



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

"OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO vs RESISTENCIA A COMPRESIÓN (F'_c) MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE AGUA MAGNETIZADA EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO"

TESIS QUE PRESENTA I.C. VÍCTOR OSVALDO CORTÉS VÁZQUEZ PARA
OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON
ESPECIALIDAD EN ESTRUCTURAS

DIRECTOR

DR. JOSÉ ÁNGEL ORTIZ LOZANO

ASESOR INTERNO

DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA

ASESOS EXTERNO

DRA. AHIZA MARTINEZ ROMO

AGUASCALIENTES, MÉXICO. DICIEMBRE 2025

Fecha de dictaminación (dd/mm/aaaa): 27/11/2025

NOMBRE: Víctor Osvaldo Cortés Vázquez ID: 205451

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil LGAC (del posgrado): Estructuras y Construcción

MODALIDAD DEL PROYECTO DE GRADO: Tesis (X) *Tesis por artículos científicos () **Tesis por Patente () Trabajo Práctico ()

TÍTULO: Optimización de la relación agua/cemento vs resistencia a compresión (F C) mediante la inclusión de agua magnetizada en la elaboración de elementos de concreto.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Es Desarrollo Social Sostenible. El proceso de magnetización del agua durante la elaboración de elementos de concreto genera una mayor resistencia a compresión, lo que concluye en menor cantidad de cemento; Ahorro en consumo de materiales, ahorro económico y mejora en la calidad. Esto conduce a producir elementos más óptimos; disminuyendo la huella ambiental y siendo más accesibles para toda la población; mejorando las condiciones de vida haciendo posible el acceso a vivienda digna.

INDICAR SEGÚN CORRESPONDA: SI, NO, NA (No Aplica)

<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>	
SI.	El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI.	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI.	Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI.	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI.	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI.	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI.	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO.	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI.	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antipLAGIO)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>	
SI.	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Posgrados
SI.	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc.)
SI.	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial
NA.	Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario (En caso de que corresponda)
SI.	Coincide con el título y objetivo registrado
SI.	Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI.	Tiene el CVU de la SECIHTI actualizado
NA.	Tiene el o los artículos aceptados o publicados y cumple con los requisitos institucionales (en caso de que proceda)
<i>*En caso de Tesis por artículos científicos publicados (completar solo si la tesis fue por artículos)</i>	
NA.	Aceptación o Publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto según el nivel del programa
NA.	El (la) estudiante es el primer autor(a)
NA.	El (la) autor(a) de correspondencia es el Director (a) del Núcleo Académico
NA.	En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
NA.	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
<i>**En caso de Tesis por Patente</i>	
NA.	Cuenta con la evidencia de solicitud de patente en el Departamento de Investigación (anexarla al presente formato)

Con base en estos criterios, se autoriza continuar con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Si X
No _____

Elaboró:

*NOMBRE Y FIRMA DEL(LA) CONSEJERO(A) SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCION:

*En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NA de la LGAC correspondiente distinto al director o miembro del Comité tutorial, asignado por el Decano.

NOMBRE Y FIRMA DEL COORDINADOR DE POSGRADO:

FIRMAS
DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA

DR. MARIO EDUARDO ZERMENO DE LEÓN

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. MARIO ERNESTO ESPARZA DÍAZ DE LEÓN

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

MTRA. EN INGLAMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 2A fracción V del Reglamento General de Posgrado, que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Proponer criterios y mecanismos de selección, permanencia, egreso y titulación de estudiantes para asegurar la eficiencia terminal y la titulación y el Art. 2B fracción IX, atender, asesorar y dar el seguimiento del estudiantado desde su ingreso hasta su titulación.

Elaborado por: D. Apoyo al Posg.

Revisado por: D. Control Escolar/D. Gestión de Calidad

Aprobado por: D. Control Escolar/ D. Apoyo al Posg.

Código: DO-SEE-FO-15

Actualización: 02

Emisión: 12/08/25

M. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T E

Por medio del presente como **DIRECTOR** designado del estudiante **VÍCTOR OSVALDO CORTÉS VÁZQUEZ** con ID 205451 quien realizó la tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN (F'C) MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE AGUA MAGNETIZADA EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 19 de Noviembre de 2025.


Dr. José Ángel Ortiz Lozano
Director de tesis

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CARTA DE VOTO APROBATORIO

Mtra. en Ing. Amb. Ma. Guadalupe Lira Peralta
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T E

Por medio del presente como **ASESOR** designado del estudiante **VICTOR OSVALDO CORTÉS VÁZQUEZ** con ID 205451 quien realizó la tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN (F'C) MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE AGUA MAGNETIZADA EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 19 de NOVIEMBRE de 2025


DR. MIGUEL ÁNGEL SOTO ZAMORA
ASESOR

T.C.P.: Interesado
T.C.P.: Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado
Revisado por: Depto. Control Escolar/Dept. Gestión Integral
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado

Código: DO-SEE FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
CARTA DE VOTO APROBATORIO

Mtra. en Ing. Amb. Ma. Guadalupe Lira Peralta
DECANO (A) DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTE

Por medio del presente como ASESOR designado del estudiante VICTOR OSVALDO CORTÉS VÁZQUEZ con ID 205451 quien realizó la tesis titulada: **OPTIMIZACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO VS RESISTENCIA A COMPRESIÓN (F'C) MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE AGUA MAGNETIZADA EN LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“Se Lumen Proferre”
Aguascalientes, Ags., a 19 de NOVIEMBRE de 2025



DRA. AHIZA MARTÍNEZ ROMO
ASESOR

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Dept. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.

Código: DO-SEE-FO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Índice temático

Índice temático.....	1
Índice general.....	1
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
APARTADO I. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.1 Antecedentes del problema	13
1.2 Planteamiento del problema	14
1.3 Descripción empírica del contexto actual	15
1.4 Preguntas que orientan la investigación	16
1.5 Objetivo general de la investigación	17
1.6 Objetivos específicos de la investigación	17
1.7 Justificación	18
1.8 Hipótesis	19
APARTADO II. ESTADO DEL ARTE	20
2.1 Efecto del campo magnético alterno sobre la resistencia a la compresión del hormigón de agregado fino	21
2.2 Efecto del agua magnetizada sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de concreto	22
2.3 Efecto del tratamiento con campo magnético estático sobre el hormigón fresco y el potencial de reducción de agua	24
2.4 Investigación del efecto de la inserción magnética de agua y fibra de polietileno en la mezcla de hormigón	24
2.5 Investigación de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto mezclado con agua expuesta a un campo magnético	26
2.6 Efecto de las características del agua magnetizada sobre agua dulce y endurecida sobre las propiedades del hormigón autocompactante	27
2.7 Efecto del tratamiento magnético del agua de mezclado sobre el comportamiento de materiales a base de cemento: una revisión	29
2.8 Efecto del agua magnetizada sobre la resistencia a la compresión y Dosificación de Superplastificantes y Agua en concreto Autocompactante	30
2.9 Una investigación sobre las propiedades frescas y endurecidas de concreto autocompactante que incorpora agua magnética con varios materiales puzolánicos	31
2.10 Investigación de las propiedades técnicas del hormigón armado con fibras de acero expuesto a un campo magnético homogéneo	32
2.11 "Efecto del agua magnética sobre las propiedades técnicas de Concreto"....	33
2.12 Comportamiento de vigas de concreto pretensado utilizando agua magnética para mezclar concreto	34

2.13 Formulación y caracterización físico-mecánica de un compuesto de Eco-mortero a base de cenizas de fondo y agua magnetizada	36
2.14 Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón mediante tratamiento con campo magnético estático	37
2.15 Influencia del agua magnética en las propiedades del concreto con diferentes tiempos de exposición al campo magnético	38
2.16 Efectos de los campos magnéticos estáticos sobre las condiciones físicas, mecánicas y propiedades microestructurales de las pastas de cemento.	39
2.17 Efecto del agua magnética sobre las propiedades técnicas del concreto que contiene escoria granulada de alto horno	40
2.18 Efecto del campo magnético del agua tratada sobre el mortero y concreto que contiene cenizas volantes	41
2.19 Influencia del campo magnético en las propiedades físico-químicas del Agua líquida: conocimientos de modelos experimentales y teóricos.	42
2.20 Un estudio para mejorar la resistencia a la compresión de mortero cementoso que utiliza agua magnética	42
2.21 Preparación de agua activada eléctrica y magnéticamente y sus Influencia en la trabajabilidad y propiedades mecánicas de mortero de cemento	44
2.22 Efecto de las condiciones de magnetización sobre el asentamiento y la resistencia a compresión del concreto con agua magnetizada	45
APARTADO III. MARCO TEÓRICO	49
3.1 Marco Teórico	50
3.1.1 Propiedades físicas y químicas del concreto	50
3.1.1.1 Relación agua/cemento	50
3.1.1.2 Porosidad	54
3.1.1.3 Microagrietamiento	57
3.1.1.4 Calor de hidratación	58
3.1.1.5 Módulo de elasticidad	60
3.1.1.6 Características esfuerzo-deformación del concreto simple	61
3.1.1.7 Índices de resistencia	64
3.1.1.8 Comportamiento, modos de falla y resistencia de elementos sujetos a compresión axial	64
3.1.1.9 Efectos del tiempo en el concreto endurecido	67
3.1.1.10 Comportamiento y modos de falla de elementos sujetos a flexión simple (Precedente al cálculo de módulo de resistencia)	69
3.1.1.11 Composición química del cemento portland	70
3.1.1.12 Curado del concreto	71
3.1.2 Control de procesos	72
3.1.2.1 Evaluación de datos	72
3.1.2.2 Control de calidad	74
3.1.3 El agua	75
3.1.3.1 El agua en México	75
3.1.3.2 El efecto de los campos magnéticos en el agua	76

3.1.4 Campos magnéticos	79
3.1.4.1 Fundamentos del magnetismo	79
3.1.5 Normatividad aplicable	83
3.1.5.1 NMX de concreto y elementos prefabricados	83
3.1.5.2 ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete	85
3.1.5.3 ACI 302.1R-15: Guide to Concrete Floor and Slab Construction - Resumen con Énfasis en el Proceso de Curado	87
3.1.5.4 NMX-C-083-ONNCCE-2014: Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes de Concreto	89
3.1.5.5 NMX-C-414-ONNCCE-2017: Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Especificaciones y Métodos de Ensayo	89
3.1.5.6 NMX-C-165-ONNCCE-2013: Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico – Requisitos	90
3.1.5.7 NMX-C-156-ONNCCE-2010: Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos	90
3.1.5.8 NMX-C-162-ONNCCE-2014: Industria de la Construcción - Agregados - Determinación del Peso Volumétrico de los Agregados	90
3.1.5.9 NMX-C-087-ONNCCE-2010: Industria de la Construcción - Agregados - Determinación del Contenido de Humedad Superficial de los Agregados	91
3.1.5.10 NMX-C-129-ONNCCE-2013: Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad y la Absorción de los Agregados Finos y Gruesos..	91
APARTADO IV. PLANTEAMIENTO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL	92
4.1 Enfoque de la investigación	93
4.2 Tipo de investigación por su alcance	95
4.3 Diseño de la investigación	95
4.4 Muestra	96
4.5 Campaña experimental	97
4.5.1 Proceso de Elaboración de Cilindros de Concreto con Diferentes Resistencia y Condiciones de Curado	97
4.5.2 Espectroscopía Raman	106
APARTADO V. DESARROLLO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL	109
5.1 Descripción general del uso de los datos	110
5.2 Descripción minuciosa de datos recabados	113
5.3 Descripción minuciosa de datos recabados en espectroscopía Raman	153
APARTADO VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS / CONCLUSIONES.....	162
6.1 Discusión de los datos recabados	163
6.2 Conclusiones	169
6.3 Verificación del cumplimiento de los objetivos de la investigación	170
6.4 Recomendaciones del tema para futuras investigaciones	172
REFERENCIAS	173

Índice de figuras

Figura 1	Diagramas esfuerzo-deformación cuando AMF es 0 y 0,5 T	22
Figura 2	Detalle de mezclas para pruebas de resistencia a compresión	23
Figura 3	Resultados de pruebas a compresión a 7 y 28 días, de las distintas mezclas respectivamente	23
Figura 4	Variación de la resistencia a la compresión con diferentes grados de magnetización	25
Figura 5	Comparativo de la resistencia a la compresión de 3 muestras distintas sometidas a campos magnéticos (NMNC: Concreto hecho con agua potable y curado con agua potable, MMNC: Concreto hecho con agua magnetizada y curado con agua potable, MMMC: Concreto hecho con agua magnetizada y curado con agua magnetizada)	27
Figura 6	Efecto del agua magnetizada en la resistencia a compresión con distintas relaciones de agua cemento A/C	28
Figura 7	Efecto del agua magnetizada en la resistencia a tensión con distintas relaciones de agua cemento A/C	28
Figura 8	Efecto del agua magnetizada en la resistencia a flexión con distintas relaciones de agua cemento A/C	29
Figura 9	Relación agua-cemento (A/C) Vs aumento de la resistencia a compresión en 7 y 28 días	31
Figura 10	Absorción de agua y porosidad permeable en muestras	33
Figura 11	Relación de resistencia a la compresión Vs caudal de agua magnetizada y velocidad del agua sometida al campo magnético ..	34
Figura 12	Resistencia a la compresión con agua magnetizada y agua común ..	35
Figura 13	Resistencia a la flexión con agua magnetizada y agua común ..	35
Figura 14	Resistencia a la compresión de los morteros con 10% de ceniza sin y con agua magnetizada	36
Figura 15	Resistencia a la compresión Vs intensidad de campo magnético sobre el elemento de concreto	37
Figura 16	Resistencia a la compresión Vs días de curado en elementos de concreto sin inducción a campo magnético y con 60 minutos de campo magnético	38
Figura 17	Resistencia a la compresión Vs edad con distintos grados de campo magnetoestático	39
Figura 18	Resistencia a la compresión Vs Fuerza de campo magnético	40
Figura 19	Resistencia a la compresión Vs Fuerza de campo magnético	41
Figura 20	Efecto de agua magnetizada sobre la resistencia a compresión del mortero	43
Figura 21	Resistencia mecánica de mortero preparado con agua activada magnéticamente con diferentes edades de curado bajo la influencia de la intensidad del campo magnético y los ciclos de procesamiento: (a) resistencia a la compresión y (b) resistencia a la flexión.....	44

Figura 22	Variación del PH bajo diferentes intensidades de campo magnético aplicado al agua usada en la mezcla de concreto	45
Figura 23	Variaciones en la conductividad de agua magnetizada con el tiempo de magnetización bajo diferentes velocidades de flujo de agua: (a) 0,5 m/s, (b) 0,6 m/s, (c) 0,7 m/s, y (d) variaciones en la conductividad de TW después de 210 min de tratamiento de magnetización.....	46
Figura 24	Resistencia a la compresión del hormigón magnetizado a los 3, 7 y 28 días bajo diferentes velocidades de flujo de agua en función del campo magnético. Intensidad: (a) 0,7 m/s, (b) 0,6 m/s, (c) 0,5 m/s, (d) la tasa de aumento de la resistencia a la compresión varía con el tiempo de curado	47
Figura 25	Representación esquemática que muestra la accesibilidad de agua común dentro de partículas de concreto, y (b) representación esquemática de la accesibilidad de agua magnetizada dentro de las partículas de concreto	48
Figura 26	Ecuación de relación entre esfuerzo a compresión y relación agua/cemento	51
Figura 27	Relación entre la resistencia a compresión Vs relación agua/cemento, concreto hecho con cemento portland, resistencia a 7 días	51
Figura 28	Relaciones de resistencia a compresión VS relación agua cemento	53
Figura 29	Relación de porosidad-resistencia-relación agua/cemento	54
Figura 30	Relación entre resistencia a la compresión y logaritmo de porosidad de compactos de pasta de cemento para diversos tratamientos de presión y alta temperatura	55
Figura 31	Representación esquemática que muestra la accesibilidad de agua común dentro de partículas de concreto, y (b) representación esquemática de la accesibilidad de agua magnetizada dentro de las partículas de concreto	56
Figura 32	Caracterización de la porosidad de los hidratados, modelo de hidratación en la microestructura del concreto	56
Figura 33	Evolución del calor como función del tiempo para pasta de cemento	59
Figura 34	Gráfica esfuerzo vs deformación (la pendiente del tramo recto representa el valor constante del módulo de elasticidad)	60
Figura 35	Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración	62
Figura 36	Aspectos fundamentales del concreto reforzado, 2005, p. 33 Falla en compresión de un cilindro de concreto	63
Figura 37	Curva típica deformación-tiempo, bajo condiciones ambientales constantes	68
Figura 38	Cambio en las propiedades mecánicas del concreto respecto a su edad	68
Figura 39	Diagrama para estudio de módulo de ruptura	69

