228, 38 \text{ kg / cm}^2$$

Es importante resaltar que este factor es necesario cuando  $h/d \leq 2$ , por lo tanto a continuación solo se presenta una tabla con los resultados de resistencia que se tuvo que modificar por este motivo.

Tabla 4. 21 Resistencias corregidas.

Vigueta N°	Núcleo N°	Edad (días)	R (kg/cm <sup>2</sup> )	h/d	factor	R (corregida)
3	6	14	262,2	1,1	0,87	228,1
4	5	14	202,8	1,7	0,97	196,716
4	6	14	237,9	1,5	0,96	228,384
4	9	28	260,0	1,7	0,97	252,2
8	3	7	107,7	1,9	0,99	106,623
11	6	7	377,2	1,7	0,98	369,656

#### **IV.7 Fase 8: Análisis estadístico de los valores atípicos de resistencia a compresión y pulso ultrasónico obtenidos.**

Una vez obtenidos los resultados de todos los ensayos es importante verificar la validez o no de los valores atípicos, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM E178, con el denominado, Criterio T. Como se menciono anteriormente la norma brinda una serie de pasos para la validez estadística de los valores obtenidos de los ensayos.

En el caso de este tipo de investigación los valores dudosos son el mínimo y el máximo de la lista de valores, por tal motivo los resultados anteriores fueron ordenados aplicando el Criterio para toso los resultados de los tres ensayos realizados, pero exponiendo solo los valores máximos y mínimos a continuación. Siguiendo los pasos expuestos en la metodología, en las tablas siguientes se dan los resultados.

#### IV.7.1 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico sobre las viguetas.

Tabla 4. 22 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico obtenidos sobre las viguetas 1, 2, 3, 4,5 y 6.

VIGUETA	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Velocidad (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (X̄)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
1	28	8	3650	3585,875	46,29235512	1,385	2,126	ACEPTADO
			3513	3585,875	46,29235512	-1,574	2,126	ACEPTADO
2	7	10	3106	2755,1	422,0035413	0,832	2,29	ACEPTADO
			2060	2755,1	422,0035413	-1,647	2,29	ACEPTADO
	14	10	3538	3380,8	97,69317047	1,609	2,29	ACEPTADO
			3261	3380,8	97,69317047	-1,226	2,29	ACEPTADO
	28	7	3529	3422,571429	71,92323951	1,480	2,02	ACEPTADO
			3319	3422,571429	71,92323951	-1,440	2,02	ACEPTADO
3	7	10	3289	3190,3	75,44247256	1,308	2,29	ACEPTADO
			3036	3190,3	75,44247256	-2,045	2,29	ACEPTADO
	14	10	3378	3292,3	76,27151791	1,124	2,29	ACEPTADO
			3191	3292,3	76,27151791	-1,328	2,29	ACEPTADO
	28	8	3282	3189,625	76,0693997	1,214	2,126	ACEPTADO
			3074	3189,625	76,0693997	-1,520	2,126	ACEPTADO
4	7	10	3378	3263,9	80,78978208	1,412	2,29	ACEPTADO
			3110	3263,9	80,78978208	-1,905	2,29	ACEPTADO
	14	10	3247	2933,3	378,8808227	0,828	2,29	ACEPTADO
			1963	2933,3	378,8808227	-2,561	2,29	RECHAZADO
	28	6	3341	3257,166667	90,4464851	0,927	1,887	ACEPTADO
			3132	3257,166667	90,4464851	-1,384	1,887	ACEPTADO
5	7	10	3505	3357,3	90,86381751	1,626	2,29	ACEPTADO
			3205	3357,3	90,86381751	-1,676	2,29	ACEPTADO
	14	10	3247	2956,1	195,2380029	1,490	2,29	ACEPTADO
			2698	2956,1	195,2380029	-1,322	2,29	ACEPTADO
	28	6	3505	3410	93,32523774	1,018	1,887	ACEPTADO
			3233	3410	93,32523774	-1,897	1,887	RECHAZADO
6	7	10	3304	3212,5	84,52777321	1,082	2,29	ACEPTADO
			3080	3212,5	84,52777321	-1,568	2,29	ACEPTADO
	14	10	3326	3214,8	75,88265795	1,465	2,29	ACEPTADO
			3067	3214,8	75,88265795	-1,948	2,29	ACEPTADO
	28	6	3488	3379,166667	94,07319845	1,157	1,887	ACEPTADO
			3212	3379,166667	94,07319845	-1,777	1,887	ACEPTADO

Tabla 4. 23 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico obtenidos sobre las viguetas 7, 8, 9, 10,11 y 12.

VIGUETA	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Velocidad (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (x̄)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (s)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
7	7	10	3571	3526,5	44,776606	0,994	2,29	ACEPTADO
			3417	3526,5	44,776606	-2,445	2,29	RECHAZADO
	14	10	3667	3586,1	64,25029183	1,259	2,29	ACEPTADO
			3464	3586,1	64,25029183	-1,900	2,29	ACEPTADO
	28	6	3650	3590,166667	83,20196312	0,719	1,887	ACEPTADO
			3448	3590,166667	83,20196312	-1,709	1,887	ACEPTADO
8	7	10	3074	2887	157,44417	1,188	2,29	ACEPTADO
			2600	2887	157,44417	-1,823	2,29	ACEPTADO
	14	10	3247	3091,2	98,58870794	1,580	2,29	ACEPTADO
			2901	3091,2	98,58870794	-1,929	2,29	ACEPTADO
	28	6	3326	3201	133,6787193	0,935	1,887	ACEPTADO
			2959	3201	133,6787193	-1,810	1,887	ACEPTADO
9	14	10	3371	3204,3	128,9694624	1,293	2,29	ACEPTADO
			3012	3204,3	128,9694624	-1,491	2,29	ACEPTADO
	14	10	3348	3211,6	89,83589978	1,518	2,29	ACEPTADO
			3043	3211,6	89,83589978	-1,877	2,29	ACEPTADO
	28	6	3432	3306,333333	65,49707373	1,919	1,887	RECHAZADO
			3254	3306,333333	65,49707373	-0,799	1,887	ACEPTADO
10	14	10	3394	3256,1	91,4019815	1,509	2,29	ACEPTADO
			3138	3256,1	91,4019815	-1,292	2,29	ACEPTADO
	28	6	3378	3314,166667	51,37865964	1,242	1,887	ACEPTADO
			3254	3314,166667	51,37865964	-1,171	1,887	ACEPTADO
	28	6	3348	3296,333333	89,11715136	0,580	1,887	ACEPTADO
			3118	3296,333333	89,11715136	-2,001	1,887	RECHAZADO
11	7	10	3448	2944,1	551,3177043	0,914	2,29	ACEPTADO
			2101	2944,1	551,3177043	-1,529	2,29	ACEPTADO
	7	10	3529	2831,9	583,8623221	1,194	2,29	ACEPTADO
			2086	2831,9	583,8623221	-1,278	2,29	ACEPTADO
	14	10	3597	3490,4	72,01573902	1,480	2,29	ACEPTADO
			3378	3490,4	72,01573902	-1,561	2,29	ACEPTADO
12	7	10	3333	3040,8	116,3947307	2,510	2,29	RECHAZADO
			2896	3040,8	116,3947307	-1,244	2,29	ACEPTADO
	7	10	3067	2982	67,36962718	1,262	2,29	ACEPTADO
			2857	2982	67,36962718	-1,855	2,29	ACEPTADO

El parámetro  $T_n$  calculado se toma siempre como valor absoluto y es comparado con el valor de  $T$  obtenido en la tabla 1 de la norma ASTM E178, dependiendo del número de repeticiones del ensayo. Si el resultado de  $T \geq T_n$  el valor es aceptado, de lo contrario dicho valor será rechazado.

Los valores resaltados en color rojo son los que no cumplen con el criterio, por lo tanto son rechazados. Se eliminan estos valores y se vuelven a revisar los resultados que están bajo observación (máximos y mínimos), pero los cálculos ahora son realizados sin tomar en cuenta los valores eliminados.

Tabla 4. 24 . Análisis estadístico de los valores atípicos de pulso ultrasónico.

VIGUETA	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	$X_n$ (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO ( $\bar{X}$ )	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO $T_n$	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
4	14	9	3247	3041,111111	175,3086168	1,174	2,215	ACEPTADO
			2688	3041,111111	175,3086168	-2,014	2,215	ACEPTADO
5	28	5	3505	3445,4	38,57849142	1,545	1,715	ACEPTADO
			3401	3445,4	38,57849142	-1,151	1,715	ACEPTADO
7	7	9	3571	3538,666667	24,29506123	1,331	2,215	ACEPTADO
			3488	3538,666667	24,29506123	-2,085	2,215	ACEPTADO
9	28	5	3304	3281,2	24,99399928	0,912	1,715	ACEPTADO
			3254	3281,2	24,99399928	-1,088	1,715	ACEPTADO
10	28	5	3348	3332	19,65960325	0,814	1,715	ACEPTADO
			3304	3332	19,65960325	-1,424	1,715	ACEPTADO
12	7	9	3099	3008,333333	58,16141333	1,559	2,215	ACEPTADO
			2896	3008,333333	58,16141333	-1,931	2,215	ACEPTADO

Como se puede observar se elimino el valor que no cumplía las condiciones para ser tomado en cuenta, por tal motivo, el numero de observaciones cambia, dando como resultado un nuevo promedio y una nueva desviación estándar y por ende un nuevo  $T_n$ .

#### IV.7.2 Análisis estadístico de los valores obtenidos de pulso ultrasónico sobre los núcleos.

Tabla 4. 25 Análisis estadístico de los valores de pulso ultrasónico obtenidos sobre los núcleos extraídos de las viguetas 1, 2, 3, 4,5 y 6.

