

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS
MATERIALES



“CALIBRACIÓN DEL EQUIPO “ESCLERÓMETRO” CON LA
PRENSA ELECTRÓNICA Y APLICACIÓN EN LA
ESTRUCTURA DEL LABORATORIO DE FARMACOLOGÍA DE
LA UAJMS”

POR:

AGUSTIN ROMERO GUTIERREZ

SEMESTRE II - 2020
TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

Dedicado a mi madre y a mi padre,
María y Agustín.

ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
	Página
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. Antecedentes.....	2
1.1. El problema.....	2
1.1.1. Planteamiento de problema.....	2
1.1.2. Formulación.....	2
1.1.3. Sistematización.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Académica.....	4
1.3.2. Técnica.....	4
1.3.3. Social.....	5
1.4. Alcance.....	5
1.4.1. Alcance general.....	5
1.4.2. Hipótesis.....	6
1.4.3. Aporte académico.....	6
1.5. Aspectos metodológicos.....	6
1.5.1. Tipo de estudio.....	6

1.5.2.	Métodos.	7
1.5.3.	Normas.....	7
1.5.4.	Técnicas para la recolección y tratamiento de información.	7

CAPÍTULO II

2.	Fundamento teórico.	9
2.1.	El hormigón.....	9
2.2.	Materiales componentes empleados en la elaboración de hormigones.....	9
2.2.1.	Cemento hidráulico.....	9
2.2.2.	Áridos (Agregados).....	9
2.2.2.1.	Ubicación de los áridos para la investigación.	10
2.2.3.	Agua.....	11
2.3.	Propiedades del hormigón fresco.....	12
2.3.1.	Consistencia.....	12
2.3.2.	Docilidad.....	12
2.3.3.	Homogeneidad.....	14
2.3.4.	Masa específica.....	14
2.4.	Propiedades del hormigón endurecido.....	14
2.4.1.	Densidad.	15
2.4.2.	Compacidad.....	15
2.4.3.	Permeabilidad.	16
2.4.4.	Durabilidad.	17
2.4.5.	Resistencia.....	17
2.5.	Resistencia característica del hormigón.....	18
2.6.	Evolución de la resistencia del hormigón.	18

2.7. Dosificación del hormigón.....	19
2.7.1. Datos iniciales.....	20
2.7.2. Dosificación inicial.....	23
2.7.3. Mezclas de prueba.	25
2.8. Elaboración de probetas de hormigón.....	26
2.9. Ensayos destructivos.....	27
2.9.1. Ensayo de rotura a compresión de cilindros de hormigón.....	28
2.10. Extracción y ensayo de probetas testigo (nucleos).....	29
2.11. Ensayos no destructivos.	31
2.11.1. Métodos por resonancia.	31
2.11.2. Métodos por absorción o difusión de radioisótopos.	31
2.11.3. Métodos por velocidad de propagación.	32
2.11.4. Métodos esclerométricos.....	32
2.11.5. Métodos mixtos.....	32
2.12. Ensayos esclerométricos.....	33
2.13. Esclerómetro (martillo Schmidt).....	34
2.13.1. Tipos de esclerómetro (martillo Schmidt).....	35
2.13.2. Principio de funcionamiento del esclerómetro.....	35
2.13.3. Campo de aplicación.	37
2.13.4. Características del esclerómetro del laboratorio de la UAJMS.	38
2.13.5. Yunque de calibración.....	40
2.13.6. Procedimiento del ensayo.	40
2.13.7. Cálculo y validación de lecturas del ensayo.	41
2.13.8. Posiciones del equipo.....	41