Figura 40	Compuestos principales del cemento portland	71
Figura 41	Ecuación de la deviación estándar	73
Figura 42	Gráfica A datos poco dispersos Vs gráfica B datos muy dispersos.	73
Figura 43	Ruta de la investigación cuantitativa	93
Figura 44	Resultados de ensayo con combinación de parámetros A	114
Figura 45	Resultados de ensayo con combinación de parámetros B	115
Figura 46	Resultados de ensayo con combinación de parámetros D	116
Figura 47	Resultados de ensayo con combinación de parámetros I	117
Figura 48	Resultados de ensayo con combinación de parámetros J	118
Figura 49	Resultados de ensayo con combinación de parámetros L	119
Figura 50	Resultados de ensayo con combinación de parámetros S	120
Figura 51	Resultados de ensayo con combinación de parámetros T	121
Figura 52	Resultados de ensayo con combinación de parámetros U	122
Figura 53	Resultados de ensayo con combinación de parámetros W	123
Figura 54	Resultados de ensayo con combinación de parámetros C	124
Figura 55	Resultados de ensayo con combinación de parámetros E	125
Figura 56	Resultados de ensayo con combinación de parámetros F	126
Figura 57	Resultados de ensayo con combinación de parámetros G	127
Figura 58	Resultados de ensayo con combinación de parámetros H	128
Figura 59	Resultados de ensayo con combinación de parámetros K	129
Figura 60	Resultados de ensayo con combinación de parámetros M	130
Figura 61	Resultados de ensayo con combinación de parámetros N	131
Figura 62	Resultados de ensayo con combinación de parámetros O	132
Figura 63	Resultados de ensayo con combinación de parámetros P	133
Figura 64	Resultados de ensayo con combinación de parámetros Q	134
Figura 65	Resultados de ensayo con combinación de parámetros R	135
Figura 66	Ensaya a compresión axial de cilindros A1-1 y A1-2	136
Figura 67	Ensaya a compresión axial de cilindros A2-1 y A2-2	136
Figura 68	Ensaya a compresión axial de cilindros A3-1 y B1-1	137
Figura 69	Ensaya a compresión axial de cilindros B1-2 y B2-1	137
Figura 70	Ensaya a compresión axial de cilindros B2-2 y B3-2	138
Figura 71	Ensaya a compresión axial de cilindros C2-1 y C2-2	138
Figura 72	Ensaya a compresión axial de cilindros C3-1 y C3-2	139
Figura 73	Ensaya a compresión axial de cilindros D1-1 y D1-1 ^a	139
Figura 74	Ensaya a compresión axial de cilindros D2-1 y D2-N	140
Figura 75	Ensaya a compresión axial de cilindros D1-3 y D1-3M	140
Figura 76	Ensaya a compresión axial de cilindros E1-1 y E2-1	141
Figura 77	Ensaya a compresión axial de cilindros E3-1 y E1-3	141
Figura 78	Ensaya a compresión axial de cilindros F1-1 y F2-1	142
Figura 79	Ensaya a compresión axial de cilindros F1-3 y G1-1	142
Figura 80	Ensaya a compresión axial de cilindros G1-2 y G1-3	143

Figura 81	Ensayo a compresión axial de cilindros H1-1 y H1-2	143
Figura 82	Ensayo a compresión axial de cilindros H1-3 y I1-1	144
Figura 83	Ensayo a compresión axial de cilindros I1-2 y I1-3	144
Figura 84	Ensayo a compresión axial de cilindros J1-1 y J1-2	145
Figura 85	Ensayo a compresión axial de cilindros J1-3 y K1-1	145
Figura 86	Ensayo a compresión axial de cilindros K1-2 y L1-1	146
Figura 87	Ensayo a compresión axial de cilindros L1-2 y M1-1	146
Figura 88	Ensayo a compresión axial de cilindros M1-2 y M1-3	147
Figura 89	Ensayo a compresión axial de cilindros N1-1 y N1-3	147
Figura 90	Ensayo a compresión axial de cilindros O1-1 y O1-2	148
Figura 91	Ensayo a compresión axial de cilindros O1-3 y P1-1	148
Figura 92	Ensayo a compresión axial de cilindros P1-2 y P1-3	149
Figura 93	Ensayo a compresión axial de cilindros Q1-1 y Q1-2	149
Figura 94	Ensayo a compresión axial de cilindros R1-1 y R1-3	150
Figura 95	Ensayo a compresión axial de cilindros S1-2 y S1-3	150
Figura 96	Ensayo a compresión axial de cilindros T1-2 y T1-3	151
Figura 97	Ensayo a compresión axial de cilindros F1-3 y G1-1	151
Figura 98	Ensayo a compresión axial de cilindros U1-3 y W1-1	152
Figura 99	Ensayo a compresión axial de cilindros W1-2 y W1-3	152
Figura 100	Prueba Raman $F'c= 150 \text{ kg/cm}^2$	155
Figura 101	Prueba Raman $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$	156
Figura 102	Prueba Raman 455nm $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$	158
Figura 103	Prueba Raman 455nm $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$	160
Figura 104	Gráficas de ensayos a compresión diseñados con $F'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días	165
Figura 105	Gráficas de ensayos a compresión diseñados con $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días	166
Figura 106	Prueba Raman 455nm $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$	167

Índice de tablas

Tabla 1	Características del enfoque cuantitativo	94
Tabla 2	Requisitos, condiciones necesarias o características de los experimentos	96
Tabla 3	Ensayo con combinación de parámetros A	114
Tabla 4	Ensayo con combinación de parámetros B	115
Tabla 5	Ensayo con combinación de parámetros D	116
Tabla 6	Ensayo con combinación de parámetros I	117
Tabla 7	Ensayo con combinación de parámetros J	118
Tabla 8	Ensayo con combinación de parámetros L	119
Tabla 9	Ensayo con combinación de parámetros S	120
Tabla 10	Ensayo con combinación de parámetros T	121
Tabla 11	Ensayo con combinación de parámetros U	122
Tabla 12	Ensayo con combinación de parámetros W	123
Tabla 13	Ensayo con combinación de parámetros C	124
Tabla 14	Ensayo con combinación de parámetros E	125
Tabla 15	Ensayo con combinación de parámetros F	126
Tabla 16	Ensayo con combinación de parámetros G	127
Tabla 17	Ensayo con combinación de parámetros H	128
Tabla 18	Ensayo con combinación de parámetros K	129
Tabla 19	Ensayo con combinación de parámetros M	130
Tabla 20	Ensayo con combinación de parámetros N	131
Tabla 21	Ensayo con combinación de parámetros O	132
Tabla 22	Ensayo con combinación de parámetros P	133
Tabla 23	Ensayo con combinación de parámetros Q	134
Tabla 24	Ensayo con combinación de parámetros R	135
Tabla 25	Resultados de prueba Raman $F'c= 150 \text{ kg/cm}^2$	155
Tabla 26	Resultados de prueba Raman $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$	157
Tabla 27	Resultados de prueba Raman 455nm $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$	158
Tabla 28	Resultados de prueba Raman 455nm $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$	160

RESUMEN

El presente estudio analiza la optimización de la relación agua/cemento y su influencia en la resistencia a compresión del concreto mediante la inclusión de agua magnetizada tanto en la elaboración de las mezclas como en el proceso de curado. Se empleó un enfoque cuantitativo, experimental y correlacional, mediante la fabricación de elementos de concreto con diferentes relaciones agua/cemento y el uso de agua común, destilada y magnetizada, evaluando sus efectos sobre la resistencia mecánica, la microestructura y el comportamiento físico-químico del material.

Los resultados obtenidos demuestran que la magnetización del agua no genera efectos significativos cuando se utiliza en la elaboración del concreto fresco, debido a la pérdida de energía magnética provocada por el contacto con materiales metálicos durante el mezclado. Sin embargo, su aplicación durante el curado sí produce mejoras notables, evidenciándose incrementos en la resistencia a compresión, mayor capacidad de adsorción de agua y una modificación positiva en el proceso de carbonatación. Asimismo, se observó la formación de una capa superficial de materiales floculados, que indica una reducción de impurezas minerales, contribuyendo a una mayor pureza del concreto.

El análisis microestructural mediante espectroscopía Raman confirmó cambios en la composición interna del material, relacionados con una densificación del gel hidratado. Estos resultados permiten aceptar las hipótesis planteadas: la inclusión de agua magnetizada mejora las propiedades mecánicas del concreto y posibilita una reducción en el consumo de cemento, derivando en menores costos de producción sin comprometer la calidad. Se concluye que esta técnica es aplicable únicamente en entornos controlados, como plantas de prefabricados.

Palabras Clave: Concreto, resistencia a la compresión, campo magnético, reducción de cemento, agua magnetizada, propiedades mecánicas, magnetización de concreto fresco.

ABSTRACT

This research examines the optimization of the water–cement ratio and its impact on the compressive strength of concrete through the use of magnetized water both in mix preparation and curing. A quantitative, experimental, and correlational approach was employed, producing concrete specimens with different water–cement ratios using regular, distilled, and magnetized water. The effects on mechanical strength, microstructural development, and physicochemical behavior were then evaluated.

The findings indicate that magnetized water does not produce significant effects when used during concrete mixing, as the weak magnetic energy is lost upon contact with metallic components involved in batching. However, its use during curing generates clear improvements, including higher compressive strength, increased water adsorption, and noticeable changes in the carbonation process. Additionally, the presence of a surface layer of flocculated minerals during curing suggests a reduction of impurities, contributing to greater material purity.

Microstructural analysis using Raman spectroscopy confirmed favorable modifications in the internal structure, likely associated with enhanced hydration products and a denser C–S–H gel. These results support the proposed hypotheses: magnetized water positively influences the mechanical performance of concrete and allows a reduction in cement consumption, thus lowering production costs while maintaining quality standards.

The study concludes that magnetized water curing represents a viable method only under controlled conditions, such as in precast manufacturing facilities. This technique offers potential benefits for improving efficiency, reducing resource consumption, and promoting sustainable practices in the concrete industry.

Keywords: Concrete, compressive strength, magnetic field, cement reduction, magnetized water, mechanical properties, fresh concrete magnetization.

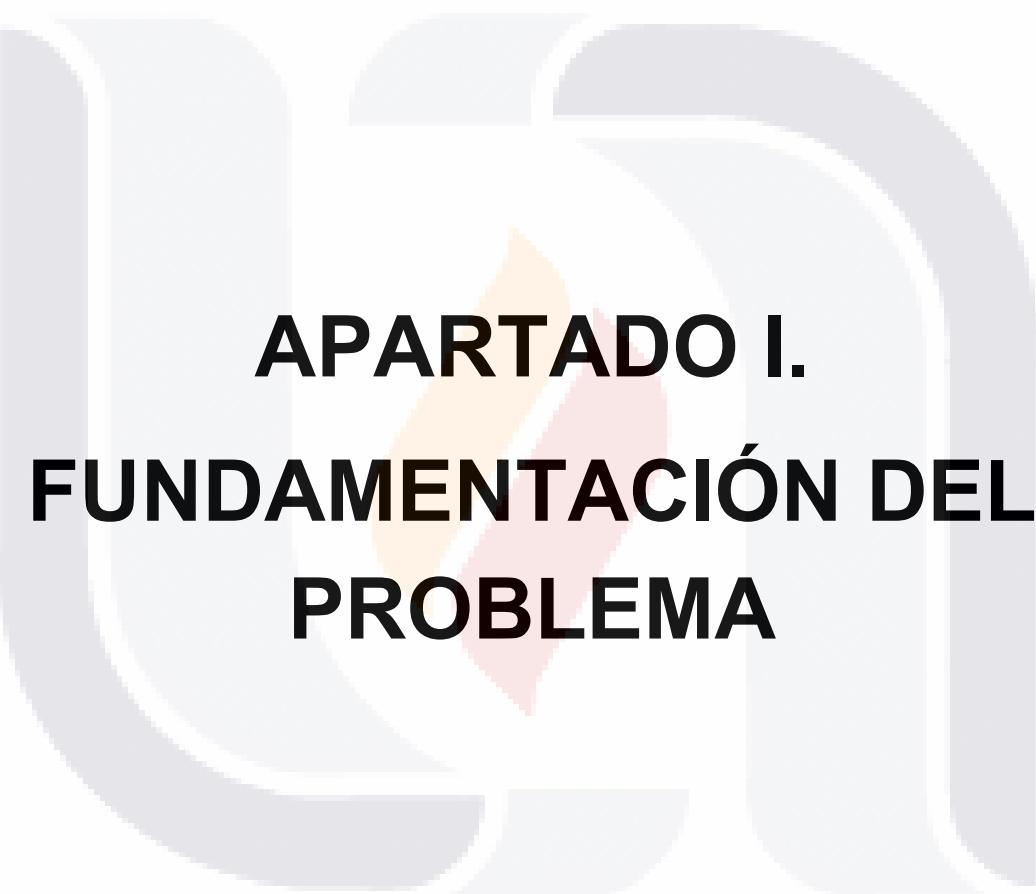
INTRODUCCIÓN

El propósito de la tesis presentada es fomentar el desarrollo de tecnologías y procesos óptimos en la industria, a través de una búsqueda continua de innovaciones que mejoren la calidad y eficiencia de los materiales tanto puros como compuestos.

En este marco, la optimización de la relación agua/cemento y su efecto en el esfuerzo a compresión (F'_c) constituye un área clave para la investigación. Mantener una proporción adecuada entre agua y cemento es esencial para asegurar la resistencia, durabilidad y trabajabilidad del concreto. Asimismo, la adición de agua magnetizada durante el proceso de producción de elementos de concreto simple presenta una oportunidad prometedora para mejorar significativamente las propiedades finales del material. Por lo tanto, estos métodos alternativos no solo pretenden optimizar la relación agua/cemento, sino también impactar en la microestructura y las propiedades mecánicas del concreto. Esto podría resultar en una mayor resistencia a la compresión, mejor durabilidad, reducción en los efectos adversos del uso del agua convencional y disminución del tiempo de fraguado. Adicionalmente, la utilización de agua magnetizada podría aportar beneficios extra, tales como una menor porosidad y permeabilidad del concreto, lo que contribuiría a aumentar su resistencia a la corrosión y extendería la vida útil de cualquier elemento fabricado bajo estas condiciones.