VIGUETA	NÚCLEO	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Velocidad (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (?)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
1	7	28	3	3641	3612,333	36,679	0,782	1,155	ACEPTADO
	8			3625			0,345	1,155	ACEPTADO
	9			3571			-1,127	1,155	ACEPTADO
2	1	7	3	3495	3425,000	68,088	1,028	1,155	ACEPTADO
	2			3421			-0,059	1,155	ACEPTADO
	3			3359			-0,969	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3505	3449,000	64,815	0,864	1,155	ACEPTADO
	5			3464			0,231	1,155	ACEPTADO
	6			3378			-1,095	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3579	3541,667	36,529	1,022	1,155	ACEPTADO
	8			3540			-0,046	1,155	ACEPTADO
	9			3506			-0,976	1,155	ACEPTADO
3	1	7	3	3448	3349,000	89,739	1,103	1,155	ACEPTADO
	2			3326			-0,256	1,155	ACEPTADO
	3			3273			-0,847	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3405	3345,333	72,252	0,826	1,155	ACEPTADO
	5			3366			0,286	1,155	ACEPTADO
	6			3265			-1,112	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3386	3353,333	38,423	0,850	1,155	ACEPTADO
	8			3363			0,252	1,155	ACEPTADO
	9			3311			-1,102	1,155	ACEPTADO
4	4	14	3	3484	3203,667	292,141	0,960	1,155	ACEPTADO
	5			3226			0,076	1,155	ACEPTADO
	6			2901			-1,036	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3494	3447,000	47,508	0,989	1,155	ACEPTADO
	8			3448			0,021	1,155	ACEPTADO
	9			3399			-1,010	1,155	ACEPTADO
5	1	7	3	3474	3385,667	86,095	1,026	1,155	ACEPTADO
	2			3381			-0,054	1,155	ACEPTADO
	3			3302			-0,972	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3541	3501,000	64,156	0,623	1,155	ACEPTADO
	5			3535			0,530	1,155	ACEPTADO
	6			3427			-1,153	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3667	3564,000	136,635	0,754	1,155	ACEPTADO
	8			3616			0,381	1,155	ACEPTADO
	9			3409			-1,134	1,155	ACEPTADO
6	1	7	3	3373	3364,667	13,577	0,614	1,155	ACEPTADO
	2			3372			0,540	1,155	ACEPTADO
	3			3349			-1,154	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3401	3301,000	101,533	0,985	1,155	ACEPTADO
	5			3304			0,030	1,155	ACEPTADO
	6			3198			-1,014	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3409	3388,667	23,459	0,867	1,155	ACEPTADO
	8			3394			0,227	1,155	ACEPTADO
	9			3363			-1,094	1,155	ACEPTADO

Tabla 4. 26 Análisis estadístico de los valores de pulso ultrasónico obtenidos sobre los núcleos extraídos de las viguetas 7,8,9,10,11 y 12.

VIGUETA	NÚCLEO	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Velocidad (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (?)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
7	1	7	3	3731	3679,667	49,602	1,035	1,155	ACEPTADO
	2			3676			-0,074	1,155	ACEPTADO
	3			3632			-0,961	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3780	3705,667	70,812	1,050	1,155	ACEPTADO
	5			3698			-0,108	1,155	ACEPTADO
	6			3639			-0,941	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3713	3683,000	37,470	0,801	1,155	ACEPTADO
	8			3695			0,320	1,155	ACEPTADO
	9			3641			-1,121	1,155	ACEPTADO
8	1	7	3	3104	3052,667	44,636	1,150	1,155	ACEPTADO
	2			3031			-0,485	1,155	ACEPTADO
	3			3023			-0,665	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3112	3036,000	83,265	0,913	1,155	ACEPTADO
	5			3049			0,156	1,155	ACEPTADO
	6			2947			-1,069	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3219	3203,000	21,932	0,730	1,155	ACEPTADO
	8			3212			0,410	1,155	ACEPTADO
	9			3178			-1,140	1,155	ACEPTADO
9	1	14	3	3371	3314,667	67,397	0,836	1,155	ACEPTADO
	2			3333			0,272	1,155	ACEPTADO
	3			3240			-1,108	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	3440	3356,667	76,709	1,086	1,155	ACEPTADO
	5			3341			-0,204	1,155	ACEPTADO
	6			3289			-0,882	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3464	3438,000	22,517	1,155	1,155	ACEPTADO
	8			3425			-0,577	1,155	ACEPTADO
	9			3425			-0,577	1,155	ACEPTADO
10	1	14	3	3289	3177,667	96,935	1,149	1,155	ACEPTADO
	2			3132			-0,471	1,155	ACEPTADO
	3			3112			-0,677	1,155	ACEPTADO
	4	28	3	3417	3332,000	76,688	1,108	1,155	ACEPTADO
	5			3311			-0,274	1,155	ACEPTADO
	6			3268			-0,835	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	3275	3240,000	35,000	1,000	1,155	ACEPTADO
	8			3240			0,000	1,155	ACEPTADO
	9			3205			-1,000	1,155	ACEPTADO
11	1	7	3	3694	3592,000	110,869	0,920	1,155	ACEPTADO
	2			3608			0,144	1,155	ACEPTADO
	3			3474			-1,064	1,155	ACEPTADO
	4	7	3	3546	3506,000	64,156	0,623	1,155	ACEPTADO
	5			3540			0,530	1,155	ACEPTADO
	6			3432			-1,153	1,155	ACEPTADO
	7	14	3	3488	3452,333	45,567	0,783	1,155	ACEPTADO
	8			3468			0,344	1,155	ACEPTADO
	9			3401			-1,127	1,155	ACEPTADO
12	1	7	3	3261	3230,667	31,565	0,961	1,155	ACEPTADO
	2			3233			0,074	1,155	ACEPTADO
	3			3198			-1,035	1,155	ACEPTADO
	4	7	3	3226	3142,333	81,586	1,025	1,155	ACEPTADO
	5			3138			-0,053	1,155	ACEPTADO
	6			3063			-0,972	1,155	ACEPTADO

### IV.7.3 Análisis estadístico de los valores obtenidos de resistencia a compresión sobre los núcleos.

Tabla 4. 27 Análisis estadístico de los valores obtenidos de resistencia a compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 1, 2, 3, 4,5 y 6.

VIGUETA	NÚCLEO	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Resistencia (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (?)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
1	7	28	3	369	340,600	44,346	0,640	1,155	ACEPTADO
	8			363,3			0,512	1,155	ACEPTADO
	9			289,5			-1,152	1,155	ACEPTADO
2	1	7	3	293,8	275,400	23,010	0,800	1,155	ACEPTADO
	2			282,8			0,322	1,155	ACEPTADO
	3			249,6			-1,121	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	324,4	282,433	43,803	0,958	1,155	ACEPTADO
	5			285,9			0,079	1,155	ACEPTADO
	6			237			-1,037	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	338,6	267,367	75,919	0,938	1,155	ACEPTADO
	8			276			0,114	1,155	ACEPTADO
	9			187,5			-1,052	1,155	ACEPTADO
3	1	7	3	228,1	217,700	9,148	1,137	1,155	ACEPTADO
	2			214,1			-0,394	1,155	ACEPTADO
	3			210,9			-0,743	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	277,8	260,571	28,127	0,613	1,155	ACEPTADO
	5			275,8			0,541	1,155	ACEPTADO
	6			228,114			-1,154	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	268,7	257,733	17,042	0,644	1,155	ACEPTADO
	8			266,4			0,509	1,155	ACEPTADO
	9			238,1			-1,152	1,155	ACEPTADO
4	4	14	3	236,4	220,500	20,984	0,758	1,155	ACEPTADO
	5			228,384			0,376	1,155	ACEPTADO
	6			196,716			-1,133	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	252,2	230,067	23,445	0,944	1,155	ACEPTADO
	8			232,5			0,104	1,155	ACEPTADO
	9			205,5			-1,048	1,155	ACEPTADO
5	1	7	3	276,7	243,133	40,188	0,835	1,155	ACEPTADO
	2			254,1			0,273	1,155	ACEPTADO
	3			198,6			-1,108	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	283,3	264,533	17,837	1,052	1,155	ACEPTADO
	5			262,5			-0,114	1,155	ACEPTADO
	6			247,8			-0,938	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	312,6	282,667	31,333	0,955	1,155	ACEPTADO
	8			285,3			0,084	1,155	ACEPTADO
	9			250,1			-1,039	1,155	ACEPTADO
6	1	7	3	261,1	228,633	36,967	0,878	1,155	ACEPTADO
	2			236,4			0,210	1,155	ACEPTADO
	3			188,4			-1,088	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	274,8	263,033	14,958	0,787	1,155	ACEPTADO
	5			268,1			0,339	1,155	ACEPTADO
	6			246,2			-1,125	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	296,6	246,367	47,985	1,047	1,155	ACEPTADO
	8			241,5			-0,101	1,155	ACEPTADO
	9			201			-0,945	1,155	ACEPTADO



Tabla 4. 28 Análisis estadístico de los valores obtenidos de resistencia a compresión de los núcleos extraídos de las viguetas 7,8,9,10,11 y 12.

VIGUETA	NÚCLEO	EDAD	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Xn, Resistencia (VALOR A ESTUDIAR)	PROMEDIO (?)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (S)	PARÁMETRO T <sub>n</sub>	VALOR TOMADO DE LA TABLA T	CONDICIÓN
7	1	7	3	373,2	348,967	38,645	0,627	1,155	ACEPTADO
	2			369,3			0,526	1,155	ACEPTADO
	3			304,4			-1,153	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	355,4	339,400	22,954	0,697	1,155	ACEPTADO
	5			349,7			0,449	1,155	ACEPTADO
	6			313,1			-1,146	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	389,5	371,167	22,755	0,806	1,155	ACEPTADO
	8			378,3			0,313	1,155	ACEPTADO
	9			345,7			-1,119	1,155	ACEPTADO
8	1	7	3	182,5	152,041	40,089	0,760	1,155	ACEPTADO
	2			167			0,373	1,155	ACEPTADO
	3			106,623			-1,133	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	212,7	182,900	33,272	0,896	1,155	ACEPTADO
	5			189			0,183	1,155	ACEPTADO
	6			147			-1,079	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	326,1	286,767	41,785	0,941	1,155	ACEPTADO
	8			291,3			0,108	1,155	ACEPTADO
	9			242,9			-1,050	1,155	ACEPTADO
9	1	14	3	316,5	287,767	24,887	1,155	1,155	ACEPTADO
	2			273,8			-0,561	1,155	ACEPTADO
	3			273			-0,593	1,155	ACEPTADO
	4	14	3	308,4	279,400	25,497	1,137	1,155	ACEPTADO
	5			269,3			-0,396	1,155	ACEPTADO
	6			260,5			-0,741	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	357,4	350,633	5,953	1,137	1,155	ACEPTADO
	8			348,3			-0,392	1,155	ACEPTADO
	9			346,2			-0,745	1,155	ACEPTADO
10	1	14	3	177,4	163,833	15,268	0,889	1,155	ACEPTADO
	2			166,8			0,194	1,155	ACEPTADO
	3			147,3			-1,083	1,155	ACEPTADO
	4	28	3	336,2	308,133	26,847	1,045	1,155	ACEPTADO
	5			305,5			-0,098	1,155	ACEPTADO
	6			282,7			-0,947	1,155	ACEPTADO
	7	28	3	328,3	323,500	4,386	1,094	1,155	ACEPTADO
	8			322,5			-0,228	1,155	ACEPTADO
	9			319,7			-0,866	1,155	ACEPTADO
11	1	7	3	357	348,800	8,921	0,919	1,155	ACEPTADO
	2			350,1			0,146	1,155	ACEPTADO
	3			339,3			-1,065	1,155	ACEPTADO
	4	7	3	369,656	358,419	10,073	1,116	1,155	ACEPTADO
	5			355,4			-0,300	1,155	ACEPTADO
	6			350,2			-0,816	1,155	ACEPTADO
	7	14	3	456,7	432,867	29,912	0,797	1,155	ACEPTADO
	8			442,6			0,325	1,155	ACEPTADO
	9			399,3			-1,122	1,155	ACEPTADO
12	1	7	3	227,6	198,267	34,403	0,853	1,155	ACEPTADO
	2			206,8			0,248	1,155	ACEPTADO
	3			160,4			-1,101	1,155	ACEPTADO
	4	7	3	218,7	190,233	40,713	0,699	1,155	ACEPTADO
	5			208,4			0,446	1,155	ACEPTADO
	6			143,6			-1,145	1,155	ACEPTADO