2.13.9.	Variables que intervienen en el resultado de una determinación esclerométrica.....	42
2.13.10.	Correcciones de la resistencia estimada por el esclerómetro por la experiencia italiana.....	49
2.14.	Estadística.....	50
2.14.1.	Medida de posición media aritmética.	50
2.14.2.	Medida de dispersión	50
2.14.3.	Distribución de medidas y errores.....	50
2.14.4.	Teoría de muestras pequeñas.	51
2.14.5.	Relación entre dos variables.....	52
2.14.6.	Relación gráfica entre dos variables.	53
2.14.7.	Diagrama de dispersión.....	53
2.14.8.	Regresión.....	53
2.14.9.	Ajuste de curva.....	56
2.14.10.	Medida de la fuerza de relación.	57
2.14.10.1.	Análisis de correlación.	57
2.14.10.2.	Coefficiente de correlación.....	58
2.14.10.3.	Coefficiente de determinación.....	59
2.14.11.	Coefficiente de estimación (error típico) de una regresión lineal.	59

CAPÍTULO III

3.	Metodología experimental.....	61
3.1.	Dosificación del hormigón.....	61
3.1.1.	Caracterización de los materiales.	61
3.1.2.	Dosificación 21 Mpa. para calibración general.	62

3.1.3.	Dosificación 25 Mpa. para calibración general	64
3.1.4.	Dosificación 30 Mpa. para calibración general	66
3.2.	Elaboración de probetas de hormigón y curado.....	67
3.3.	Ensayo esclerométrico y de resistencia a compresión en probetas (Calibración general-agregado triturado).....	68
3.4.	Análisis de los datos y estadística descriptiva.....	70
3.5.	Análisis de la resistencia a compresión y dureza superficial en función de la edad del hormigón.	76
3.6.	Análisis de regresión para la calibración del esclerómetro.....	78
3.7.	Variación del índice esclerométrico por la edad del hormigón.....	82
3.8.	Estimación de la diferencia de rebote entre posición 0° y -90°.	82
3.9.	El número de rebote como indicador de calidad del hormigón.	86
3.10.	Variación del índice esclerométrico por agregado grueso de tipo rodado. ..	86
3.11.	Ensayo esclerométrico aplicado en la estructura del laboratorio de farmacología.....	94
3.12.	Comparación de los resultados calibrados, resultados sin calibrar y testigos de obra del laboratorio de farmacología.	98
3.13.	Análisis de uniformidad de columnas del laboratorio de farmacología.	99

CAPÍTULO IV

4.	Aporte Académico.....	101
4.1.	Resultados.....	101

CAPÍTULO V

5.	Conclusiones y Recomendaciones.....	102
5.1.	Conclusiones.....	102
5.2.	Recomendaciones.....	104

BIBLIOGRAFÍA..... 105

ANEXOS

Índice de Figuras

Página

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Ubicación de cantera del agregado grueso triturado.....	10
Figura 2.2 Ubicación de cantera de agregado grueso de canto rodado.....	11
Figura 2.3 Metodología gráfica en el diseño de mezclas según ACI 211.1	20
Figura 2.4 Relación entre $f'c$ y $f'cr$ en la dosificación del hormigón	21
Figura 2.5 Molde cilíndrico para elaboración de probetas Controls UAJMS.....	27
Figura 2.6 Prensa electrónica de rotura de probetas Controls UAJMS.....	29
Figura 2.7 Extracción de núcleo.....	30
Figura 2.8 Esquema del esclerómetro	36
Figura 2.9 Esclerómetro Controls UAJMS	38
Figura 2.10 Posición (-90°) esclerómetro	41
Figura 2.11 Posición (+90°) esclerómetro	42
Figura 2.12 Posición (0°) esclerómetro.....	42
Figura 2.13 Influencia del contenido y tamaño máximo del agregado sobre el índice esclerométrico	43
Figura 2.14 Relaciones entre resistencia a la compresión y numero de rebote con distintos agregados	44
Figura 2.15 Resistencia a compresión e índice esclerométrico influencia de los moldes	45
Figura 2.16 Influencia de la posición del aparato y condición de humedad de la superficie en lecturas de índice esclerométrico.....	48
Figura 2.17 Regresión lineal	54
Figura 2.18 Regresión múltiple.....	54
Figura 2.19 Regresión no lineal	55
Figura 2.20 Ajuste de curva	56
Figura 2.21 Escala de coeficiente de correlación.....	58
Figura 2.22 Escala de coeficiente de determinación.....	59