En conclusión, esta investigación explora métodos innovadores para optimizar la relación agua/cemento y su correlación con el esfuerzo a compresión (F'_c) en la fabricación de elementos de concreto simple. Se propone un enfoque cuantitativo con un diseño experimental que incluye un alcance correlacional donde se utiliza agua magnetizada como variable activa entre las independientes y dependientes para identificar tendencias o cambios derivados de esta innovación. Las variables incluyen el uso de agua magnetizada tanto en la elaboración como en el curado del concreto. Se realizarán ensayos sobre cilindros elaborados con estas mezclas para determinar si hay un incremento en resistencia a compresión.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



APARTADO I. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

APARTADO I. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

El presente apartado tiene como razón de ser el mostrar un panorama general del tema del trabajo de investigación/experimentación, en el cual se incluyen los antecedentes del problema; apartado que indica la elección del tema y los antecedentes del material a usar, posteriormente se menciona el planteamiento del problema, se determina el objetivo general y los específicos, se señala la justificación de la investigación, así como las hipótesis.

1.1 Antecedentes del problema

Desde la creación del cemento Portland por Joseph Aspdin en 1824 que marcó el inicio de la época moderna del cemento se han realizado numerosos avances, mejoras, usos y aplicaciones que buscan optimizar los insumos y la energía necesaria para crear productos que satisfagan las necesidades de la sociedad, que ante los retos actuales están en constante cambio a la par de sus necesidades.

Ahora bien, durante la década de los 1960 y 1970 con el crecimiento exponencial de México, se tuvo una demanda en la industrialización y urbanización del país, lo que generó una mayor demanda de soluciones para construcciones más eficientes, seguras y rápidas: Una de las soluciones fue la introducción en el mercado de los elementos prefabricados, pasando el sector de la construcción, de un método casi artesanal, al inicio de la construcción como un proceso semi industrializado que mejoraba su calidad y rendimiento, así como reducir las limitantes que los productos anteriores ofrecían. Ya que estos estos elementos prefabricados, que podían ser elaborados en condiciones controladas fuera del sitio y luego transportados e instalados en el lugar de la obra, ofrecían ventajas en términos de calidad, velocidad de construcción y costos.

A medida que han progresado la tecnología y las técnicas de fabricación de elementos prefabricados de concreto, su aplicación se ha ampliado en México, abarcando diversas áreas como edificaciones residenciales, comerciales e industriales, así como infraestructura pública que incluye puentes, carreteras y túneles. Actualmente, los elementos prefabricados de concreto son una opción habitual en múltiples proyectos constructivos en el país y representan un componente significativo dentro de la industria de la construcción.

Uno de los enfoques principales en esta optimización es disminuir el consumo tanto de materiales como de energía durante el proceso productivo. Esto puede lograrse mediante prácticas de diseño eficientes, adopción de tecnologías avanzadas en producción y uso de materias primas alternativas o recicladas. La reducción en el uso de recursos no solo favorece la sostenibilidad ambiental, sino que también puede llevar a una disminución considerable en los costos de producción.

Por lo tanto, optimizar los métodos empleados en la producción de elementos concretos es crucial para enfrentar los desafíos actuales dentro del sector construcción. Al disminuir el consumo de recursos junto con los costos sin sacrificar la calidad del producto final, se facilita un avance hacia un futuro más sostenible y competitivo para toda la industria, beneficiando a constructores y a la sociedad al emplear procesos menos perjudiciales que mantengan las características deseadas por normativa mientras mejoran las propiedades materiales.

1.2 Planteamiento del problema

El siguiente apartado tiene como finalidad dar a conocer la relación entre la variable independiente (Relación agua/cemento) y la variable dependiente (Resistencia a compresión $F'c$), así como, explicar las necesidades actuales del mercado constructivo y la necesidad de optimizar la gestión de recursos sin comprometer la calidad e integridad de los elementos fabricados.

Siendo parte medular de esta investigación el planteamiento, desarrollo y respuesta de las preguntas que se realizan para poder dar cabida a la investigación, los resultados y hallazgos que se tienen respecto al objeto de estudio. Por otro lado, se señalan los factores físicos, antropogénicos y químicos que se pueden destacar de la investigación, y, por último, las unidades de experimentación, ubicación espacial y temporal que tiene la investigación.

1.3 Descripción empírica del contexto actual

La optimización de la relación entre agua y cemento, así como su impacto en la resistencia a compresión ($F'c$), es un área de investigación crucial dentro del sector de la construcción. En la producción de elementos de concreto simple, la proporción adecuada entre agua y cemento es esencial para garantizar la calidad, resistencia y durabilidad del producto final. Sin embargo, el desarrollo de métodos innovadores para mejorar estas características presenta diversos obstáculos.

A pesar de los progresos realizados en tecnología de materiales, el proceso de optimizar la relación agua/cemento continúa siendo complicado. La adición de agua magnetizada durante el proceso de fabricación del concreto ofrece una estrategia prometedora para potenciar sus propiedades físicas y mecánicas. No obstante, aún no se tiene un entendimiento completo sobre cómo estos métodos alternativos afectan la microestructura y las propiedades finales del concreto.

Asimismo, la aplicación práctica de estas técnicas enfrenta importantes desafíos tanto técnicos como económicos. Es fundamental evaluar cuidadosamente la viabilidad a largo plazo del uso de agua magnetizada en la producción de elementos prefabricados de concreto, considerando aspectos como costos, beneficios y su compatibilidad con los procesos industriales actuales.

1.4 Preguntas que orientan la investigación

Por otro lado, es fundamental señalar que las preguntas de investigación son las que orientan el trabajo realizado, permitiendo la búsqueda de respuestas a lo largo del proceso investigativo. A través de los cuestionamientos formulados, se puede entender la realidad que enfrenta el ámbito de estudio en la construcción, lo que facilita alcanzar un conocimiento capaz de responder adecuadamente a dichas interrogantes. En este sentido, el presente estudio tiene como objetivo abordar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué efecto tiene la incorporación de agua magnetizada en la relación agua/cemento y en la resistencia a compresión (F'_c) del concreto, tanto en su estado fresco como durante el proceso de curado?
2. ¿De qué manera influye la adición de agua magnetizada durante la elaboración del concreto en sus propiedades físicas y mecánicas?
3. ¿Cuál es la viabilidad técnica y económica para implementar estos métodos alternativos en la producción masiva de elementos de concreto?
4. ¿Qué desafíos, consecuencias y limitaciones pueden surgir al integrar estas innovaciones en las prácticas actuales del sector construcción?

Abordar estas cuestiones permitirá no solo una mejor comprensión sobre los efectos que provoca la inclusión de agua magnetizada en la fabricación de concreto, sino también evaluar su potencial para mejorar tanto la calidad como la eficiencia de los materiales empleados en construcción, contribuyendo así al progreso e innovación en el campo.

1.5 Objetivo general de la investigación

Este apartado tiene la intención de establecer el objetivo general y los objetivos específicos que guiarán la investigación. Es importante señalar que los objetivos describen los resultados que se pretenden alcanzar además de señalar la intención, el alcance e impacto que tiene la investigación. A continuación se menciona el objetivo general de la investigación: Alcanzar el F'_c (Resistencia a la compresión), reduciendo la cantidad de cemento como consecuencia de la incorporación de campos magneto-estáticos en el agua a utilizar durante el proceso de fraguado en la elaboración de los elementos prefabricados, y la inclusión de dicha agua en la mezcla, de este modo reducir los costos de elaboración de dichos elementos sin anteponerse a la calidad y requerimientos solicitados.

1.6 Objetivos específicos de la investigación

Los objetivos específicos de la investigación son los que se mencionan a continuación:

- Reconocer las diferencias de incluir agua magnética en la elaboración de concreto y usar agua común.
- Reconocer las diferencias de incluir agua magnética en el curado de elementos de concreto y usar agua común.
- Explicar el proceso a nivel molecular de la estructura del concreto en el método tradicional y con el método propuesto.
- Validar o discrepar respecto a investigaciones previas en la inclusión de agua magnética en la producción de elementos de concreto.

- Determinar las propiedades físicas y químicas que se vean favorecidas y/o reducidas por el nuevo método de preparación.
- Evaluar el impacto en la elaboración de elementos de concreto con este proceso, con el fin de reducir el consumo, costos de producción Y él no contaminar el ambiente.

En resumen, este estudio busca aportar nuevos conocimientos sobre la influencia de la inclusión de agua magnetizada en la optimización de la relación agua/cemento y el esfuerzo a compresión en elementos de concreto, con el fin de impulsar la innovación y el desarrollo en la industria de la construcción, y buscar incluir estos métodos y procesos en las normas actuales para poder ser usados de forma comercial.

1.7 Justificación

A partir de la problemática identificada y con un enfoque económico el mercado actual de los elementos prefabricados antepone el costo de fabricación a la calidad y la seguridad que ofrecen sus productos, así mismo las empresas constructoras no prestan vital atención en la calidad de los productos que utilizan en la ejecución de sus obras, y prefieren un menor costo a una mayor certeza y calidad.

Si bien, la competencia económica debería en aumentar el ingenio y la innovación para la mejora y especialización de los productos, conduce erróneamente en prácticas desleales y poco éticas en las que, dada la necesidad de venta y comercialización se disminuye la mejora, y en algunos casos se omiten materiales, procesos y mecanismos necesarios para un producto que cumpla las normas y requerimientos de las obras.

Es muy importante mencionar que en la elaboración de los productos de concreto existen todo tipo de empresas que lo ofrecen, desde microempresas que los elaboran de forma “artesanal” sin normas o un órgano que los regularice, hasta grandes

empresas que a pesar de llevar procesos más estandarizados; requieren de innovaciones tanto técnicas como tecnológicas que produzcan un superávit en la elaboración de dichos productos.

Ahora, el componente que representa el mayor gasto en la producción de estos elementos estructurales es el cemento gris Portland. Esto se debe a que tanto la $F'c$ (resistencia a la compresión) como el MR (módulo de ruptura) son directamente proporcionales a la cantidad de cemento utilizado, además de estar influenciados por la relación entre agua y cemento. Por lo tanto, para disminuir el costo final de venta, es fundamental identificar métodos que permitan alcanzar los valores requeridos de $F'c$ o MR mientras se minimiza la cantidad de materia prima necesaria.

Por lo que el uso de métodos y tecnologías que permitan alcanzar la calidad y reducir los costos y dificultades en la fabricación, crearán en consecuencia un alza en la competitividad que siempre concluye en la mejora del producto final.

1.8 Hipótesis

Se plantea la hipótesis de que la incorporación de agua magnetizada tendrá un efecto notable en la relación entre el agua y el cemento, así como en la resistencia a compresión del concreto. Se anticipa que estos métodos alternativos no solo mejorarán dicha relación, sino que también afectarán la microestructura y las propiedades mecánicas del concreto. Esto podría resultar en una mayor resistencia a la compresión, una durabilidad superior y una disminución en el tiempo de fraguado. Además, se prevén beneficios adicionales, como la reducción de la porosidad y permeabilidad del concreto, lo cual contribuiría a una mayor resistencia a la corrosión y a una vida útil prolongada de las estructuras.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

APARTADO II.

ESTADO DEL ARTE

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

APARTADO II. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan las investigaciones y artículos sobre la producción de concretos utilizando agua magnetizada, así como los efectos, tanto beneficiosos como perjudiciales, que esto puede tener en las propiedades físicas y químicas del concreto final. Estos documentos se consideran referencias esenciales para la investigación pertinente, con el objetivo de ofrecer una visión general sobre estos temas. Se busca identificar los países donde se ha llevado a cabo este tipo de estudio y determinar si ha habido investigaciones recientes al respecto. Además, se examinan los hallazgos y resultados obtenidos hasta ahora para así establecer lo que aún queda por investigar, descubrir y fortalecer.

2.1 Efecto del campo magnético alterno sobre la resistencia a la compresión del hormigón de agregado fino 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.109

En 2017, en Irán, Iman Abavisani, Omid Rezaifar y Ali Kheyroddin llevaron a cabo una investigación pionera, su objetivo era explorar el potencial del campo magnético alterno (AMF) para mejorar la resistencia a la compresión del hormigón y desarrollar un nuevo sistema de actuadores para estructuras inteligentes. Para ello, realizaron una serie de experimentos en muestras de concreto de agregado fino a pequeña escala. Estudiaron el efecto de aplicar un AMF con una densidad de 0,5 Tesla (T) y una frecuencia de 50 Hz en mezclas de concreto preparadas y endurecidas, evaluando su resistencia a la compresión.

Diseñaron un circuito magnético especializado para exponer las muestras al AMF de manera controlada. Los resultados revelaron que la aplicación del campo magnético a las muestras de concreto fresco tenía un impacto en su resistencia a la compresión. Sin embargo, al exponer el concreto endurecido al AMF, se observó una mejora significativa de hasta un 7,78% en la resistencia a la compresión. Este efecto fue discutido y analizado teóricamente desde varias perspectivas.

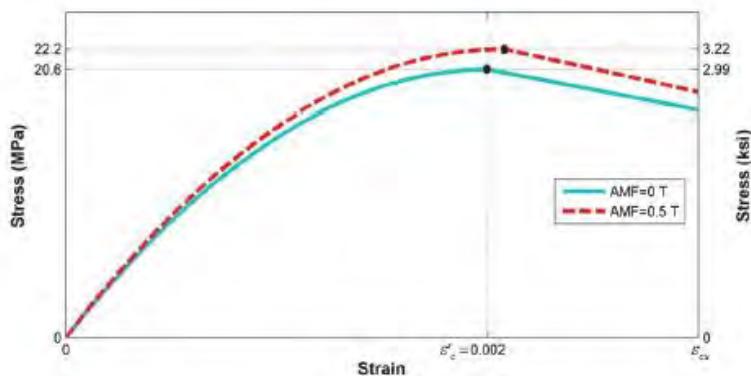


Figura 1. Diagramas esfuerzo-deformación cuando AMF es 0 y 0,5 T

2.2 Efecto del agua magnetizada sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de concreto 10.1016/j.proeng.2017.06.242

En 2017, en Sudán, un grupo de investigadores compuesto por Taghried Isam Mohammed Abdel-Magid, Rabab Mohammed Hamdan, Abeer Abdelrahman Bukhari Abdelgader, Mohammed Emadeldin Attaelmannan Omer y Najla'a Mohammed Rizg-Allah Ahmed llevó a cabo un estudio pionero. El propósito del estudio fue analizar cómo el agua magnetizada afecta la trabajabilidad y la resistencia a la compresión del concreto, con el fin de desarrollar un hormigón de alta resistencia que sea más económico. Para ello, se basaron en datos obtenidos de investigaciones previas y generaron agua magnetizada mediante un sistema de tratamiento magnético.

Se elaboraron cuatro mezclas de concreto: una sin agua magnetizada y tres que contenían diferentes proporciones de esta última. En las dos últimas formulaciones, el contenido de cemento se redujo en un 12,5% y un 25%, respectivamente. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas para evaluar el asentamiento y la resistencia a la compresión de las cuatro mezclas.

Mix Identity # (Mix ID)	Water type	Cement reduction %	w/c ratio
A	Normal	0%	0.45
B	Magnetized	0%	0.45
C	Magnetized	12.5%	0.5
D	Magnetized	25%	0.55

Figura 2. Detalle de mezclas para pruebas de resistencia a compresión

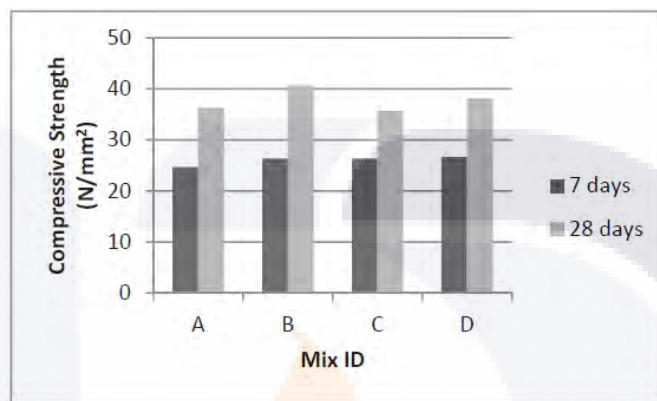


Figura 3. Resultados de pruebas a compresión a 7 y 28 días, de las distintas mezclas respectivamente

Los resultados revelaron que el concreto producido utilizando esta tecnología magnética era fácil de manipular sin comprometer su resistencia a la compresión. Además, tuvo un aumento en la resistencia a la compresión del hormigón cuando se utilizaba agua magnetizada, incluso con reducciones significativas en el contenido de cemento de hasta un 25%.