Como se puede observar en las tablas anteriores, todos los valores puestos bajo observación cumplen con el criterio expuesto verificando la condición de que  $T \geq T_n$  para todos los resultados obtenidos, siendo aceptados todos los valores.

#### **IV.8 Fase 9: Elaboración de las curvas de correlación con el método Mandel.**

Una vez realizada la revisión de cada resultado de los ensayos, se procede a la elaboración de las curvas que relacionan la velocidad del pulso ultrasónico con la resistencia a compresión. Para el desarrollo de este método, los resultados de la velocidad de pulso a través de la vigueta, serán comparados con los valores de resistencia a compresión de los núcleos, para las diferentes edades de ensayo.

Siguiendo el método planteado en el Apéndice 2 “Regression analysis with X-error” de la norma ACI 228.1, se obtienen los siguientes resultados.

#### **IV.8.1 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 7 días.**

Tabla 4. 29 Método Mandel para 7 días de las viguetas 2 y 3.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
2	10	3106	8,04109	7,90950	0,16550	0,02739
		3080	8,03268			
		3055	8,02453			
		3018	8,01235			
		2988	8,00236			
		2959	7,99261			
		2868	7,96137			
		2322	7,75018			
		2095	7,64731			
		2060	7,63046			
3	10	3289	8,09834	8,06762	0,02386	0,00057
		3254	8,08764			
		3247	8,08549			
		3233	8,08117			
		3212	8,07465			
		3198	8,07028			
		3171	8,06180			
		3151	8,05548			
		3112	8,04302			
		3036	8,01830			

Tabla 4. 30 Método Mandel para 7 días de las viguetas 5, 6,7 y 8.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
5	10	3505	8,16195	8,11856	0,02714	0,00074
		3425	8,13886			
		3425	8,13886			
		3401	8,13182			
		3394	8,12976			
		3341	8,11403			
		3341	8,11403			
		3282	8,09621			
		3254	8,08764			
		3205	8,07247			
6	10	3304	8,10289	8,07449	0,02647	0,00070
		3289	8,09834			
		3289	8,09834			
		3289	8,09834			
		3226	8,07900			
		3219	8,07683			
		3205	8,07247			
		3125	8,04719			
		3099	8,03883			
		3080	8,03268			
7	9	3571	8,18060	8,17148	0,00689	0,00005
		3554	8,17583			
		3546	8,17358			
		3546	8,17358			
		3546	8,17358			
		3546	8,17358			
		3538	8,17132			
		3513	8,16423			
3488	8,15708					
8	10	3074	8,03073	7,96661	0,05521	0,00305
		3049	8,02257			
		3036	8,01830			
		3012	8,01036			
		2901	7,97281			
		2874	7,96346			
		2804	7,93880			
		2793	7,93487			
		2727	7,91096			
		2600	7,86327			

Tabla 4. 31 Método Mandel para 7 días de las viguetas 11 y 12

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
11	10	3448	8,14555	7,96988	0,20371	0,04150
		3440	8,14323			
		3363	8,12059			
		3289	8,09834			
		3205	8,07247			
		3118	8,04495			
		3080	8,03268			
		2229	7,70931			
		2168	7,68156			
		2101	7,65017			
	10	3529	8,16877	7,92854	0,21429	0,04592
		3448	8,14555			
		3348	8,11612			
		3240	8,08333			
		3067	8,02846			
		2947	7,98854			
		2315	7,74716			
		2171	7,68294			
		2168	7,68156			
		2086	7,64300			
12	9	3099	8,03883	8,00897	0,01944	0,00038
		3043	8,02060			
		3030	8,01632			
		3030	8,01632			
		3024	8,01434			
		3006	8,00837			
		3000	8,00637			
		2947	7,98854			
		2896	7,97109			
	10	3067	8,02846	8,00012	0,02271	0,00052
		3061	8,02650			
		3024	8,01434			
		3024	8,01434			
		2988	8,00236			
		2982	8,00035			
		2981	8,00001			
		2918	7,97865			
		2918	7,97865			
		2857	7,95753			
		<b>Σ</b>				

Tabla 4. 32 Método Mandel para 7 días para los núcleos.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Resistencia (kg/m <sup>2</sup> )	Ln c	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{y}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{yj}$	VARIANZA $s_{yj}^2$
2	3	249,6	5,51986	5,61583	0,08528	0,00727
		293,8	5,68290			
		282,8	5,64474			
3	3	210,9	5,35138	5,38254	0,04160	0,00173
		228,1	5,42978			
		214,1	5,36644			
5	3	198,6	5,29129	5,48398	0,17223	0,02966
		276,7	5,62293			
		254,1	5,53773			
6	3	261,1	5,56490	5,42300	0,16727	0,02798
		188,4	5,23857			
		236,4	5,46553			
7	3	369,3	5,91161	5,85069	0,11474	0,01316
		304,4	5,71834			
		373,2	5,92211			
8	3	182,5	5,20675	4,99801	0,28811	0,08301
		167	5,11799			
		106,623	4,66930			
11	3	350,1	5,85822	5,85428	0,02565	0,00066
		339,3	5,82688			
		357	5,87774			
11	3	355,4	5,87324	5,88144	0,02795	0,00078
		350,2	5,85850			
		369,656	5,91257			
12	3	206,8	5,33175	5,27900	0,18082	0,03270
		160,4	5,07767			
		227,6	5,42759			
12	3	143,6	4,96703	5,23140	0,23021	0,05300
		218,7	5,38770			
		208,4	5,33946			
					<b>Σ</b>	<b>0,24996</b>

Las tablas anteriores fueron el resultado de los primeros pasos para la aplicación del método Mandel, y fueron realizadas con la ayuda del programa Excel.

El siguiente paso es calcular las varianzas promedio de los logaritmos de los ensayos de ultrasonido y de los ensayos a compresión, por medio de las ecuaciones 3.3 y 3.4, respectivamente.

$$S_x^2 = \frac{0,12080}{10} = 0,01208 S_y^2 = \frac{0,24996}{10} = 0,02500$$

Como se ha mencionado anteriormente, **N** representa el número de veces que se realizó el ensayo para cada edad, es decir el número de viguetas por edad, recordando que en algunos casos para una vigueta se le realizó 2 veces el ensayo para la misma edad. En el caso de 7 días, N=10.

A continuación se realiza el cálculo de  $\lambda$ , haciendo uso de la ecuación 3.5. Para esto es necesario fijar  $\eta_x$  y  $\eta_y$ , los cuales serán el promedio del número de repeticiones que se realizó el ensayo. Para este caso serán 10 y 3 respectivamente.

$$\lambda = \frac{\frac{0,02500}{3}}{\frac{0,01208}{10}} = 6,89709$$

Luego se realiza la suma de los promedios de los logaritmos, según las ecuaciones 3.11 y 3.12.

$$\bar{X} = 8,02158; \quad \bar{Y} = 5,50002$$

Obtenidos estos valores se procede al cálculo de  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$  y  $S_{xy}$ , según las Ecuaciones 3.8, 3.9 y 3.10.

$$S_{xx} = 0,06433$$

$$S_{yy} = 0,80037$$

$$S_{xy} = 0,01089$$

Resolviendo las 2 ecuaciones con las dos incógnitas **b** y **k**.

$$b = 33 \quad ; \quad k = 4,77$$

En las tablas de resultados, para cada edad, aparece reflejado los resultados del método, con sus respectivos errores estándar de las estimaciones de **a** y **B**.

Tabla 4. 33 Resumen de resultados.