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Planilla de recolección de datos esclerometría en probetas.....	69
Figura 3.2 Puntos de análisis con esclerómetro en las probetas	69
Figura 3.3 Procesamiento estadístico de las lecturas del esclerómetro.....	70
Figura 3.4 Planilla de recolección de datos esclerometría en estructura lab. farmacología.....	97

Índice de Cuadros

Página

CAPÍTULO II

Cuadro 2.1 Resistencia a compresión sobre probetas del mismo tipo	19
Cuadro 2.2 Valores orientativos de la resistencia media en función de la resistencia característica.....	22
Cuadro 2.3 Máxima relación agua/cemento por durabilidad	23
Cuadro 2.4 Factor de correlación de resistencia según relación altura/diámetro del núcleo	30
Cuadro 2.5 Factor de corrección según la profundidad de carbonatación	46
Cuadro 2.6 Parámetro de la carbonatación	47
Cuadro 2.7 Lecturas de rebote según destreza del operario.....	49

CAPÍTULO III

Cuadro 3.1 Procedimiento de diseño ACI-211	61
Cuadro 3.2 Características de los materiales para calibración general	62
Cuadro 3.3 Datos iniciales de la dosificación 21 Mpa. para calibración general	62
Cuadro 3.4 Dosificación inicial 21 Mpa. para calibración general.....	63
Cuadro 3.5 Corrección por humedad dosificación 21Mpa. para calibración general.....	63
Cuadro 3.6 Datos iniciales de la dosificación 25 Mpa. para calibración general	64
Cuadro 3.7 Dosificación inicial 25 Mpa. para calibración general.....	64
Cuadro 3.8 Corrección por humedad dosificación 25 Mpa. para calibración general.....	65
Cuadro 3.9 Datos iniciales de la dosificación 30 Mpa. para calibración general	66
Cuadro 3.10 Dosificación inicial 30 Mpa. para calibración general.....	66
Cuadro 3.11 Corrección por humedad dosificación 30 Mpa. para calibración general.....	67
Cuadro 3.12 Estadística descriptiva de los datos (edad 3-7) calibración general	72

Cuadro 3.13 Estadística descriptiva de los datos (edad 7-28) calibración general	72
Cuadro 3.14 Resumen de datos calibración general 21 Mpa edad 3 a 7.....	73
Cuadro 3.15 Resumen de datos calibración general 21 Mpa edad 10 a 28.....	73
Cuadro 3.16 Resumen de datos calibración general 25 Mpa edad 3 a 7.....	74
Cuadro 3.17 Resumen de datos calibración general 25 Mpa edad 10 a 28.....	74
Cuadro 3.18 Resumen de datos calibración general 30 Mpa edad 3 a 7.....	75
Cuadro 3.19 Resumen de datos calibración general 30 Mpa edad 10 a 28.....	75
Cuadro 3.20 Ecuaciones de regresión para calibración general posición (-90°).....	80
Cuadro 3.21 Ecuaciones concluyentes de calibración general posición (-90°)	80
Cuadro 3.22 Datos para diferencia de posiciones	83
Cuadro 3.23 Valores de rebote y resistencia a compresión curvas (-90°) y (0°)	84
Cuadro 3.24 Calidad del hormigón según el número de rebote (R) posición (0°).....	86
Cuadro 3.25 Resumen de datos probetas canto rodado dosificación 21 Mpa.....	87
Cuadro 3.26 Resumen de datos probetas canto rodado dosificación 25 Mpa.....	87
Cuadro 3.27 Resumen de datos probetas canto rodado dosificación 30 Mpa.....	88
Cuadro 3.28 Estadística descriptiva de los datos probetas canto rodado (edad 3-7) ..	89
Cuadro 3.29 Estadística descriptiva de los datos probetas canto rodado (edad 7-28)	90
Cuadro 3.30 Variación de resultados por agregado grueso de canto rodado edad 3-7.....	91
Cuadro 3.31 Variación de resultados por agregado grueso de canto rodado edad 7-28.....	92
Cuadro 3.32 Comparación de resultados del esclerómetro en estructura lab. farmacología.....	98
Cuadro 3.33 Valores de N° de rebote (R) por sector en columnas del lab. farmacología.....	99