Estos hallazgos sugieren que el agua magnetizada podría ser una alternativa prometedora para la producción de concreto de alta resistencia, lo que podría conducir a una construcción más eficiente y económica en términos de consumo de materiales.

2.3 Efecto del tratamiento con campo magnético estático sobre el hormigón fresco y el potencial de reducción de agua 10.1016/j.cscm.2023.e02061

En 2021, en Irak, Saddam M. Ahmed y Dina F. Manar llevaron a cabo una investigación innovadora que propone analizar experimentalmente el método óptimo para el tratamiento magnético de mezclas de concreto y ofrecer directrices para su implementación en el diseño de estas mezclas. Se estudiaron seis niveles de densidad de flujo magnético: 25, 50, 100, 200, 400 y 500 militesla.

Durante cada experimento, la mezcla fresca se dividió en dos partes: una fue dejada sin tratar y la otra fue expuesta a un campo magnético mediante un imán. Se evaluaron aspectos como la trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tensión; los resultados experimentales mostraron incrementos significativos en la resistencia a la compresión de hasta un 16% en las mezclas de hormigón. La trabajabilidad también mejoró entre un 7% y un 26%, siendo el aumento máximo observado con una densidad de flujo de 400 mT.

El estudio resaltó además el potencial para reducir el contenido de agua sin comprometer los niveles de trabajabilidad al aplicar el tratamiento magnético a las mezclas. Se notó que las propiedades del hormigón producido mejoraron considerablemente, con incrementos aproximados del 29% en resistencia a la compresión y del 27% en resistencia a la tracción.

2.4 Investigación del efecto de la inserción magnética de agua y fibra de polietileno en la mezcla de hormigón 10.3390/jcs7070303

En 2023, Tariq Alkhrissat llevó a cabo un estudio en Jordania que subrayó la relevancia de la calidad del agua en la mezcla de concreto, dado que esta tiene un impacto considerable en las propiedades finales del material. Se ha evidenciado que el empleo de agua tratada mediante campo magnético (MFTW) puede mejorar notablemente dichas características. La magnetización del agua provoca una carga en

sus partículas, lo cual disminuye su dureza y aumenta la resistencia del concreto en comparación con el uso de agua convencional (NW).

El uso de agua magnética (MW) se ha integrado en técnicas de construcción modernas con el fin de optimizar las propiedades fisicoquímicas del concreto. Este estudio se dedicó a evaluar los estándares de calidad del agua al aplicar diversas intensidades de magnetización (0,9 Tesla (MW0,9), 0,6 teslas (MW0,6), 0,3 teslas (MW0,3)), utilizando análisis fisicoquímicos como la conductividad eléctrica (CE), el pH y los sólidos disueltos totales (TDS).

Se realizaron pruebas para evaluar tanto el concreto fresco como el endurecido y su comportamiento microestructural, empleando técnicas de caracterización como la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Los hallazgos indicaron que la influencia magnética sobre los parámetros del agua mejoró significativamente al aumentar la intensidad magnética.

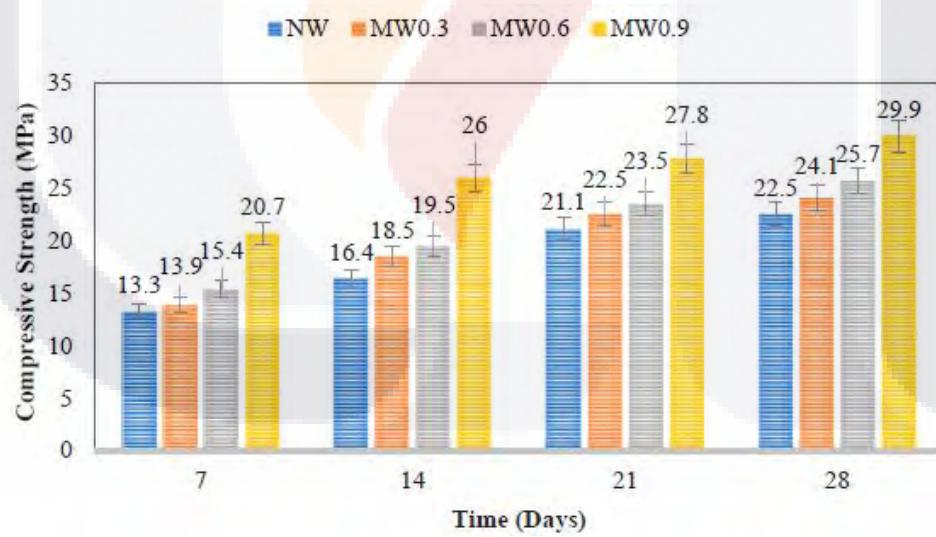


Figura 4. Variación de la resistencia a la compresión con diferentes grados de magnetización

En comparación con el concreto que utiliza agua normal, se observó que la mezcla MW0.9 aumentó la trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción a la rotura en un 9,2%, 32,9% y 34,2%, respectivamente, en comparación con el concreto con agua normal.

2.5 Investigación de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto mezclado con agua expuesta a un campo magnético 10.1155/2021/2821419

En 2021, un equipo de investigadores en India compuesto por R. Dharmaraj, G. K. Arunvivek, Alagar Karthick, V. Mohanavel, Bhagavathi Perumal y S. Rajkumar llevó a cabo un estudio destinado a abordar la problemática del uso excesivo de agua potable en la fabricación de concreto. Se ha identificado que la utilización de agua magnetizada en el proceso del concreto puede aportar múltiples ventajas al mejorar sus características, presentándose como una opción viable para disminuir notablemente el consumo de agua potable.

El objetivo del estudio fue analizar cómo el agua magnetizada influye en las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. Para ello, se realizaron pruebas utilizando cuatro combinaciones distintas de agua potable y agua magnetizada, evaluando aspectos tales como la resistencia a la compresión, flexión, tracción, absorción de agua, y su resistencia frente a ácidos y corrosión.

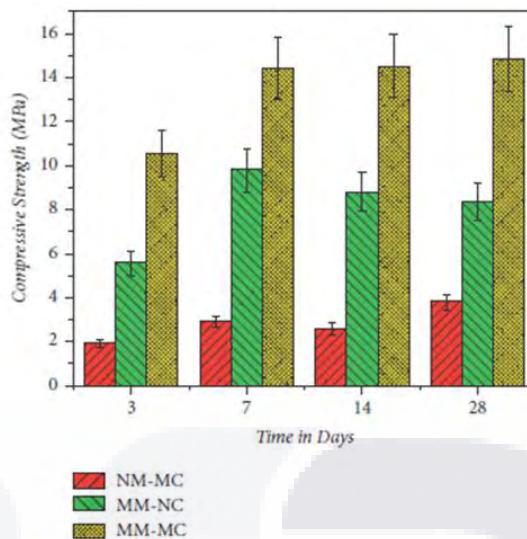


Figura 5. Comparativo de la resistencia a la compresión de 3 muestras distintas sometidas a campos magnéticos (NMNC: Concreto hecho con agua potable y curado con agua potable, MMNC: Concreto hecho con agua magnetizada y curado con agua potable, MMMC: Concreto hecho con agua magnetizada y curado con agua magnetizada)

Los resultados demostraron que el uso de agua magnética mejoró la durabilidad del concreto. Además, se observó que el curado con agua magnetizada resultó en un aumento del 14,86% en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto curado con agua común.

2.6 Efecto de las características del agua magnetizada sobre agua dulce y endurecida sobre las propiedades del hormigón autocompactante 10.1016/j.conbuildmat.2020.118196

En 2020, en Irán, Behnam Ebrahimi Jouzdani y Mohammad Reisi llevaron a cabo una investigación que reveló efectos significativos del uso de agua magnetizada en las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido. Este estudio se centró en investigar los efectos del caudal de agua en un campo electromagnético y la intensidad del campo magnético sobre las propiedades del concreto autocompactante.

Para ello, se prepararon cuatro mezclas con diferentes relaciones de agua cemento (A/C) de 0,35, 0,4, 0,45 y 0,5 utilizando agua común o agua magnetizada. En las mezclas con agua magnetizada, se pasó agua con diferentes caudales (9, 18 y 27 L/min) a través de un campo electromagnético con diferentes intensidades (0,6, 0,9, 1,2 y 1,5 T) para magnetizarla.

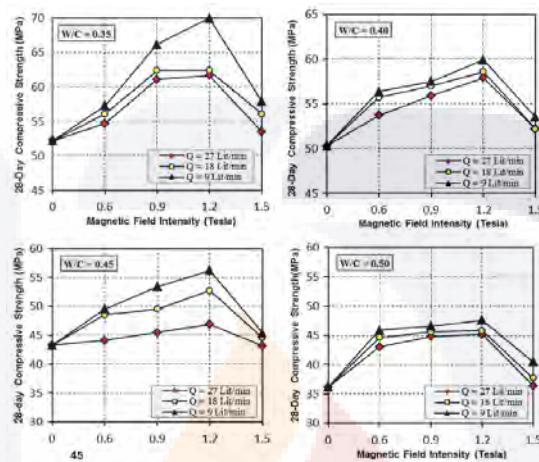


Figura 6. Efecto del agua magnetizada en la resistencia a compresión con distintas relaciones de agua cemento A/C

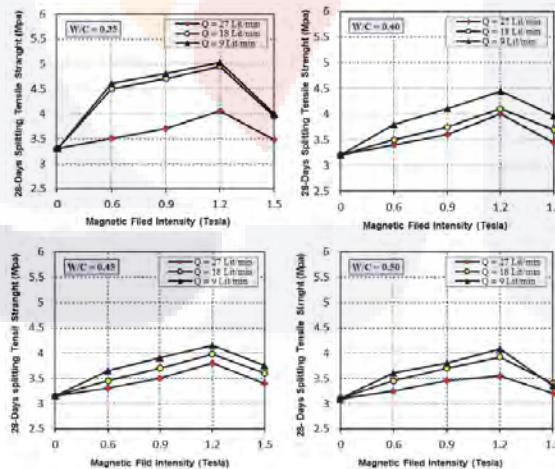


Figura 7. Efecto del agua magnetizada en la resistencia a tensión con distintas relaciones de agua cemento A/C

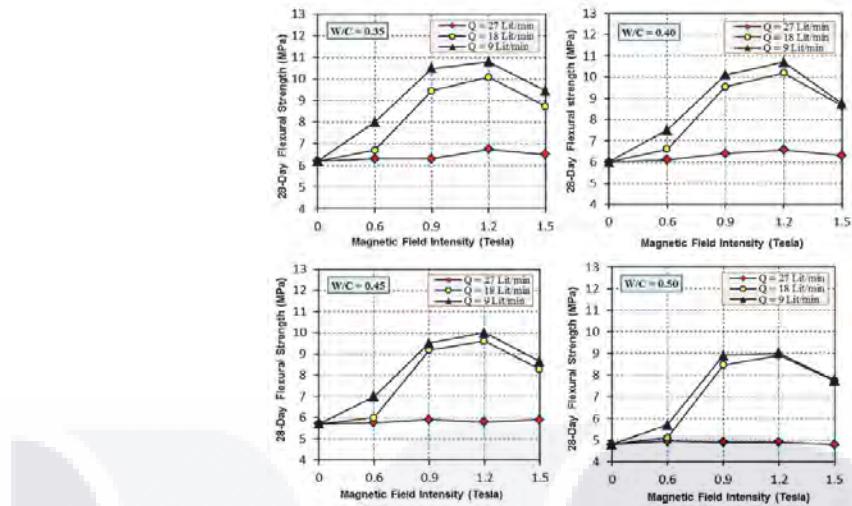


Figura 8. Efecto del agua magnetizada en la resistencia a flexión con distintas relaciones de agua cemento A/C

Los resultados mostraron que el uso de agua magnetizada en lugar de agua común aumentó la trabajabilidad del concreto y mejoró sus propiedades mecánicas.

Los efectos más positivos del agua magnetizada se observaron para campos magnéticos de 1,2 T y Q = 9 L/min, lo que resultó en un aumento de las resistencias a la compresión, flexión y tracción del concreto preparado de esta manera aumentaron hasta un 34,1%, 52,4% y 74,2%, respectivamente, a pesar de mantener relaciones A/C idénticas en las mezclas.

2.7 Efecto del tratamiento magnético del agua de mezclado sobre el comportamiento de materiales a base de cemento: una revisión

En 2023, Layachi Guelmine y su equipo en Polonia presentaron la tecnología de tratamiento magnético para el agua utilizada en la mezcla de concreto como una solución económica y ecológica que puede potenciar tanto el rendimiento como la durabilidad de los materiales cementosos. Esta metodología se encuentra en consonancia con los principios del desarrollo sostenible.

Durante sus investigaciones, emplearon campos magnéticos estáticos de diversas intensidades para tratar agua común, generando así agua de mezcla tratada magnéticamente a lo largo de un periodo determinado.

El enfoque principal de esta investigación fue evaluar estudios previos que analizaron el efecto del campo magnético sobre las propiedades del producto obtenido mediante diferentes métodos, tanto en el estado fresco como endurecido, así como su durabilidad y características microestructurales. La mayoría de las investigaciones indicaron que la tecnología de tratamiento magnético aporta mejoras a las propiedades físicas y químicas del agua convencional, tales como solubilidad, tensión superficial y conductividad.

En relación con los materiales cementosos expuestos a campos magnéticos, muchos estudios han evidenciado un notable aumento en la resistencia mecánica, durabilidad y microestructura. Sin embargo, se ha señalado que algunos investigadores podrían haber exagerado sus conclusiones respecto al impacto del campo magnético sobre las propiedades mecánicas. Por ello, es necesaria una mayor investigación para confirmar estos hallazgos.

2.8 Efecto del agua magnetizada sobre la resistencia a la compresión y Dosificación de Superplastificantes y Agua en concreto Autocompactante [10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002174)

En 2018, en los Estados Unidos de América, los científicos Amirsalar R. Esfahani, Mohammad Reisi y Benjamin Mohr llevaron a cabo un análisis sobre el uso de concreto autocompactante. Su investigación se centró en explorar métodos innovadores para optimizar y potenciar el efecto del agua magnetizada sobre el concreto, manteniendo constante la dosis de superplastificante y reduciendo la relación agua-cemento.

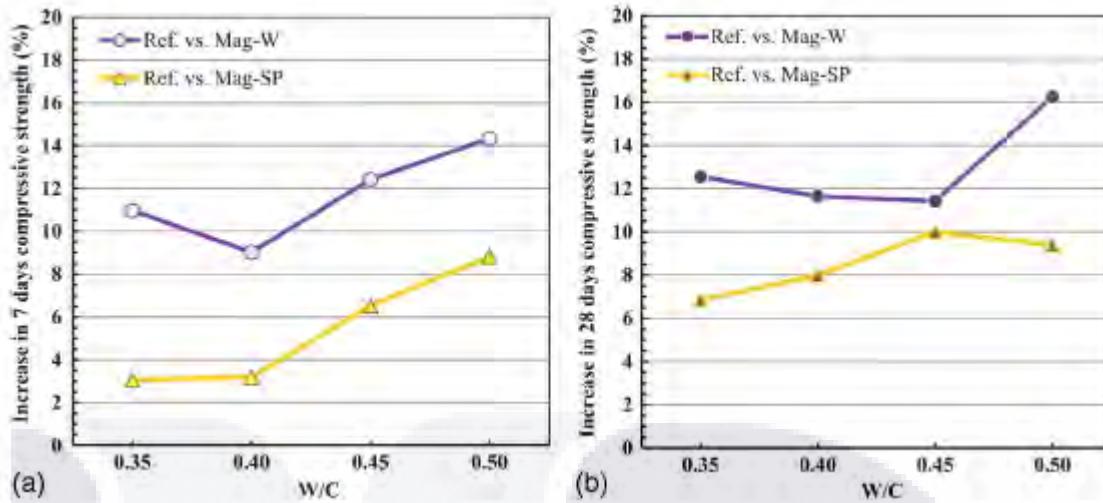


Figura 9. Relación agua-cemento (A/C) Vs aumento de la resistencia a compresión en 7 y 28 días

Los resultados obtenidos revelaron una disminución del 10% en la cantidad de agua requerida y un aumento del 12% en la resistencia a la compresión. Estos hallazgos indicaron que el uso de agua magnetizada en el concreto autocompactante puede permitir una reducción significativa, de hasta un 30%, en la dosis de superplasticificante requerida.