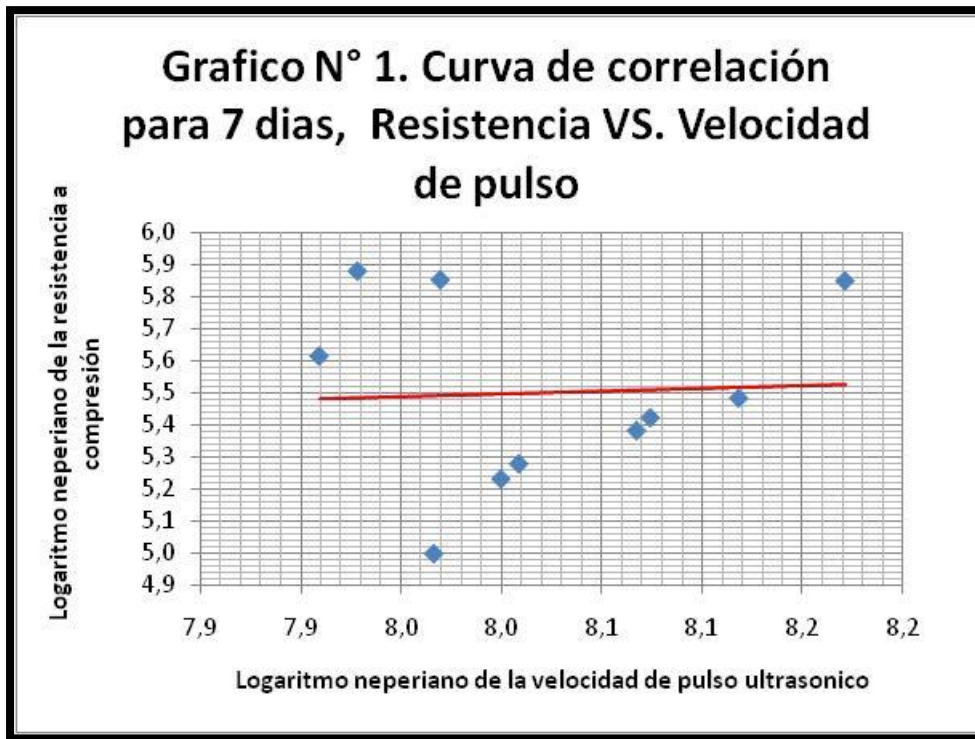
Parámetro	Valor
N	10
$\eta_x$	10
$\eta_y$	3
$\bar{X}$	8,02
$\bar{Y}$	5,5
$\lambda$	6,9
$S_{xx}$	0,06
$S_{yy}$	0,8
$S_{xy}$	0,01
k	4,78
b=B	33
a	-258,86
$S_{uu}$	18,44
$S_{vv}$	70
$S_e$	2,96
$S_a$	875,3
$S_B$	109,12

Por lo tanto la ecuación de la curva de correlación para los 7 días es la siguiente:

$$\ln C = -258,9 + 33 \ln I$$

La grafica que representa la ecuación anterior es la siguiente:

Gráfico N° 1 Curva de correlación para 7 días



Se ha presentado la línea de tendencia, la cual parece indicar una gran dispersión sin embargo, al ver la poca variación en los rangos de resistencia da a entender la efectividad del método, entendiéndose que arroja un error.

Con la finalidad de lograr los objetivos planteados en esta investigación, este método fue aplicado a los datos obtenidos de los ensayos de 14 y 28 días. Según la normativa, el ensayo de compresión a los 28 días



es obligatorio, por tal sentido la sustitución del ensayo destructivo por la utilización de la curva de correlación no es válida.

Sin embargo, la posibilidad de poder tener una estimación de estas edades, se convierte en un beneficio, dada las circunstancias actuales que dificultan la obtención de instrumentos.

#### IV.8.2 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 14 días.

Tabla 4. 34 Método Mandel para 14 días de las viguetas 2,3 y 4.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{x}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
2	10	3538	8,17132	8,12549	0,02873	0,00083
		3529	8,16877			
		3432	8,14090			
		3409	8,13417			
		3378	8,12504			
		3371	8,12296			
		3304	8,10289			
		3297	8,10077			
		3289	8,09834			
		3261	8,08979			
3	10	3378	8,12504	8,09910	0,02317	0,00054
		3378	8,12504			
		3378	8,12504			
		3363	8,12059			
		3289	8,09834			
		3268	8,09193			
		3254	8,08764			
		3219	8,07683			
		3205	8,07247			
		3191	8,06809			
4	9	3247	8,08549	8,01845	0,05926	0,00351
		3219	8,07683			
		3118	8,04495			
		3086	8,03463			
		3074	8,03073			
		3049	8,02257			
		3043	8,02060			
		2846	7,95367			
		2688	7,89655			

Tabla 4. 35 Método Mandel para 14 días de las viguetas 5, 6,7 y 8.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
5	10	3247	8,08549	7,98967	0,06586	0,00434
		3219	8,07683			
		3099	8,03883			
		3036	8,01830			
		2970	7,99632			
		2947	7,98854			
		2830	7,94803			
		2778	7,92949			
		2737	7,91462			
		2698	7,90027			
6	10	3326	8,10953	8,07527	0,02369	0,00056
		3311	8,10501			
		3261	8,08979			
		3254	8,08764			
		3198	8,07028			
		3191	8,06809			
		3191	8,06809			
		3178	8,06401			
		3171	8,06180			
		3067	8,02846			
7	10	3667	8,20713	8,18468	0,01802	0,00032
		3659	8,20495			
		3623	8,19506			
		3606	8,19035			
		3606	8,19035			
		3606	8,19035			
		3571	8,18060			
		3554	8,17583			
		3505	8,16195			
		3464	8,15018			
8	10	3247	8,08549	8,03585	0,03213	0,00103
		3178	8,06401			
		3145	8,05357			
		3132	8,04943			
		3112	8,04302			
		3106	8,04109			
		3067	8,02846			
		3036	8,01830			
		2988	8,00236			
		2901	7,97281			

Tabla 4. 36 Método Mandel para 14 días de las viguetas 9,10 y 11.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{x}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$	
9	10	3371	8,12296	8,07152	0,04038	0,00163	
		3363	8,12059				
		3319	8,10742				
		3275	8,09407				
		3212	8,07465				
		3205	8,07247				
		3158	8,05769				
		3067	8,02846				
		3061	8,02650				
		3012	8,01036				
	10	10	3348	8,11612	8,07417	0,02809	0,00079
			3311	8,10501			
			3268	8,09193			
			3261	8,08979			
			3212	8,07465			
			3198	8,07028			
			3185	8,06621			
			3158	8,05769			
			3132	8,04943			
3043	8,02060						
10	10	3394	8,12976	8,08793	0,02796	0,00078	
		3378	8,12504				
		3341	8,11403				
		3304	8,10289				
		3233	8,08117				
		3219	8,07683				
		3205	8,07247				
		3178	8,06401				
		3171	8,06180				
		3138	8,05134				
11	10	3597	8,18786	8,15758	0,02072	0,00043	
		3546	8,17358				
		3538	8,17132				
		3538	8,17132				
		3513	8,16423				
		3488	8,15708				
		3480	8,15479				
		3448	8,14555				
		3378	8,12504				
		3378	8,12504				
					$\Sigma$	0,01476	

Tabla 4. 37 Método Mandel para 14 días para los núcleos.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Resistencia (kg/m <sup>2</sup> )	Ln c	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{y}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{y_j}$	VARIANZA $s_{y_j}^2$
2	3	324,4	5,78198	5,63523	0,15795	0,02495
		285,9	5,65564			
		237	5,46806			
3	3	275,8	5,61968	5,55881	0,11174	0,01249
		277,8	5,62690			
		228,114	5,42985			
4	3	236,4	5,46553	5,39277	0,09767	0,00954
		196,716	5,28176			
		228,384	5,43103			
5	3	247,8	5,51262	5,57646	0,06716	0,00451
		262,5	5,57025			
		283,3	5,64651			
6	3	246,2	5,50614	5,57118	0,05766	0,00332
		274,8	5,61604			
		268,1	5,59136			
7	3	355,4	5,87324	5,82561	0,06897	0,00476
		349,7	5,85708			
		313,1	5,74652			
8	3	212,7	5,35988	5,19735	0,18868	0,03560
		147	4,99043			
		189	5,24175			
9	3	273,8	5,61240	5,65973	0,08453	0,00715
		316,5	5,75732			
		273	5,60947			
9	3	269,3	5,59583	5,62994	0,08942	0,00800
		308,4	5,73140			
		260,5	5,56260			
10	3	147,3	4,99247	5,09589	0,09471	0,00897
		177,4	5,17841			
		166,8	5,11680			
11	3	442,6	6,09267	6,06880	0,07027	0,00494
		456,7	6,12403			
		399,3	5,98971			
					$\Sigma$	0,12422

Siguiendo el mismo procedimiento explicado anteriormente, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4. 38 Resumen de resultados.

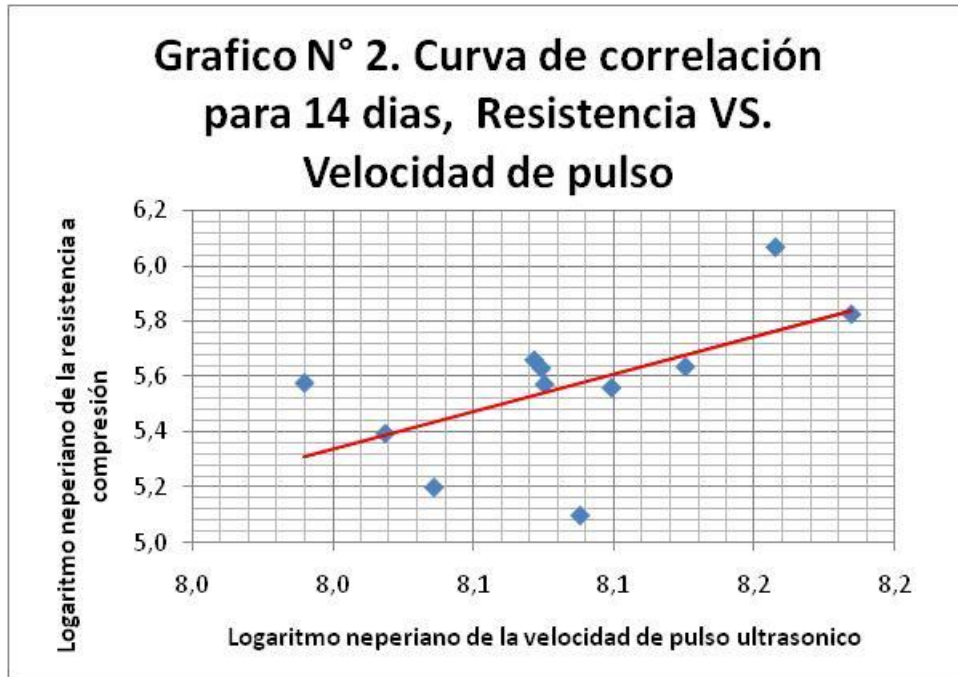
Parámetro	Valor
N	11
$\eta_x$	10
$\eta_y$	3
$\bar{X}$	8,08
$\bar{Y}$	5,56
$\lambda$	28,05
$S_{xx}$	0,03
$S_{yy}$	0,72
$S_{xy}$	0,09
k	0,15
b=B	4,3
a	-28,85
$S_{uu}$	0,08
$S_{vv}$	0,6
$S_e$	0,25
$S_a$	11,9
$S_B$	1,48

Por lo tanto la ecuación de la curva de correlación para 14 días es la siguiente:

$$\ln C = -28,85 + 4,3 \ln I$$

La grafica que representa la ecuación anterior es la siguiente:

Gráfico N° 2 Curva de correlación para 14 días



Esta grafica presenta una tendencia más visiblemente aceptable, presentando lo que se esperaba que sucediera, que a mayor velocidad de pulso ultrasónico, mayor sería la resistencia.