CAPÍTULO IV

Cuadro 4.1 Ecuaciones de calibración esclerómetro 58-C181/N1 (358) AGT.....	101
Cuadro 4.2 Ecuaciones de calibración esclerómetro 58-C181/N1 (358) AGCR.....	101

Índice de Gráficos

Página

CAPÍTULO III

Gráfico 3.1 Edad vs resistencia a compresión dosificación 21Mpa.....	76
Gráfico 3.2 Edad vs número de rebote (R) dosificación 21 Mpa.....	76
Gráfico 3.3 Edad vs número de rebote (R) dosificación 25 Mpa.....	77
Gráfico 3.4 Edad vs número de rebote (R) dosificación 30 Mpa.....	77
Gráfico 3.5 Curva calibración general edad 3-7 días posición (-90°).....	78
Gráfico 3.6 Curva calibración general edad 7-28 días posición (-90°).....	78
Gráfico 3.7 Curva calibración general ASTM c805 edad 3-7 días posición (-90°)....	79
Gráfico 3.8 Curva calibración general ASTM c805 edad 7-28 días posición (-90°)..	79
Gráfico 3.9 Curva calibración general (-90°) vs curva de fábrica (-90°) del esclerómetro	81
Gráfico 3.10 Curva variación número de rebote por edad	82
Gráfico 3.11 Curva de calibración general edad 3-7 días según posición	85
Gráfico 3.12 Curva de calibración general edad 7-28 días según posición	85
Gráfico 3.13 Número de rebote vs Fc' agregado grueso canto rodado edad 3-7.....	89
Gráfico 3.14 Número de rebote vs Fc' agregado grueso canto rodado edad 7-28.....	90
Gráfico 3.15 Relación número de rebote y resistencia a compresión agregado grueso triturado vs rodado edad 3-7 días.....	93
Gráfico 3.16 Relación número de rebote y resistencia a compresión agregado grueso triturado vs rodado edad 7-28 días.....	93
Gráfico 3.17 Análisis de uniformidad N° de rebote (R) columnas lab. farmacología.....	100

Índice de Anexos

Anexo 1. Matriz PCES.

Anexo 2. Cuadros para cálculo de dosificación.

Anexo 3. Planillas de ensayos de laboratorio de caracterización de materiales agregado grueso triturado.

Anexo 4. Planillas de ensayos de laboratorio de caracterización de materiales agregado grueso canto rodado y dosificación.

Anexo 5. Planillas de datos y procesamiento estadístico de las lecturas de esclerometría y resistencia a compresión en probetas para calibración general (agregado grueso triturado).

Anexo 6. Planillas de datos y procesamiento estadístico de las lecturas de esclerometría y resistencia a compresión en probetas para variación por tipo de agregado grueso (canto rodado).

Anexo 7. Planos ASBUILT laboratorio de farmacología.

Anexo 8. Planillas de ensayos de esclerometría en estructura del laboratorio de farmacología.

Anexo 9. Informes de ensayos de muestras de hormigón del laboratorio de farmacología.

Anexo 10. Fotografías de los ensayos en laboratorio y en campo.

Anexo 11. Manual de instrucciones 58-C0181/N CONTROLS.

Anexo 12. Norma ASTM c 805 02.

Anexo 13. Distribución t de Student y valores percentiles (tp) para la distribución t de Student.

Anexo 14. Informes de calibración de la prensa electrónica.