2.9 Una investigación sobre las propiedades frescas y endurecidas de concreto autocompactante que incorpora agua magnética con varios materiales puzolánicos 10.1016/j.conbuildmat.2017.09.135

En 2018, un equipo de investigadores en Irán, compuesto por Majid Gholhaki, Ali Kheyroddin, Mohammad Hajforoush y Mostafa Kazemi, llevó a cabo un estudio detallado para analizar las propiedades de ingeniería del concreto autocompactante al añadir agua magnética y diversos aditivos como humo de sílice, metacaolín, ceniza de cascarilla de arroz y cenizas volantes (en proporciones del 10% y 20% en relación con el peso del cemento).

Las propiedades del concreto en estado fresco fueron evaluadas mediante varias pruebas, incluyendo flujo de asentamiento, T50, embudo en V, L-box e índice de estabilidad visual (VSI). En cuanto al estado endurecido del concreto, se midió la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días. Asimismo, se analizaron las características de durabilidad realizando una prueba de absorción de agua a los 28 días.

Los hallazgos revelaron que tanto el agua magnética como los materiales puzolánicos pueden potenciar la autocompatibilidad en términos de fluidez y viscosidad. En particular, la mezcla de SCC que incluía agua magnética junto con un 20% de humo de sílice demostró ser la más efectiva a los 28 días, evidenciando un aumento en la resistencia a la compresión del 49%, así como una reducción en el valor de absorción de agua del 55%.

2.10 Investigación de las propiedades técnicas del hormigón armado con fibras de acero expuesto a un campo magnético homogéneo 10.1016/j.conbuildmat.2020.119064

En 2020, en Irán, Mohammad Hajforoush, Ali Kheyroddin y Omid Rezaifar llevaron a cabo un estudio para investigar el efecto de la aplicación de un campo magnético homogéneo de densidad 0,5 Tesla (T) en muestras de hormigón armado con fibra de acero que contenían un 1,5% de volumen de fibra.

Para alcanzar este objetivo, se realizaron ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión para evaluar las propiedades mecánicas de las muestras a los 28 días de edad. Además, se investigaron las características de durabilidad de las muestras para determinar la absorción de agua y la porosidad permeable. Se utilizó un ensayo no destructivo basado en la velocidad del pulso ultrasónico para evaluar la resistencia a la compresión.

Se diseñó y fabricó un dispositivo magnético capaz de generar el campo magnético necesario. Los resultados de las pruebas indicaron que aumentó su resistencia

mecánica en términos de resistencia a la compresión y a la flexión en un 18% y 16%, respectivamente.

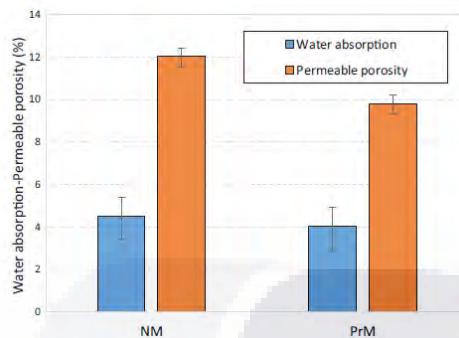


Figura 10. Absorción de agua y porosidad permeable en muestras

Como resultado de la exposición, la absorción de agua y porosidad permeable de las muestras disminuyeron en un 11% y 18%, respectivamente.

2.11 “Efecto del agua magnética sobre las propiedades técnicas de Concreto” 10.33899/rengj.2009.38451

En 2009, Saddam M. Ahmed llevó a cabo un estudio en Irak que se enfocó en el impacto del agua magnética en la resistencia a la compresión y la trabajabilidad del concreto. Los hallazgos indicaron que las muestras de hormigón elaboradas con agua magnética presentaron una mejora en la resistencia a la compresión, alcanzando entre un 10% y un 20% más que aquellas producidas con agua convencional. Además, se determinó que este incremento en la resistencia se logra cuando la fuerza magnética del agua es de 1,2 Tesla y la velocidad del flujo de agua que pasa a través del campo magnético es de 0,71 metros por segundo.

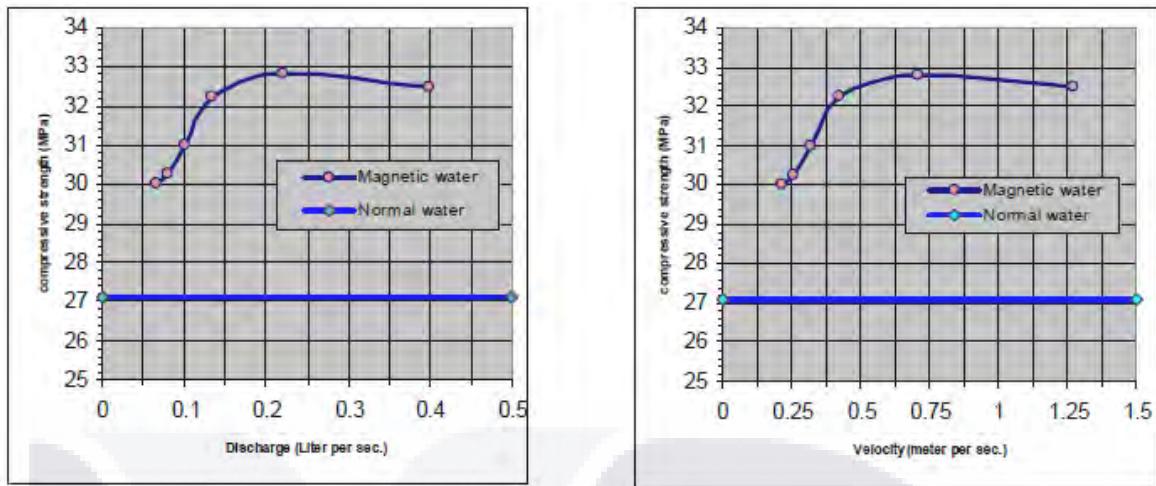


Figura 11. Relación de resistencia a la compresión Vs caudal de agua magnetizada y velocidad del agua sometida al campo magnético

Estos resultados indican que la utilización de agua magnética podría ser una táctica eficiente para aumentar tanto la resistencia a la compresión como la manejabilidad del concreto recién mezclado.

2.12 Comportamiento de vigas de concreto pretensado utilizando agua magnética para mezclar concreto 10.1080/01694243.2021.1936383

En 2022, en Corea del Sur, el equipo de investigadores compuesto por Ramalingam Malathy, Karuppasamy Narayanan y Prabakaran Mayakrishnan llevó a cabo un estudio sobre el uso del agua magnética en el concreto, con el objetivo de investigar su efectividad y sus posibles beneficios en comparación con el agua potable.

El agua magnética, que no contiene sal, ha demostrado poseer propiedades tan buenas como las del agua potable. Cuando el agua atraviesa un campo magnético, las moléculas de agua se reorganizan dentro de la estructura, lo que permite una filtración más eficiente a través de las partículas cementosas. Esto facilita un proceso de hidratación más rápido y efectivo.

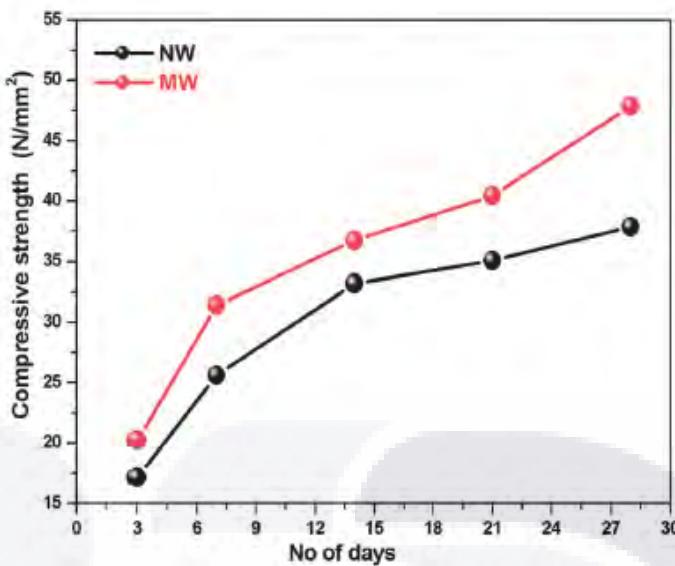


Figura 12. Resistencia a la compresión con agua magnetizada y agua común

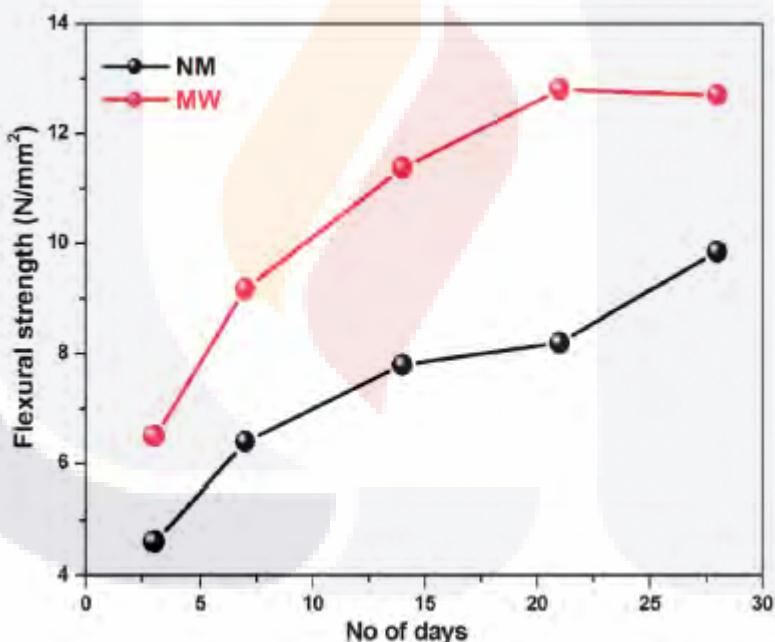


Figura 13. Resistencia a la flexión con agua magnetizada y agua común

La utilización de agua magnética en vigas de concreto pretensado demostró mejorar la resistencia a la flexión en un 25%.

2.13 Formulación y caracterización físico-mecánica de un compuesto de Ecomortero a base de cenizas de fondo y agua magnetizada

10.17485/ijst/2020/v13i10/149889

En 2020, un grupo de investigadores en Marruecos, conformado por Redouane Mghaiouini, Abderrazzak Graich, Anis Elaoud, Toufik Garmim, M.E. Belghiti, Nisrine Benzbiria, Mahmoud Hozayn, Mohamade Monkade y Abdeslam El Bouari, llevó a cabo un estudio para analizar el efecto de los campos electromagnéticos sobre las propiedades físico-mecánicas del mortero. Se centraron especialmente en su resistencia a la compresión y flexión.

En el transcurso de esta investigación, se evaluó de manera experimental cómo el campo electromagnético influía en el mortero mediante la sustitución del cemento por un 10% de ceniza de fondo procedente de una central térmica. Esto permitió desarrollar un mortero con notable resistencia tanto a la compresión como a la flexión.

Los resultados indicaron que la utilización de agua magnetizada contribuía a una microestructura más favorable y proporcionaba una mayor resistencia mecánica tanto en el mortero convencional como en aquel con un 10% de cenizas de fondo. Este estudio es innovador al presentar un enfoque para crear un ecomortero utilizando cenizas de fondo derivadas de centrales térmicas junto con agua magnetizada.

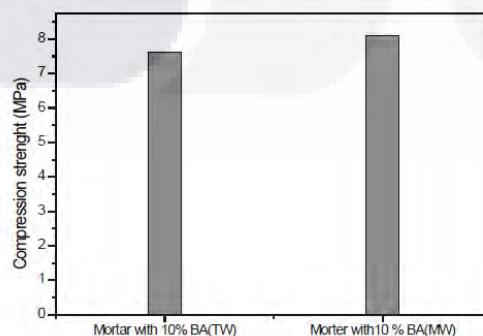


Figura 14. Resistencia a la compresión de los morteros con 10% de ceniza sin y con agua magnetizada

2.14 Mejora de las propiedades mecánicas del hormigón mediante tratamiento con campo magnético estático 10.51201/Jusst12681

En 2021, Ikhlas S. SHEET llevó a cabo una investigación en Irak sobre una innovadora tecnología de concreto magnetizado. Para este estudio, se utilizaron cinco grupos de muestras: uno fue elaborado mediante el método tradicional sin ningún tratamiento magnético, mientras que los otros cuatro grupos fueron sometidos a tratamientos con campos magnéticos de 0,04, 0,08, 0,12 y 0,15 Tesla (T), respectivamente. Los hallazgos indicaron que la exposición directa del concreto a un campo magnético incrementa su resistencia a la compresión entre un 3% y un 15%, además de mejorar simultáneamente la trabajabilidad del concreto fresco en ciertos niveles de tratamiento específicos.

Aunque es poco probable que ocurra, el estudio sugirió que los tratamientos magnéticos podrían tener efectos adversos en algunos otros rangos de tratamiento, especialmente en lo que respecta al rendimiento a largo plazo.

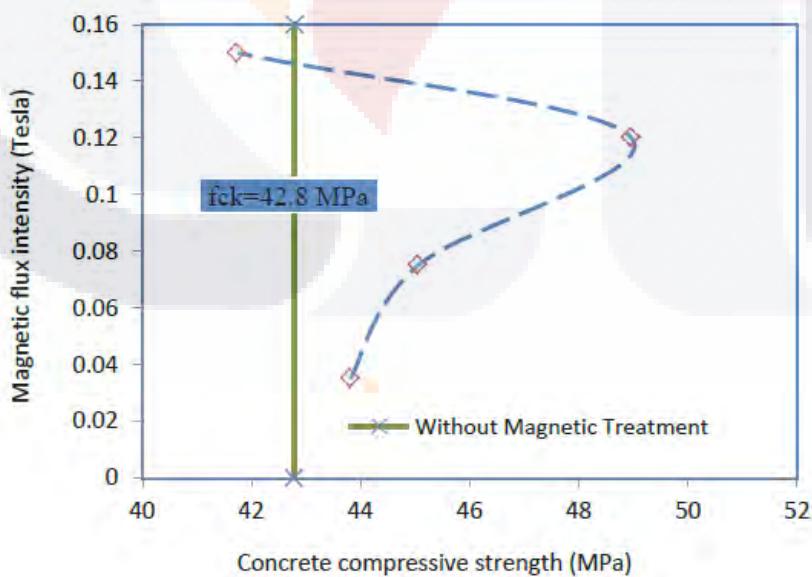


Figura 15. Resistencia a la compresión Vs intensidad de campo magnético sobre el elemento de concreto

2.15 Influencia del agua magnética en las propiedades del concreto con diferentes tiempos de exposición al campo magnético 10.3390/ma15124291

En 2022, en India, un equipo de investigadores compuesto por Malathy Ramalingam, Karuppasamy Narayanan, Arivoli Masilamani, Parthiban Kathirvel, Gunasekaran Murali y Nikolai Ivanovich Vatin se enfocó en examinar las propiedades de una mezcla de concreto. Estas propiedades dependen fundamentalmente de la hidratación del cemento, que a su vez está influenciada por la calidad del agua utilizada en la mezcla.