Del mismo modo se procedió a aplicar el método para la obtención de la curva de correlación para la edad de 28 días. Las tablas del procedimiento se muestran a continuación.

#### IV.8.3 Fase 9: Elaboración de la curva de correlación con el método Mandel para 28 días.

Tabla 4. 39 Método Mandel para 28 días de la vigueta 1.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{x}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
1	8	3650,00000	8,20248	8,18468	0,01292	0,00017
		3632,00000	8,19754			
		3606,00000	8,19035			
		3606,00000	8,19035			
		3580,00000	8,18312			
		3554,00000	8,17583			
		3546,00000	8,17358			
		3513,00000	8,16423			

Tabla 4. 40 Método Mandel para 28 días de las viguetas 2, 3, 4, 5,6 y 7.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$
2	7	3529,00000	8,16877	8,13796	0,02106	0,00044
		3464,00000	8,15018			
		3440,00000	8,14323			
		3440,00000	8,14323			
		3425,00000	8,13886			
		3341,00000	8,11403			
		3319,00000	8,10742			
3	8	3282,00000	8,09621	8,06741	0,02388	0,00057
		3282,00000	8,09621			
		3247,00000	8,08549			
		3185,00000	8,06621			
		3178,00000	8,06401			
		3151,00000	8,05548			
		3118,00000	8,04495			
		3074,00000	8,03073			
4	6	3341,00000	8,11403	8,08829	0,02791	0,00078
		3333,00000	8,11163			
		3326,00000	8,10953			
		3240,00000	8,08333			
		3171,00000	8,06180			
		3132,00000	8,04943			
5	5	3505,00000	8,16195	8,14475	0,01117	0,00012
		3448,00000	8,14555			
		3448,00000	8,14555			
		3425,00000	8,13886			
		3401,00000	8,13182			
6	6	3488,00000	8,15708	8,12506	0,02816	0,00079
		3432,00000	8,14090			
		3401,00000	8,13182			
		3394,00000	8,12976			
		3348,00000	8,11612			
		3212,00000	8,07465			
7	6	3650,00000	8,20248	8,18573	0,02342	0,00055
		3650,00000	8,20248			
		3632,00000	8,19754			
		3632,00000	8,19754			
		3529,00000	8,16877			
		3448,00000	8,14555			

Tabla 4. 41 Método Mandel para 28 días de las viguetas 8,9 y 10.

VIGUETA	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Velocidad (m/s)	Ln i	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{X}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{xj}$	VARIANZA $s_{xj}^2$	
8	6	3326,00000	8,10953	8,07047	0,04268	0,00182	
		3275,00000	8,09407				
		3261,00000	8,08979				
		3247,00000	8,08549				
		3138,00000	8,05134				
		2959,00000	7,99261				
9	5	3304,00000	8,10289	8,09594	0,00763	0,00006	
		3297,00000	8,10077				
		3297,00000	8,10077				
		3254,00000	8,08764				
		3254,00000	8,08764				
10	6	3378,00000	8,12504	8,10586	0,01550	0,00024	
		3363,00000	8,12059				
		3333,00000	8,11163				
		3289,00000	8,09834				
		3268,00000	8,09193				
		3254,00000	8,08764				
	5	5	3348,00000	8,11612	8,11131	0,00591	0,00003
			3348,00000	8,11612			
			3341,00000	8,11403			
			3319,00000	8,10742			
			3304,00000	8,10289			
$\Sigma$						0,00558	

Tabla 4. 42 Método Mandel para 28 días para los núcleos extraídos de las viguetas 1,2 y 3.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Resistencia (kg/m <sup>2</sup> )	Ln c	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{Y}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{yj}$	VARIANZA $s_{yj}^2$
1	3	289,5	5,66816	5,82473	0,13582	0,01845
		369	5,91080			
		363,3	5,89523			
2	3	187,5	5,23378	5,55967	0,30016	0,09010
		338,6	5,82482			
		276	5,62040			
3	3	268,7	5,59360	5,55043	0,06746	0,00455
		266,4	5,58500			
		238,1	5,47269			



Tabla 4. 43 Método Mandel para 28 días para los núcleos extraídos de las viguetas 4,5,6,7,8,9 y 10.

VIGUETA N°	NÚMERO DE OBSERVACIONES	Resistencia (kg/m <sup>2</sup> )	Ln c	PROMEDIO DE LOS Ln $\bar{Y}_j$	DESVIACIÓN ESTÁNDAR $s_{yj}$	VARIANZA $s_{yj}^2$
4	3	232,5	5,44889	5,43485	0,10311	0,01063
		205,5	5,32545			
		252,2	5,53022			
5	3	250,1	5,52186	5,64011	0,11214	0,01257
		312,6	5,74492			
		285,3	5,65354			
6	3	201	5,30330	5,49419	0,19464	0,03789
		296,6	5,69238			
		241,5	5,48687			
7	3	378,3	5,93569	5,91537	0,06219	0,00387
		389,5	5,96486			
		345,7	5,84557			
8	3	242,9	5,49265	5,65140	0,14861	0,02209
		291,3	5,67435			
		326,1	5,78720			
9	3	357,4	5,87886	5,85965	0,01691	0,00029
		346,2	5,84702			
		348,3	5,85306			
10	3	282,7	5,64439	5,72801	0,08682	0,00754
		305,5	5,72195			
		336,2	5,81771			
10	3	328,3	5,79393	5,77914	0,01353	0,00018
		319,7	5,76738			
		322,5	5,77610			
					$\Sigma$	0,20815

Nuevamente se aplico los últimos cálculos del método para las muestras de esta edad, obteniendo así los resultados expuestos en la tabla resumen.

Tabla 4. 44 Resumen de resultados.

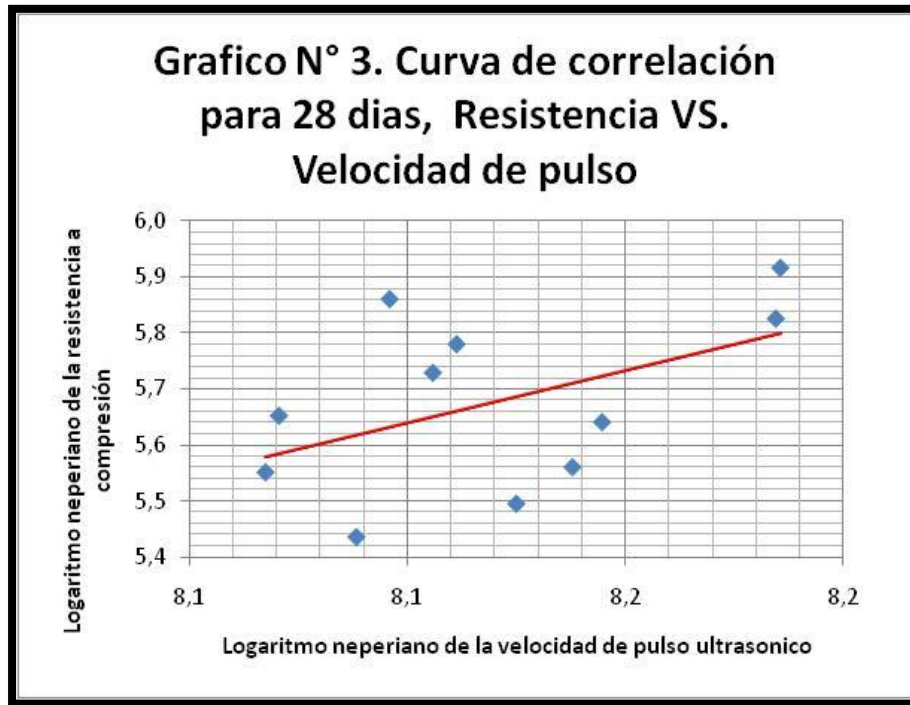
Parámetro	Valor
N	11
$\eta_x$	6
$\eta_y$	3
$\bar{X}$	8,12
$\bar{Y}$	5,68
$\lambda$	76,85
$S_{xx}$	0,02
$S_{yy}$	0,25
$S_{xy}$	0,03
k	0,03
b=B	2,2
a	-12
$S_{uu}$	0,02
$S_{vv}$	0,2
$S_e$	0,15
$S_a$	9,3
$S_B$	1,14

La ecuación que gobierna la curva obtenida es la siguiente:

$$\ln C = -12 + 2,2 \ln I$$

Es importante notar, que para estas dos últimas edades, el valor de N cambia a 11, debido a que fueron 11 viguetas evaluadas para estas edades. A continuación se presenta la curva de correlación para la edad de 28 días.

Gráfico N° 3 Curva de correlación para 28 días



De esta manera se han logrado obtener las curvas de correlación para las 3 edades de ensayo.