La magnetización provoca que las moléculas de agua adquieran carga, lo que resulta en una disminución de la dureza del agua y mejora la resistencia del concreto en comparación con el uso de agua convencional. Para su estudio, aplicaron diferentes intervalos de exposición: 60 minutos, 45 minutos, 30 minutos, 15 minutos y exposición inmediata.

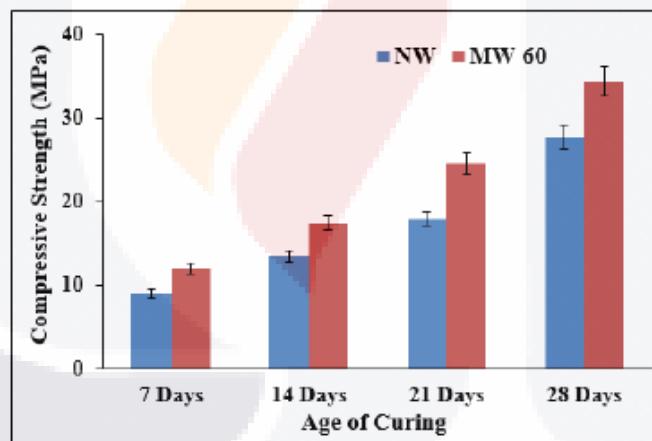


Figura 16. Resistencia a la compresión Vs días de curado en elementos de concreto sin inducción a campo magnético y con 60 minutos de campo magnético

A partir de los hallazgos, se constató que el impacto magnético en las propiedades del agua resultó en una mejora notable en las características del concreto, correlacionándose con un mayor tiempo de exposición. Se registraron aumentos del 25,6% en la trabajabilidad y del 24,1% en la resistencia a la compresión.

2.16 Efectos de los campos magnéticos estáticos sobre las condiciones físicas, mecánicas y propiedades microestructurales de las pastas de cemento.
10.1155/2015/934195

En 2015, un grupo de investigadores en México, compuesto por Juan J. Soto-Bernal, Rosario González-Mota, Iliana Rosales-Candelas y José A. Ortiz-Lozano, realizó un estudio experimental con el objetivo de analizar las propiedades físicas, mecánicas y microestructurales del comportamiento de pastas de cemento cuando se exponen a campos magnéticos estáticos durante los procesos de hidratación y fraguado.

Las pastas de cemento frescas fueron sometidas a campos magnéticos estáticos de tres intensidades distintas: 19,07, 22,22 y 25,37 Gauss.

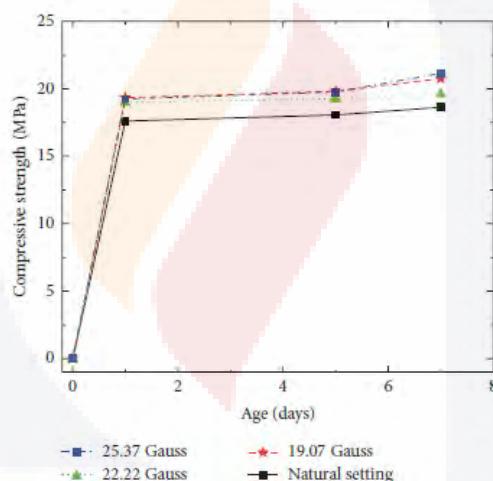


Figura 17. Resistencia a la compresión Vs edad con distintos grados de campo magnetoestático

El aumento de la temperatura no afecta adversamente la resistencia a la compresión de la pasta de cemento, ya que el campo magnetostático afecta el proceso de hidratación al inducir una reestructuración molecular. Como consecuencia, las pastas de cemento presentan mejoras en su microestructura, lo que resulta en una reducción de la porosidad y un incremento en la resistencia mecánica.

2.17 Efecto del agua magnética sobre las propiedades técnicas del concreto que contiene escoria granulada de alto horno 10.1016/S0008-8846(00)00215-5

En el año 2000, en Taiwán, un equipo de investigación compuesto por Nan Su, Yeong-Hwa Wu y Chung-Yo Mar llevó a cabo un estudio sobre la resistencia a la compresión y la trabajabilidad tanto del mortero como del concreto. Estos materiales fueron mezclados con agua magnética y contenían escoria granulada de alto horno. Las variables analizadas incluyeron la fuerza magnética del agua, el porcentaje de escoria en lugar de cemento y la relación entre agua y cemento (A/C).

Los hallazgos indicaron que las muestras de mortero que utilizaron agua magnética con una fuerza de $0,8 \pm 1,35$ T presentaron un incremento en la resistencia a la compresión que osciló entre el 9% y el 19% en comparación con aquellas mezcladas con agua convencional. De manera análoga, el concreto preparado con agua magnética mostró un aumento en su resistencia a la compresión que varió del 10% al 23% respecto a las muestras elaboradas con agua común.

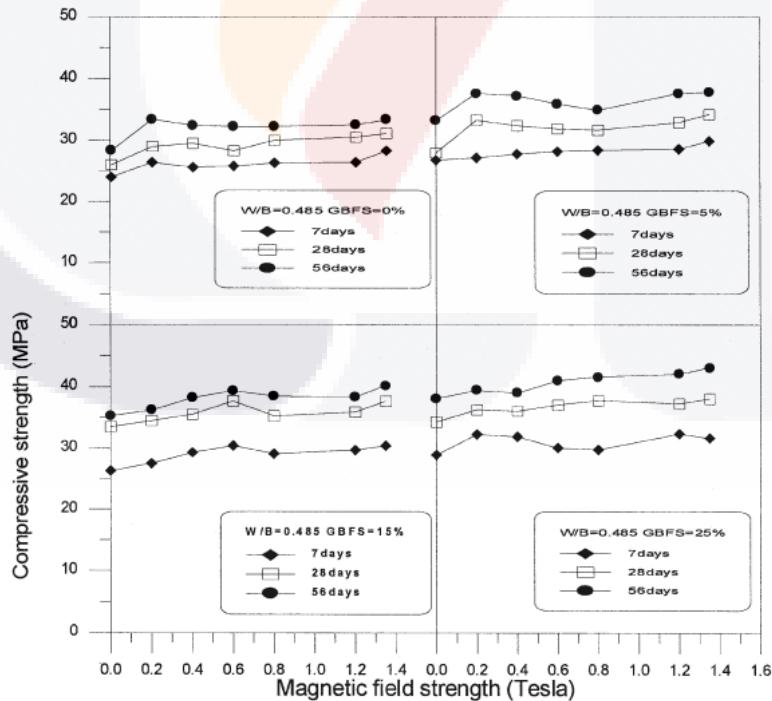


Figura 18. Resistencia a la compresión Vs Fuerza de campo magnético

También se encontró que el agua magnética mejoró la fluidez del mortero, el asentamiento y el grado de hidratación del concreto.

2.18 Efecto del campo magnético del agua tratada sobre el mortero y concreto que contiene cenizas volantes 10.1016/S0958-9465(02)00098-7

En 2003, en Taiwán, los investigadores Nan Su y Chea-Fang Wu realizaron un estudio sobre la trabajabilidad y la resistencia a la compresión de morteros y concretos. Estos materiales se prepararon utilizando agua sometida a tratamiento magnético en el lugar y cenizas volantes. El tratamiento magnético del agua se llevó a cabo al hacerla pasar por un campo magnético. Las variables evaluadas incluyeron la intensidad del campo magnético aplicado al agua, la proporción de cenizas volantes en sustitución del cemento, la relación entre el agua y el cemento (A/C), así como el tiempo de curado.

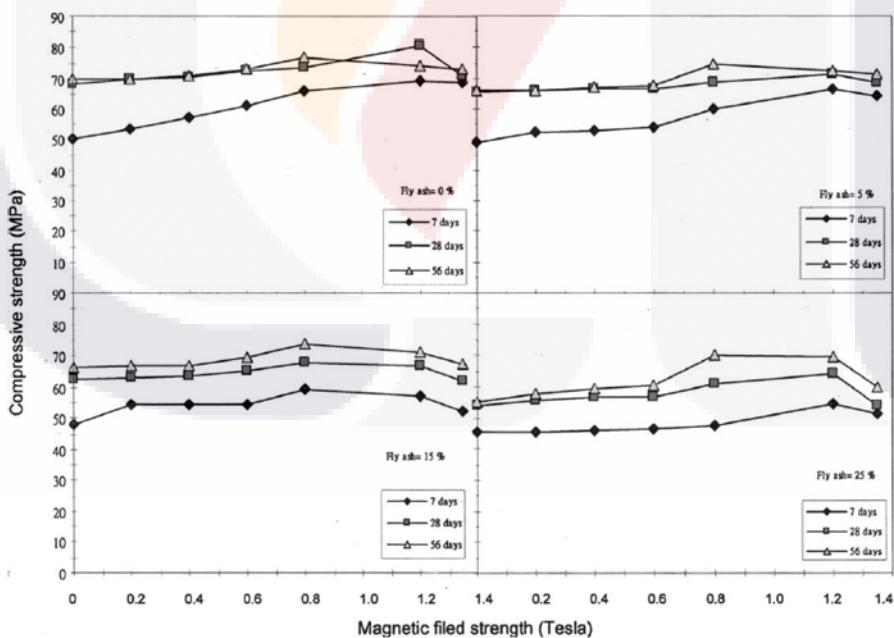


Figura 19. Resistencia a la compresión Vs Fuerza de campo magnético

Los hallazgos indicaron que la resistencia a la compresión de las muestras de mortero superó a la de aquellas elaboradas con agua convencional. El incremento más notable en la resistencia a la compresión del concreto se alcanzó cuando la fuerza magnética del agua tratada se situó entre 0,8 y 1,2 T. Asimismo, se notó que el aumento en la resistencia a la compresión del concreto expuesto a un campo magnético fue más pronunciado durante las primeras etapas de curado.

2.19 Influencia del campo magnético en las propiedades físico-químicas del Agua líquida: conocimientos de modelos experimentales y teóricos. 10.1016/j.molstruc.2008.01.010

En 2008, en Brasil, los investigadores Evelyn J.L. Toledo, Teodorico C. Ramalho y Zuy M. Magriotis llevaron a cabo un estudio sobre el impacto de un campo magnético estático en el agua líquida, enfocándose en la medición experimental de la viscosidad, entalpías y tensión superficial.

Los hallazgos indican que la exposición del agua a un campo magnético provoca la ruptura de los enlaces de hidrógeno presentes en su estructura. A partir de un análisis tanto teórico como experimental de los resultados obtenidos, se puede inferir que la interacción entre las distintas redes de enlaces de hidrógeno (tanto intramoleculares como intermoleculares) resulta en un debilitamiento de estos enlaces dentro del conjunto. Como consecuencia, se forman grupos más pequeños con enlaces de hidrógeno que son más fuertes entre ellos.

2.20 Un estudio para mejorar la resistencia a la compresión de mortero cementoso que utiliza agua magnética 10.3390/ma13081971

En 2020, en Egipto, un grupo de investigadores compuesto por Omar M. M. Yousry, Metwally A. Abdallah, Mariam F. Ghazy, Mohamed H. Taman y Mosbeh R. Kaloop colaboró para aumentar la resistencia a la compresión de morteros a través de mezclas innovadoras. Estas formulaciones incluían agua magnetizada y cenizas volantes. El

agua magnetizada se generó al hacer pasar agua ordinaria por un campo magnético. Se llevaron a cabo pruebas para evaluar el flujo del mortero, la resistencia a la compresión mediante aplastamiento y la velocidad del pulso ultrasónico. Los hallazgos indicaron que las mezclas de mortero tratadas con agua magnetizada presentaron niveles de resistencia a la compresión superiores en comparación con aquellas que no contenían este tipo de agua, logrando incrementos de hasta un 60%.



Figura 20. Efecto de agua magnetizada sobre la resistencia a compresión del mortero

2.21 Preparación de agua activada eléctrica y magnéticamente y sus Influencia en la trabajabilidad y propiedades mecánicas de mortero de cemento

10.3390/su13084546

En 2021, un grupo de investigadores en China, compuesto por Kaiyue Zhao, Peng Zhang, Bing Wang, Yupeng Tian, Shanbin Xue y Yuan Cong, llevó a cabo un estudio sobre el potencial del campo eléctrico como solución a los problemas ambientales derivados del uso global de aditivos químicos. En su investigación utilizaron agua que había sido activada tanto eléctricamente como magnéticamente. Los hallazgos revelaron que los valores de pH y la absorción del agua variaron con los cambios en los campos eléctricos y magnéticos, mostrando un aumento significativo y una actividad mejorada en comparación con el agua no tratada. Además, se observó que el agua activada mantenía su actividad incluso hasta 30 minutos después de haber estado reposando. La fluidez de la pasta de cemento elaborada con esta agua activada eléctricamente fue notablemente superior a la de la pasta sin tratar. Se registró un incremento del 26% en la resistencia a la compresión al aumentar el tiempo de curado de 7 a 28 días, mientras que la resistencia a la flexión creció un 31%. Asimismo, se demostró que al incorporar agua activada magnéticamente en el mortero de cemento es posible preservar su resistencia mecánica sin comprometer su trabajabilidad, incluso al reducir la cantidad de cemento utilizada.

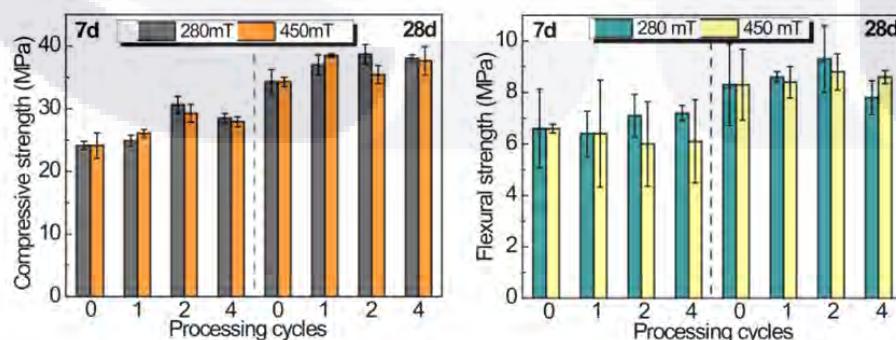


Figura 21. Resistencia mecánica de mortero preparado con agua activada magnéticamente con diferentes edades de curado bajo la influencia de la intensidad del campo magnético y los ciclos de procesamiento: (a) resistencia a la compresión y (b) resistencia a la flexión

2.22 Efecto de las condiciones de magnetización sobre el asentamiento y la resistencia a compresión del concreto con agua magnetizada

10.1016/j.cscm.2024.e03920

En 2023, Hao Jiang, Caixia Fan, Zihan Zhao, Xinyue Zhou, Suang Liang y Xiao Wang llevaron a cabo un estudio sobre el efecto de la magnetización del agua en las propiedades del concreto. Utilizando agua magnetizada (MW) producida bajo diferentes intensidades de campo magnético y velocidades de flujo, los resultados mostraron que el pH y la conductividad del agua aumentaron significativamente, lo que indica una mejora en comparación con el agua común.