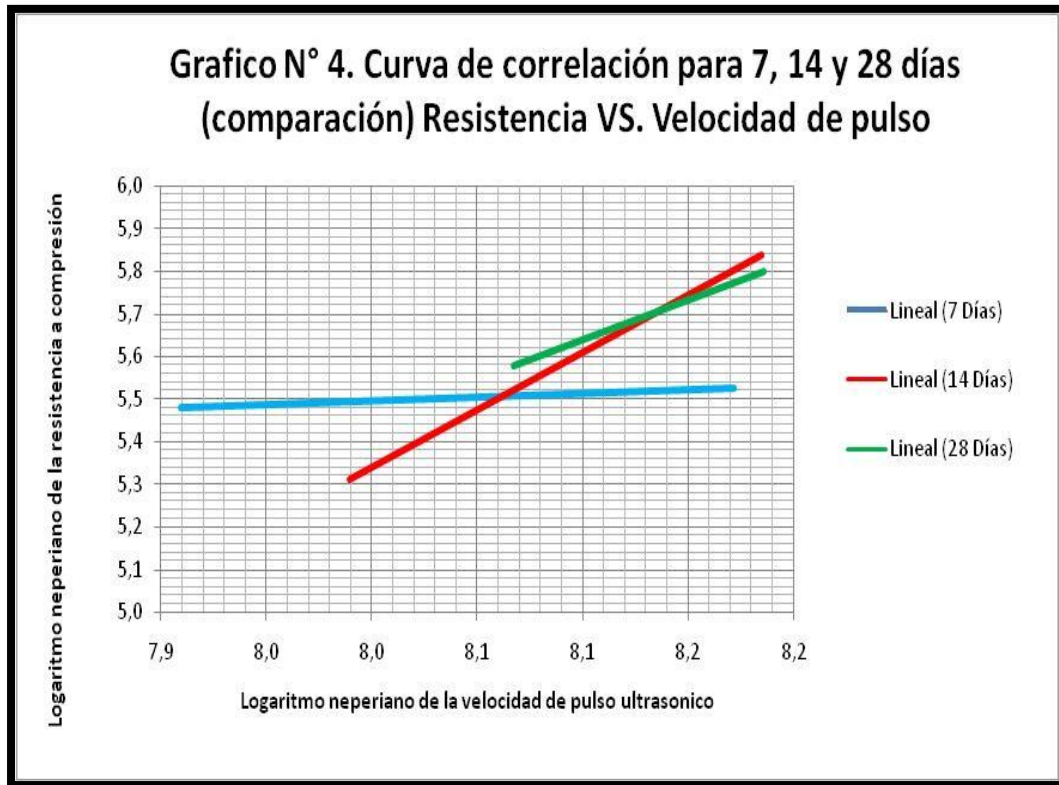
#### IV.9 Fase 10: Comparación de las curvas obtenidas.

Como era de esperarse, el comportamiento de las curvas iba a ser de manera creciente, siendo distintos los rangos de aplicación para cada edad. En el gráfico N° 4. Se superponen las 3 líneas de mejor ajuste, planteadas en los gráficos N° 1, N° 2 y N° 3.

Sin embargo, la curva para la edad de 7 días difiere visiblemente en su comportamiento, a comparación con las de las otras edades, por tal motivo se verifico paso a paso, el procedimiento realizado para la obtención de las curvas, sin encontrar variación en su aplicación.

Lo anterior puede no ser tan extraño, debido a que la resistencia a la edad de 7 días no solo es más baja que en las otras edades, sino el crecimiento no ocurre de manera exponencial a esta edad.

Gráfico N° 4 Curva de comparación 7, 14 y 28 días



#### IV.10 Fase 11: Influencia de la extracción con el uso de broca, sobre la velocidad.

En el proceso de realización de la investigación, junto con el personal de la empresa, se planteó la incógnita de cómo influye el uso de la broca al momento de extraer los núcleos, en la velocidad de pulso ultrasónico. Para dar respuesta a dicha pregunta, se realizó la *prueba t*, la cual compara los valores de velocidad antes y después de la extracción.

A continuación se presentan las tablas de resultados de dicha prueba, la cual supone que las varianzas son iguales. Dicha prueba se realizó haciendo uso de Excel, y se aplicó para todos los datos, todas las viguetas y todos los núcleos, para cada edad.

Tabla 4. 45 Tabla resumen – prueba t – V1 - 28

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	1
	Edad	28
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	3585,875	3612,333333
Varianza	2142,982143	1345,333333
Observaciones	8	3
Varianza agrupada	1965,726852	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
<b>Estadístico t</b>	<b>-0,88147536</b>	
P(T<=t) una cola	0,200494194	
Valor crítico de t (una cola)	1,833112923	
P(T<=t) dos colas	0,400988388	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,262157158</b>	

Tabla 4. 46 Tabla resumen – prueba t – V2 - 7

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	2
	Edad	7
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	2755,1	3425
Varianza	178086,9889	4636
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	146550,4455	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-2,658308363</b>	
P(T<=t) una cola	0,011126909	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,022253818	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 47 Tabla resumen – prueba t – V2 – 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	2
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3380,8	3449
Varianza	9543,955556	4201
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	8572,509091	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,118972333</b>	
P(T<=t) una cola	0,143495876	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,286991753	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 48 Tabla resumen – prueba t – V2 -28

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	2
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3422,571429	3541,666667
Varianza	5172,952381	1334,333333
Observaciones	7	3
Varianza agrupada	4213,297619	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	8	
<b>Estadístico t</b>	<b>-2,658844724</b>	
P(T<=t) una cola	0,014428569	
Valor crítico de t (una cola)	1,859548033	
P(T<=t) dos colas	0,028857138	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,306004133</b>	

Tabla 4. 49 Tabla resumen – prueba t – V3 - 7

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	3
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	3190,3	3349
Varianza	5691,566667	8053
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	6120,918182	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-3,081467494</b>	
P(T<=t) una cola	0,005221956	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,010443911	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 50 Tabla resumen – prueba t – V3 - 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	3
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	3292,3	3345,333333
Varianza	5817,344444	5220,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	5708,79697	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,06626604</b>	
P(T<=t) una cola	0,154573641	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,309147283	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 51 Tabla resumen – prueba t – V3 - 28

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	3
	Edad	28
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	3189,625	3353,333333
Varianza	5786,553571	1476,333333
Observaciones	8	3
Varianza agrupada	4828,726852	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	9	
<b>Estadístico t</b>	<b>-3,479875815</b>	
P(T<=t) una cola	0,003469958	
Valor crítico de t (una cola)	1,833112923	
P(T<=t) dos colas	0,006939915	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,262157158</b>	

Tabla 4. 52 Tabla resumen – prueba t – V4 - 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	4
	Edad	14
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	3041,111111	3203,666667
Varianza	30733,11111	85346,33333
Observaciones	9	3
Varianza agrupada	41655,75556	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,194690933</b>	
P(T<=t) una cola	0,129886874	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461102	
P(T<=t) dos colas	0,259773749	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,228138842</b>	



Tabla 4. 53 Tabla resumen – prueba t – V4 - 28

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	4
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3257,166667	3447
Varianza	8180,566667	2257
Observaciones	6	3
Varianza agrupada	6488,119048	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
<b>Estadístico t</b>	<b>-3,332944382</b>	
P(T<=t) una cola	0,006270171	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578604	
P(T<=t) dos colas	0,012540342	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,364624251</b>	

Tabla 4. 54 Tabla resumen – prueba t – V5 – 7

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	5
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3357,3	3385,666667
Varianza	8256,233333	7412,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	8102,79697	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-0,478718023</b>	
P(T<=t) una cola	0,320756671	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,641513342	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 55 Tabla resumen – prueba t V5 – 14

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	5
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	2956,1	3501
Varianza	38117,87778	4116
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	31935,71818	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-4,631987893</b>	
P(T<=t) una cola	0,000363026	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,000726053	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 56 Tabla resumen – prueba t – V5 – 28

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	5
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3445,4	3564
Varianza	1488,3	18669
Observaciones	5	3
Varianza agrupada	7215,2	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,911882236</b>	
P(T<=t) una cola	0,052217505	
Valor crítico de t (una cola)	1,943180274	
P(T<=t) dos colas	0,104435009	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,446911846</b>	

Tabla 4. 57 Tabla resumen – prueba t – V6 – 7

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	6
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	3212,5	3364,666667
Varianza	7144,944444	184,3333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	5879,378788	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-3,014690676</b>	
P(T<=t) una cola	0,00588341	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,01176682	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 58 Tabla resumen – prueba t – V6 – 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	6
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	3214,8	3301
Varianza	5758,177778	10309
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	6585,6	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,613609874</b>	
P(T<=t) una cola	0,067453768	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,134907536	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 59 Tabla resumen – prueba t – V6 – 28

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	6
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3379,166667	3388,666667
Varianza	8849,766667	550,3333333
Observaciones	6	3
Varianza agrupada	6478,5	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
<b>Estadístico t</b>	<b>-0,166917308</b>	
P(T<=t) una cola	0,436077272	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578604	
P(T<=t) dos colas	0,872154543	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,364624251</b>	

Tabla 4. 60 Tabla resumen – prueba t – V7 – 7

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	7
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3538,666667	3679,666667
Varianza	590,25	2460,3333333
Observaciones	9	3
Varianza agrupada	964,2666667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
<b>Estadístico t</b>	<b>-6,81101434</b>	
P(T<=t) una cola	2,33843E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461102	
P(T<=t) dos colas	4,67685E-05	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,228138842</b>	

Tabla 4. 61 Tabla resumen – prueba t – V7 – 14

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	7
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3586,1	3705,666667
Varianza	4128,1	5014,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	4289,233333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-2,773379091</b>	
P(T<=t) una cola	0,009058587	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,018117175	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 62 Tabla resumen – prueba t – V7 – 28

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	7
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3590,166667	3683
Varianza	6922,566667	1404
Observaciones	6	3
Varianza agrupada	5345,833333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,795606775</b>	
P(T<=t) una cola	0,05781271	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578604	
P(T<=t) dos colas	0,115625419	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,364624251</b>	

Tabla 4. 63 Tabla resumen – prueba t – V8 – 7

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	8
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	2887	3052,666667
Varianza	24788,66667	1992,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	20643,87879	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,751573778</b>	
P(T<=t) una cola	0,053820865	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,10764173	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 64 Tabla resumen – prueba t – V8 – 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	8
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3073,888889	3036
Varianza	7563,361111	6933
Observaciones	9	3
Varianza agrupada	7437,288889	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
<b>Estadístico t</b>	<b>0,659015764</b>	
P(T<=t) una cola	0,262384757	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461102	
P(T<=t) dos colas	0,524769514	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,228138842</b>	

Tabla 4. 65 Tabla resumen – prueba t – V8 – 28

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	8
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3201	3203
Varianza	17870	481
Observaciones	6	3
Varianza agrupada	12901,71429	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
<b>Estadístico t</b>	<b>-0,024901258</b>	
P(T<=t) una cola	0,490414361	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578604	
P(T<=t) dos colas	0,980828722	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,364624251</b>	

Tabla 4. 66 Tabla resumen – prueba t – V9 – 14 a

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	9
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3204,3	3314,666667
Varianza	16633,12222	4542,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	14434,79697	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,395473319</b>	
P(T<=t) una cola	0,09520223	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,190404459	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 67 Tabla resumen – prueba t – V9 – 14 b

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	9
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3211,6	3356,666667
Varianza	8070,488889	5884,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	7673,006061	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-2,515786675</b>	
P(T<=t) una cola	0,014344855	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,028689709	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 68 Tabla resumen – prueba t – V9 – 28