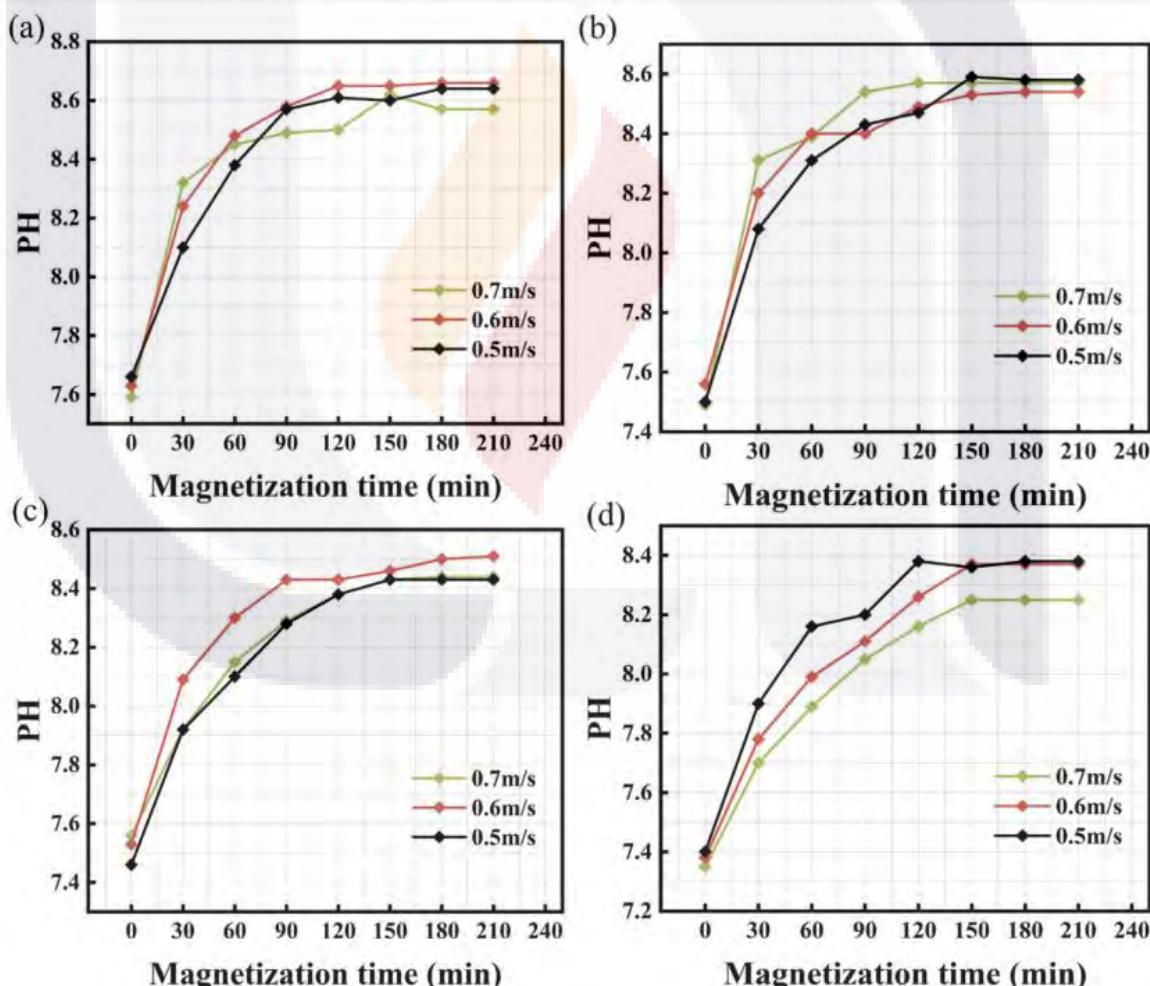


Figura 22. Variación del PH bajo diferentes intensidades de campo magnético aplicado al agua usada en la mezcla de concreto

La fluidez del concreto elaborado con agua magnetizada (MW) mostró una mejora significativa, presentando un aumento del 45.2% en el asentamiento en relación al hormigón convencional. Asimismo, la resistencia a la compresión del concreto con agua magnetizada incrementó en promedio un 9.76% a los 28 días, alcanzando un máximo incremento del 14% bajo condiciones óptimas de magnetización.

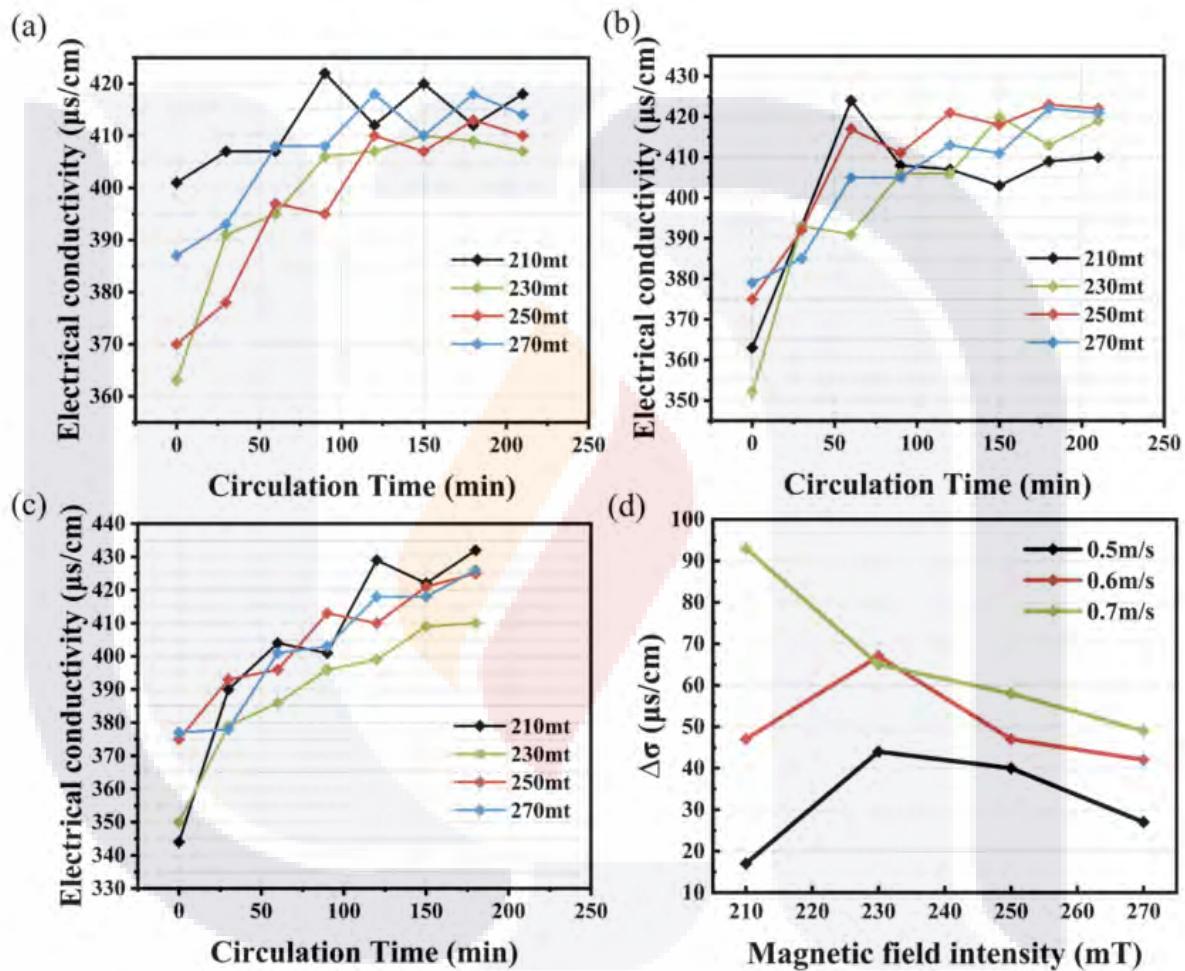


Figura 23. Variaciones en la conductividad de agua magnetizada con el tiempo de magnetización bajo diferentes velocidades de flujo de agua: (a) 0,5 m/s, (b) 0,6 m/s, (c) 0,7 m/s, y (d) variaciones en la conductividad de TW después de 210 min de tratamiento de magnetización

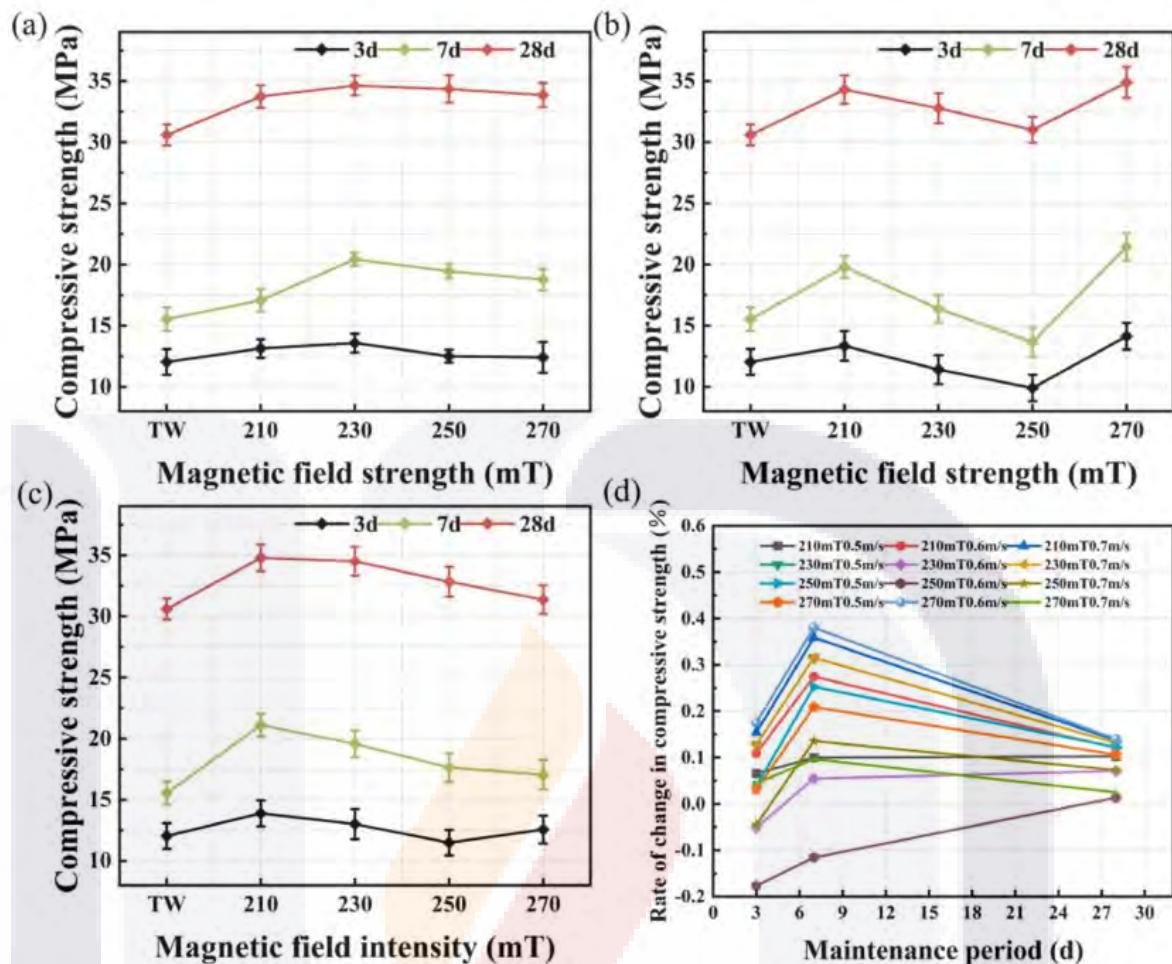


Figura 24. Resistencia a la compresión del hormigón magnetizado a los 3, 7 y 28 días bajo diferentes velocidades de flujo de agua en función del campo magnético.

Intensidad: (a) 0,7 m/s, (b) 0,6 m/s, (c) 0,5 m/s, (d) la tasa de aumento de la resistencia a la compresión varía con el tiempo de curado

Por lo que este estudio sugiere que la introducción de agua magnetizada en las mezclas de concreto puede mantener la resistencia mecánica mientras se reduce la cantidad de cemento, contribuyendo así a prácticas de construcción óptimas y sostenibles, generando un ahorro sin involucrar o afectar otras propiedades físicas.

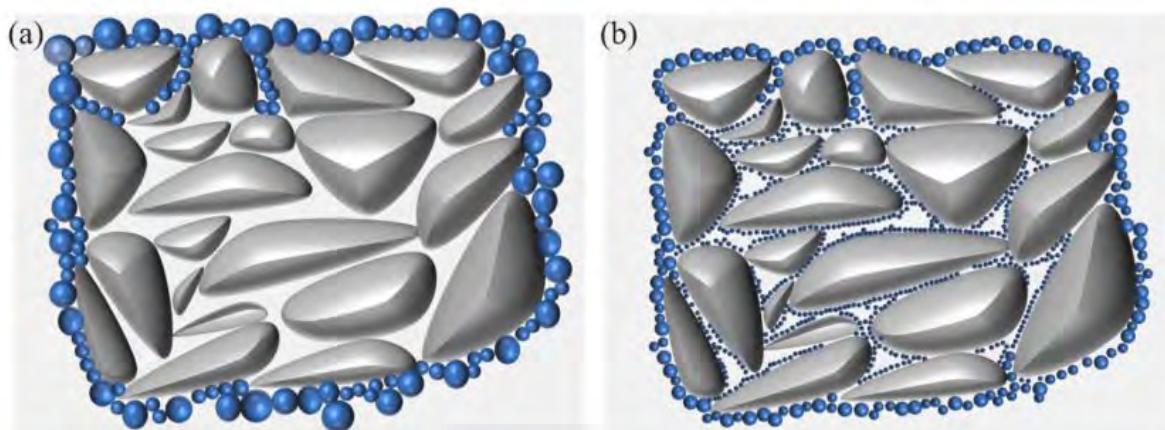


Figura 25. Representación esquemática que muestra la accesibilidad de agua común dentro de partículas de concreto, y (b) representación esquemática de la accesibilidad de agua magnetizada dentro de las partículas de concreto



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



APARTADO III.

MARCO TEÓRICO

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

3.1 Marco teórico

Este apartado busca brindar información de interés y de apoyo para dar soporte a las variables y preceptos del presente proyecto de investigación, por ello es necesario hacer una revisión teórica detallada de la literatura que de soporte al tema, con el fin de que sea un referente y punto de partida para dar respuesta a las preguntas que se plantean en el presente documento y ser un fundamento teórico, conceptual y normativo.

3.1.1 Propiedades físicas y químicas del concreto

3.1.1.1 Relación agua/cemento

La conexión entre la resistencia del concreto y la proporción agua/cemento es un factor clave en el diseño de mezclas y en la evaluación de la calidad del concreto una vez endurecido. Esta proporción se fundamenta en investigaciones empíricas llevadas a cabo por Duff Abrams y René Féret, quienes formularon directrices que vinculan la resistencia del concreto con los volúmenes de agua, cemento y aire presentes en la mezcla.

La relación agua/cemento es el peso del agua dividido entre el peso del cemento (IMCYC, 2004).

Según A. M. Neville (2011) Existe relación entre el esfuerzo a compresión y la relación agua cemento mediante “La regla de Abrams, formulada en 1919, establece que la resistencia del concreto es inversamente proporcional a la relación agua/cemento elevada a una potencia” (A. M. Neville, 2011, p. 444).

$$f_c = K \left(\frac{c}{c + w + a} \right)^2$$

Figura 26. Ecuación de relación entre esfuerzo a compresión y relación agua/cemento (Neville, 2011, p. 444)

Donde:

f'_c = Resistencia del concreto (Resistencia a esfuerzo a compresión).