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	9
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3281,2	3438
Varianza	624,7	507
Observaciones	5	3
Varianza agrupada	585,4666667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
<b>Estadístico t</b>	<b>-8,87351336</b>	
P(T<=t) una cola	5,70037E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,943180274	
P(T<=t) dos colas	0,000114007	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,446911846</b>	



Tabla 4. 69 Tabla resumen – prueba t – V10 – 14

<b>Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza</b>	<b>Vigueta N°</b>	<b>10</b>
	<b>Edad</b>	<b>14</b>
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	3256,1	3177,666667
Varianza	8354,322222	9396,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	8543,778788	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>1,289034752</b>	
P(T<=t) una cola	0,111916974	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,223833949	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 70 Tabla resumen – prueba t – V10 – 28 a

<b>Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza</b>	<b>Vigueta N°</b>	<b>10</b>
	<b>Edad</b>	<b>28</b>
<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>	<b>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</b>	<b>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</b>
Media	3314,166667	3332
Varianza	2639,766667	5881
Observaciones	6	3
Varianza agrupada	3565,833333	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	7	
<b>Estadístico t</b>	<b>-0,422344658</b>	
P(T<=t) una cola	0,34272168	
Valor crítico de t (una cola)	1,894578604	
P(T<=t) dos colas	0,68544336	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,364624251</b>	

Tabla 4. 71 Tabla resumen – prueba t – V10 – 28 b

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	10
	Edad	28
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	3332	3240
Varianza	386,5	1225
Observaciones	5	3
Varianza agrupada	666	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	6	
<b>Estadístico t</b>	<b>4,88147814</b>	
P(T<=t) una cola	0,001381047	
Valor crítico de t (una cola)	1,943180274	
P(T<=t) dos colas	0,002762094	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,446911846</b>	

Tabla 4. 72 Tabla resumen – prueba t – V11 – 7 a

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	11
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)	Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)
Media	2944,1	3592
Varianza	303951,2111	12292
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	250922,2636	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,964840642</b>	
P(T<=t) una cola	0,037595496	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,075190992	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 73 Tabla resumen – prueba t – V11 – 7 b

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	11
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	2831,9	3506
Varianza	340895,2111	4116
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	279662,6273	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-1,936404404</b>	
P(T<=t) una cola	0,039461336	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,078922671	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 74 Tabla resumen – prueba t – V11 – 14

Como el estadístico es inferior al valor crítico, son iguales las medidas con un 95% de confianza	Vigueta N°	11
	Edad	14
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3490,4	3452,333333
Varianza	5186,266667	2076,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	4620,824242	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>0,850695382</b>	
P(T<=t) una cola	0,206536648	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,413073296	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Tabla 4. 75 Tabla resumen – prueba t – V12 – 7 a

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	12
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	3008,333333	3230,666667
Varianza	3382,75	996,3333333
Observaciones	9	3
Varianza agrupada	2905,466667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	10	
<b>Estadístico t</b>	<b>-6,187110744</b>	
P(T<=t) una cola	5,15891E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,812461102	
P(T<=t) dos colas	0,000103178	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,228138842</b>	

Tabla 4. 76 Tabla resumen – prueba t –V12 – 7 a

Como el crítico es inferior al valor estadístico, son distintas las medias	Vigueta N°	12
	Edad	7
Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	<i>Velocidad (ANTES DE LA EXTRACCIÓN)</i>	<i>Velocidad (DESPUES DE LA EXTRACCIÓN)</i>
Media	2982	3142,333333
Varianza	4538,666667	6656,333333
Observaciones	10	3
Varianza agrupada	4923,69697	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
<b>Estadístico t</b>	<b>-3,471099913</b>	
P(T<=t) una cola	0,00261491	
Valor crítico de t (una cola)	1,795884814	
P(T<=t) dos colas	0,005229821	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,200985159</b>	

Se analizaron los 32 ensayos realizados, dando un total de 18 resultados, que las medias son iguales, con un 95% de confianza, es decir, un 56,25% de los ensayos da a entender que la velocidad de pulso ultrasónico no se ve afectada por el uso de la broca al momento de la extracción.

Ahora bien, se puede observar que en algunos casos, los valores de resistencia a compresión para 14 y 28 días, suelen ser similares y en algunos casos, la resistencia para 14 días, resulta ser mayor que para 28 días; por tal motivo se aprovecho la herramienta de la *prueba t*, para verificar si los valores de 14 y 28 días son estadísticamente iguales.

Tabla 4. 77 Tabla resumen – prueba t – Resistencias 14 y 28 días.

<b>Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales</b>		
	<b>Resistencia 14 d</b>	<b>Resistencia 28 d</b>
Media	260,5713333	257,7333333
Varianza	791,1088653	290,4233333
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	540,7660993	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
<b>Estadístico t</b>	<b>0,149469744</b>	
P(T<=t) una cola	0,44420821	
Valor crítico de t (una cola)	2,131846782	
P(T<=t) dos colas	0,888416421	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	<b>2,776445105</b>	

Al realizar la prueba se da respuesta a las dudas planteadas, estadísticamente, la resistencia a los 14 días es igual a la de 28 días. Esto ocurre debido a que el crecimiento entre estas edades es inferior al error experimental del ensayo de resistencia a compresión, es decir, no hubo crecimiento entre dichas edades, y la diferencia se atribuye al error experimental. En la norma ASTM E122, se plantea el cálculo de este error experimental.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### V.1. Conclusiones

- Mediante el ensayo de pulso ultrasónico, se logro la caracterización de las mezclas de concreto proyectado vía húmeda, empleado por el Metro de Caracas en la construcción de la línea 5. Dicha caracterización se basa en el rango de valores de velocidades a través del elemento estudiado, estando en los siguientes rangos; 2000 a 3500 m/s para 7 días, 2600 a 3600 m/s para 14 días y 2900 a 3700 m/s para 28 días.
- Utilizando los valores de los ensayos de ultrasonido realizado a través de la vigueta y el ensayo de resistencia a compresión se obtuvo la curva de correlación, aplicando el Método matemático Mandel. Los datos obtenidos de ambos ensayo fueron depurados estadísticamente, haciendo uso del *Criterio T*, expuesto en la norma ASTM E178, donde se expuso a los valores dudosos, y se excluyeron aquellos que no cumplían con la condición. Al observar dicha curva, se puede concluir, que la resistencia en esta edad no solo no ha desarrollado toda su resistencia, sino que su crecimiento es lento, comparado con las otras curvas.
- De la misma manera se procedió para obtener las curvas de correlación para las edades de 14 y 28 días. Luego de depurar los datos y aplicar el Método Mandel para estas edades, se puede reflejar en la grafica obtenida, la variación en comparación con la de 7 días, ya que el aumento de la velocidad, ocurre en rangos de velocidades más cortos, es decir,

aumentando un poco la velocidad, aumenta considerablemente la resistencia. Esto no ocurre así en la curva para 7 días.

➤ Al inicio de la investigación, se plantearon dos dudas, que aunque no estaban enmarcadas como objetivos, eran de interés tanto para el investigador, como para la empresa. Una de las discusiones se baso en la influencia que tiene el uso de la broca para la extracción de núcleos, sobre la velocidad de pulso ultrasónico. Por tal motivo se recurrió a la *prueba t*, la cual se aplico a través del programa Excel, y arrojó como resultado, que la broca, estadísticamente, no afecta a la velocidad de pulso ultrasónico.

➤ La segunda incógnita que surgió, fue el porqué, valores de resistencia a compresión de 14 días, da valores igual o mayores a los obtenidos a los de 28 días, en algunos casos. Nuevamente se aplico la *prueba t*, la cual comprobó que estadísticamente estas resistencias son iguales. Esto se debe a que el crecimiento entre estas edades es inferior al error experimental del ensayo de resistencia a compresión, es decir, no hubo crecimiento entre dichas edades, y la diferencia se atribuye al error experimental.



## V.2. Recomendaciones

- A pesar de que las curvas han dado el comportamiento esperado, sería ideal la validación práctica de las mismas, es decir, su aplicación práctica, realizando ensayos de ultrasonido, extrayendo el core-drill y ensayando a compresión, para de esta manera observar cual es el porcentaje de error.
- Dado que esta investigación se basó en un diseño de mezcla específico, el uso de las curvas es exclusivo, sin embargo, se convierte en una opción útil para ser desarrollada en otros diseños de mezcla.
- Se recomienda la aplicación de la curva de correlación para la edad de 14 días y la eliminación de los ensayos destructivos a esta edad, ya que a esta edad no es exigida por norma, realizar el ensayo a compresión, en cambio, para la de 28 días si.
- Al realizar la *prueba t* se comprueba que estadísticamente la resistencia a los 14 días es igual a la de 28 días. Como se mencionó anteriormente, esto ocurre debido a que el crecimiento entre estas edades es inferior al error experimental del ensayo de resistencia a compresión, es decir, no hubo crecimiento entre dichas edades. En la norma ASTM E122 “Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process”, se plantea el cálculo de este error experimental, por tal sentido se recomienda el cálculo de este error, y verificar lo que se ha comprobado a través de la *prueba t*.

## REFERENCIAS

ACI 214.4R-03 *Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results.*

ACI 228.1 *In-Place Methods to Estimate Concrete Strength.*

Ander-Egg , E. (1983). *Técnicas de investigación social.* s.l. : el autor, D.L. 1983 (Alicante : Gráf. Díaz. ISBN 84-300-8931-4)

Arnal, E. (1984). *Concreto Armado.* (3ra Ed). Caracas, Venezuela. Editorial: Arte.

ASTM C1017 - 13e1 *Standard Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete.*

ASTM C42/C42M *Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete.*

ASTM C494 *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*

ASTM C597 *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.*

ASTM E122-00 *Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process.*

ASTM E178 *Standard Practice for Dealing With Outlying Observations.*

Babor, J y Ibarz J (1958). *Química General Moderna.* (4ta Ed). Ciudad de México: Editorial Nacional.

Balestrini, M. (2000). *Cómo se Elabora el Proyecto de Investigación*. Caracas; Servicio Editorial.

Bracamontes, R (2004). *El concreto Lanzado como sistema de Reparación*. Ciudad de México. Editorial IMCYC.

Cánovas, M. (1990). *Hormigón proyectado*. Madrid. Agrupación Nacional de Constructores de Obras.

COVENIN 1753-06 *Proyecto y construcción de obras en concreto estructural*. (1ra Revisión). Caracas, Venezuela: FONDONORMA.

COVENIN 1976-03 *Concreto. Evaluación y métodos de ensayo*.

COVENIN 2385 *Concreto y mortero. Agua de mezclado. Requisitos*.

COVENIN 264 *Método de ensayo para determinar el cociente entre la dimensión máxima y dimensión mínima en agregados gruesos para concreto*.

COVENIN 277-92 *Agregados. Especificaciones para la aceptación o rechazo de agregados para concreto*.

COVENIN 28-93 *Cemento Portland. Especificaciones*.

COVENIN 338:2002 *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*.

COVENIN 351 *Aditivos químicos utilizados en el concreto. Métodos de ensayos*.

COVENIN 3549-1999 *“Tecnología del Concreto. Manual de elementos de estadística y diseño de experimentos”*.

COVENIN 356-94 *Aditivos químicos utilizados en el concreto. Especificaciones.*

COVENINN 1681-80 *Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.*

Guido, G. (1985). *Concreto*. Valencia, Venezuela. Comunicaciones S.R.L.

Hernández, Fernández y Baptista (2003). *Metodología de la Investigación*. México, Editorial Mc Graw-Hill Internacional.

Melbye Tom (1994). *Shotcrete para Soporte de rocas*. Internacional Underground Construction Group. Degussa Construction Chemiclas.

Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. (12ª Ed). Bogota: McGraw-Hill.

Ornes, R. (1987). *Anotaciones generales sobre inspección de obras*. Fundación Juan José Aguerrevere. Caracas.

Porrero, J. y otros (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: SIDETUR.

Quiroz, M. y Salamanca, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de Tecnología del Hormigón*. Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

Rey, A. (2006). *Hormigón Proyectado, Dosificación, Fabricación y Puesta en Obra*. Departamento de Constructoras y Grandes Obras de SIKA, S.A. Madrid, España.

Ryan, T.F (1990). *Concreto Lanzado*. Ciudad de México: Editorial Limusa.

Sabino, C. (2001). *El proceso de investigación*. Bogotá: Ed. El Cid.

Spiegel, M. (1980). *Estadística*. Colombia, Editorial Andes.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica Fundamentos de investigación*. Bogotá: Ed. Limusa.

UNE 83-607-94. *Hormigón y mortero proyectados. Recomendaciones de utilización*.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006) *Manual de Trabajos de grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales*. ISBN 980-273-441-1. FEDUPEL.

Winter, G y Nilson, A. (1985). *El Hormigón Estructural*. Caracas: OMEGA.

Zambrano, A. y Márquez, J. (2008) *Estudio de la influencia del uso del aditivo acelerante del fraguado libre de álcalis en la resistencia del concreto proyectado para la construcción de los túneles del Metro de Caracas C.A.* Trabajo Especial de Grado Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, Caracas.

## ANEXOS

Anexo 1. Concreto Proyectado



Anexo 2. Excavación del túnel minero.



Fuente: Márquez y Zambrano (2008).

Anexo 3. Formaleta para viguetas.



Anexo 4. Perforadora tubular para la obtención de probetas cilíndricas.



Anexo 5. Prensa para ensayos a compresión de los núcleos.



Anexo 6. Sierra para cortar probetas cilíndricas hasta el tamaño adecuado para ensayos de resistencia a compresión.





Anexo 7. Formato para la vigueta y núcleos extraídos.

<b>VIGUETA N°</b>	
<b>Nombre de Vigueta</b>	
<b>Fecha de toma</b>	
<b>Ensayo 7 días</b>	
<b>Ensayo 14 días</b>	
<b>Ensayo 28 días</b>	

<b>Ensayo de ultrasonido a la vigueta</b>			
	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
<b>N° de Ensayo</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>		
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

<b>Ensayo de ultrasonido y compresión a los cilindros</b>					
<b>Cilindro N°</b>	<b>Edad (días)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>C (kgf)</b>	<b>R (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

**OBSERVACIONES**

---



---



---



---

Anexo 8. Toma de muestra (vigueta).



Anexo 9. Identificación de la vigueta



Anexo 10. Ensayo de ultrasonido sobre la vigueta.



Anexo 11. Extracción de los núcleos.



Anexo 12. Ensayo de ultrasonido en los núcleos.



Anexo 13. Ensayo a compresión.



Anexo 14. Valor de T critico.

TABLE 1 Critical Values for <i>T</i> (One-Sided Test) When Standard Deviation is Calculated from the Same Sample <sup>A</sup>						
Number of Observations, <i>n</i>	Upper 0.1 % Significance Level	Upper 0.5 % Significance Level	Upper 1 % Significance Level	Upper 2.5 % Significance Level	Upper 5 % Significance Level	Upper 10 % Significance Level
3	1.155	1.155	1.155	1.155	1.153	1.148
4	1.499	1.496	1.492	1.481	1.463	1.425
5	1.780	1.764	1.749	1.715	1.672	1.602
6	2.011	1.973	1.944	1.887	1.822	1.729
7	2.201	2.139	2.097	2.020	1.938	1.828
8	2.358	2.274	2.221	2.126	2.032	1.909
9	2.492	2.387	2.323	2.215	2.110	1.977
10	2.606	2.482	2.410	2.290	2.176	2.036

Fuente: ASTM E178-02 Estándar Practice for Dealing With Outlying Observations

Anexo 15. Núcleo en mala condición.



Anexo 15. Corte de probetas cilíndricas hasta el tamaño adecuado para el ensayo de resistencia a compresión.



Fuente: Zambrano (2008)

Anexo 16. Maquina de tambor rotatorio (Aliva)





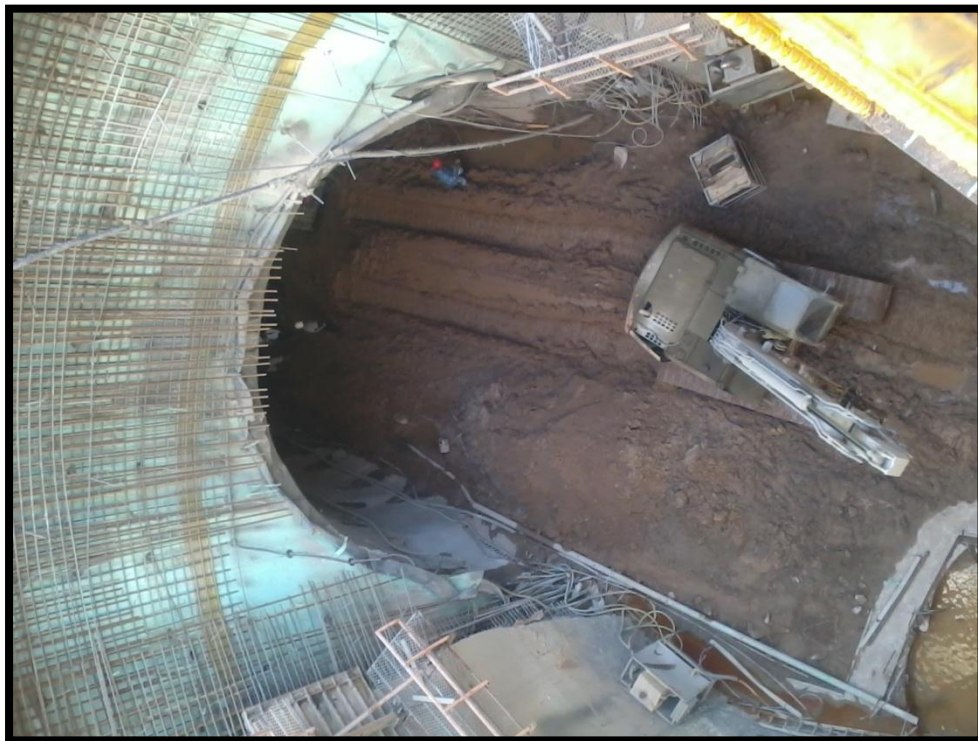
Anexo 17. Maquina de tambor rotatorio (Aliva)



Anexo 18. Antigua formaleta de vigueta.



Anexo 19. Foso de excavación, Solo aire, Túnel de ventilación.



Anexo 20. Foso de excavación, Solo aire, Túnel de ventilación.



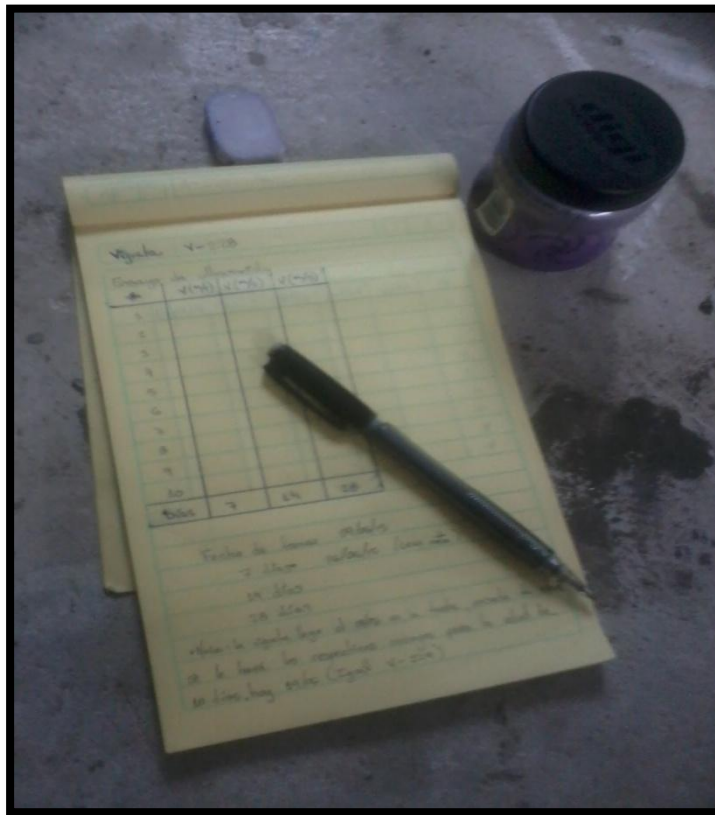
Anexo 21. Inspección del foso.



Anexo 22. Manguera para el concreto proyectado y para el aditivo.



Anexo 23. Cuaderno de anotaciones.



Anexo 24. Instrumento utilizado para el ensayo de ultrasonido.



Anexo 25. Instrumento utilizado para el ensayo de ultrasonido.



Anexo 26. Emisor y transmisor, ensayo de ultrasonido.