C= Proporción volumétrica del cemento en la mezcla

W= Proporción volumétrica del agua en la mezcla

A= Proporción volumétrica del aire en la mezcla

K= Constante de ajuste

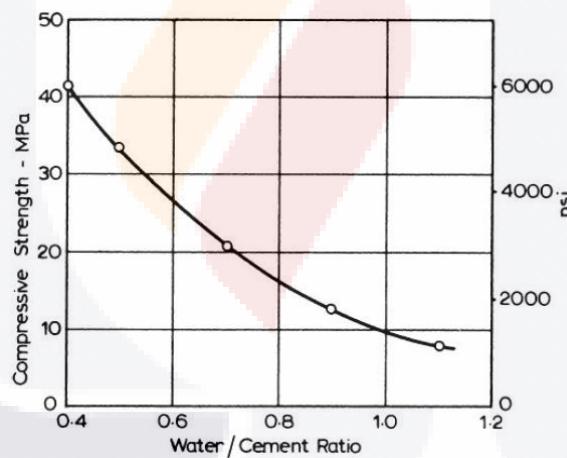


Figura 27. Relación entre la resistencia a compresión Vs relación agua/cemento, concreto hecho con cemento portland, resistencia a 7 días (Neville, 2011. P.446)

La relación entre agua y cemento, así como el nivel de compactación, son elementos fundamentales que afectan la porosidad de la pasta de cemento endurecida. Esta porosidad está directamente relacionada con la cantidad de vacíos presentes en el concreto, lo cual impacta su resistencia y durabilidad.

El volumen de vacíos en el concreto es determinado por diversos factores, entre los que se incluyen la cantidad de aire atrapado durante el proceso de mezclado y la compactación del material. Una relación alta de agua a cemento generalmente incrementa la porosidad, ya que una mayor cantidad de agua en la mezcla puede resultar en una pasta más porosa una vez que el concreto se ha endurecido.

Es relevante mencionar que el volumen de aire dentro del concreto es crucial porque los vacíos de aire funcionan como discontinuidades en la matriz del material, lo cual puede influir negativamente en su resistencia y durabilidad. Por este motivo, se incorpora el volumen de aire en la ecuación de Féret para considerar su efecto sobre la resistencia del concreto.

En conclusión, tanto la relación agua/cemento como el grado de compactación influyen en el volumen de vacíos en el concreto, afectando así su resistencia y durabilidad. Por ende, es esencial tener en cuenta estos factores al diseñar y producir mezclas de concreto con el objetivo de asegurar un material que sea tanto durable como eficiente en su rendimiento.

Cabe señalar que la regla sobre la relación agua/cemento tiene un ámbito limitado y existen circunstancias bajo las cuales su aplicación puede ser menos efectiva o incluso perjudicial. A continuación se presentan consideraciones clave para validar esta relación:

Compacidad del concreto: En situaciones donde la relación agua/cemento es muy baja, puede ser complicado lograr una compresión adecuada del concreto. Esto podría suceder si la mezcla resulta ser demasiado seca y difícil de manejar, llevando a una distribución inadecuada de los materiales y disminuyendo así la resistencia final del concreto.

Contenido extremadamente alto de cemento: Utilizar un contenido excesivo de cemento puede generar problemas relacionados con la resistencia, especialmente si se emplea agregado grueso considerablemente grande. Esto podría llevar a un fenómeno conocido como retroceso de resistencia, donde esta disminuye con el tiempo cuando debería aumentar. Este efecto puede deberse a tensiones inducidas por retracción que ocasionan fisuras en la pasta o pérdida del vínculo entre cemento y agregado.

Restricción impuesta por partículas agregadas: Las partículas más grandes pueden limitar la retracción natural de la pasta cementicia, resultando en tensiones internas y fisuras dentro del concreto. Esta situación podría afectar adversamente tanto su resistencia como durabilidad, particularmente en mezclas con relaciones agua/cemento muy bajas combinadas con altos contenidos cementicios.

En resumen, aunque aplicar la regla sobre relación agua/cemento es útil para diseñar mezclas adecuadas para concretos, es fundamental tomar conciencia acerca sus limitaciones e integrar otros aspectos importantes como contenido cementicio, tamaño del agregado y condiciones específicas durante compresión para garantizar un producto final robusto y eficaz.

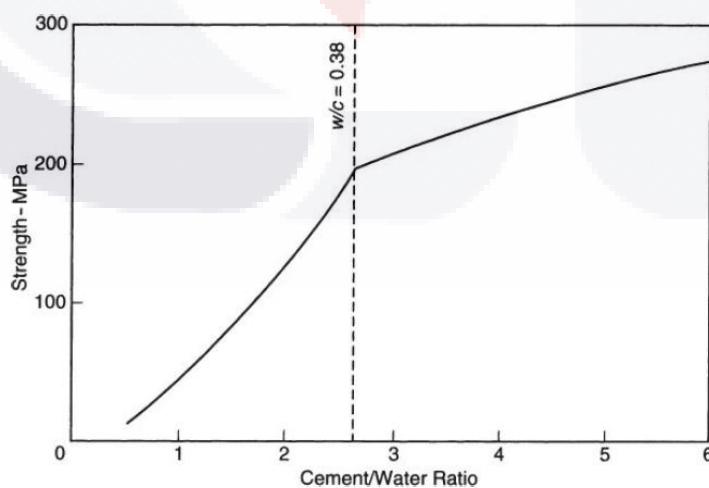


Figura 28. Relaciones de resistencia a compresión VS relación agua cemento
(Neville, 2011. P. 448)

La proporción de agua y cemento es, en realidad, el factor más determinante en la resistencia del concreto bien compactado. No obstante, no es el único aspecto que afecta dicha resistencia; otros elementos como la relación entre cemento y agregado, las propiedades del agregado, así como el tamaño máximo del mismo, también son cruciales para el rendimiento del concreto. Estos aspectos son fundamentales ya que influyen en la fortaleza de la pasta de cemento, en la unión entre esta pasta y los agregados gruesos, y en la propia resistencia de las partículas de agregado grueso.

3.1.1.2 Porosidad

La relación que existe entre la resistencia y la cantidad total de vacíos no es exclusiva del concreto; también aparece en otros materiales frágiles donde la presencia de agua genera poros. De hecho, cuando la resistencia de distintos materiales se compara tomando como referencia su resistencia teórica sin porosidad, muchos de ellos muestran un comportamiento similar: mantienen prácticamente la misma tendencia entre su resistencia relativa y el nivel de porosidad que presentan.

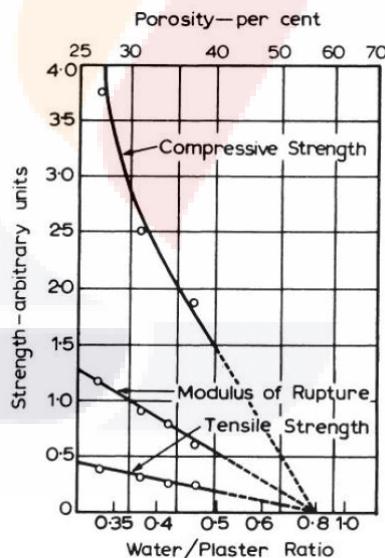


Figura 29. Relación de porosidad-resistencia-relación agua/cemento (Neville, 2011. P. 448)

Además del volumen de los poros, su forma y su tamaño también juegan un papel clave. Del mismo modo, la geometría de las partículas sólidas y su módulo de elasticidad afectan cómo se distribuyen los esfuerzos dentro del material, lo que a su vez determina en qué zonas del concreto se concentran más las tensiones.

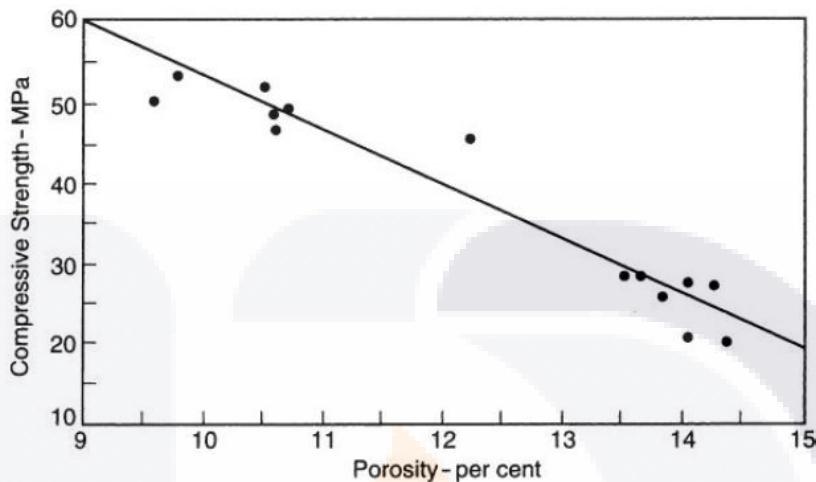


Figura 30. Relación entre resistencia a la compresión y logaritmo de porosidad de compactos de pasta de cemento para diversos tratamientos de presión y alta temperatura (Neville, 2011. P. 459)

La resistencia de la pasta de cemento hidratada está estrechamente ligada tanto a su porosidad como a la forma en que se distribuyen los tamaños de sus poros. Aunque es necesario interpretar con cautela los resultados obtenidos en muestras de pasta de cemento pura fabricadas en laboratorio para poder aplicarlos de manera útil al concreto real, entender cómo influye la porosidad en la resistencia de la pasta hidratada sigue siendo un aspecto muy valioso.

Como vimos anteriormente en el artículo 2.22 Efecto de las condiciones de magnetización sobre el asentamiento y la resistencia a compresión del concreto con agua magnetizada 10.1016/j.cscm.2024.e03920 en la imagen:

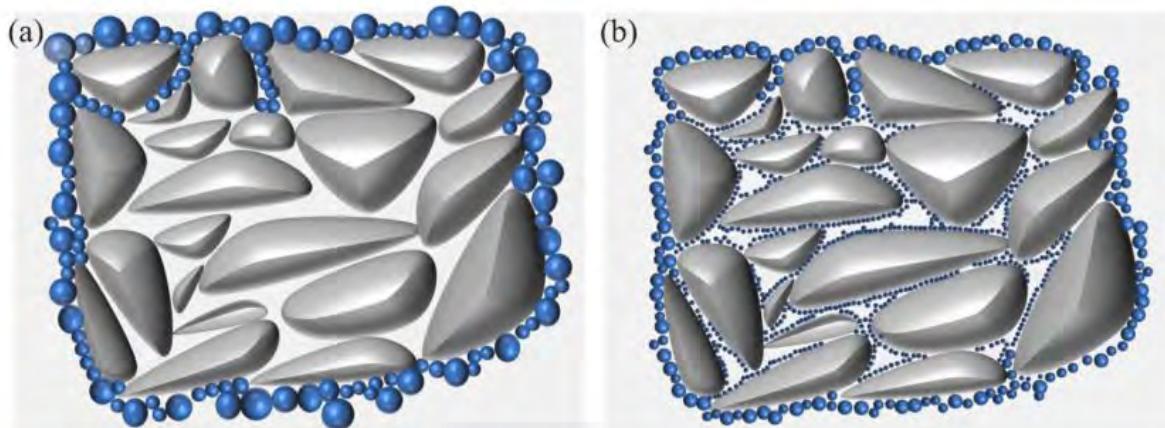


Figura 31. Representación esquemática que muestra la accesibilidad de agua común dentro de partículas de concreto, y (b) representación esquemática de la accesibilidad de agua magnetizada dentro de las partículas de concreto (JIANG, 2023. P.12)

Y con el modelo de hidratación en la microestructura del concreto vemos claramente que con el uso de agua magnetizada podemos disminuir las fuerzas de “frontera” que limitan la absorción y adsorción del agua en la mezcla del concreto, tanto en su fraguado inicial como en su curado.

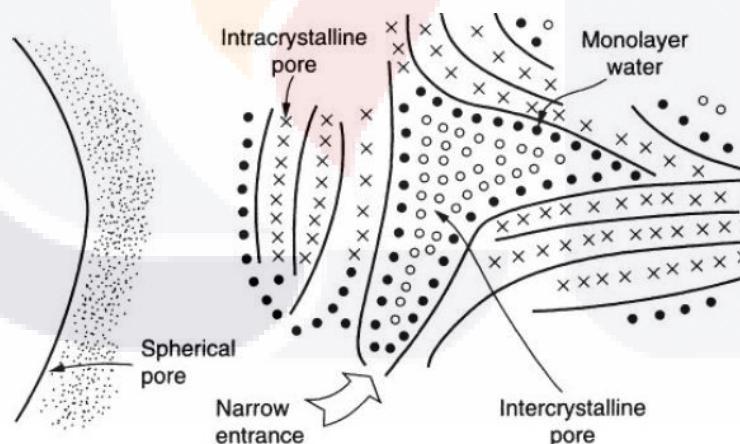


Figura 32. Caracterización de la porosidad de los hidratados, modelo de hidratación en la microestructura del concreto (Stoke-on-Trent, 1984).

3.1.1.3 Microagrietamiento

Las investigaciones han mostrado que, incluso antes de aplicar cualquier carga al concreto, ya existen pequeñas grietas en la zona de contacto entre el agregado grueso y la pasta de cemento. Esto se debe, probablemente, a las diferencias inevitables en las propiedades mecánicas de ambos materiales, así como a los efectos de la retracción y de los cambios térmicos. Esta microfisuración no solo aparece en concretos de resistencia normal, sino también en concretos curados en condiciones húmedas y con relaciones agua/cemento muy bajas, incluso del orden de 0.25, que no han sido sometidos a esfuerzos.

Aunque no existe una definición universal del tamaño de una microfisura, se suele considerar como límite superior unos 0.1 mm, ya que es aproximadamente el mínimo que puede apreciarse sin instrumentos.

Cuando la carga aplicada aumenta y alcanza entre el 70 % y el 90 % de la resistencia última, las grietas empiezan a abrirse dentro del mortero (la mezcla de pasta de cemento y agregado fino), conectándose con las grietas que ya existían en la interfaz. Esto da lugar a un patrón continuo de fisuras, que corresponde a la fase en la que las grietas se propagan de forma rápida. En los concretos de alta resistencia esta etapa inicia a un nivel de esfuerzo mayor que en los concretos convencionales.

Las mediciones realizadas mediante radiografía de neutrones han mostrado que, en esta fase, la longitud total de microfisuras crece notablemente. Aun así, el concreto de alta resistencia presenta una longitud acumulada de microfisuración menor que la que se observa en concretos de resistencia normal.

3.1.1.4 Calor de hidratación

Es fundamental aclarar qué se entiende por hidratación, concepto que Taylor (2004) describe de la siguiente manera: en química del cemento, la hidratación abarca todos los cambios que se producen cuando un cemento sin hidratar, o alguna de sus fases, entra en contacto con el agua. Estas transformaciones no se limitan a reacciones simples que convierten compuestos anhidros en hidratos, sino que suelen involucrar procesos más complejos.

El calor de hidratación es la energía liberada durante la reacción química entre el cemento y el agua. Este fenómeno es clave para comprender el comportamiento del cemento Portland, pues sus principales fases (C_3S , C_2S , C_3A y C_4AF) reaccionan con el agua para formar productos como $C-S-H$ y $Ca(OH)_2$, liberando calor en el proceso. La hidratación no ocurre de manera uniforme, sino que pasa por distintas etapas: una fase inicial con un pico rápido de calor justo después de la mezcla, seguida de un periodo de reposo donde la liberación de calor disminuye y permite trabajar el concreto; luego, una etapa acelerada en la que el calor vuelve a aumentar mientras el material desarrolla resistencia; y finalmente, una fase más lenta donde el endurecimiento continúa con una liberación térmica mucho menor.

Varios factores influyen en la cantidad y velocidad con la que se libera este calor: el tipo de cemento, cuya composición determina la intensidad de la hidratación; la relación agua/cemento, que condiciona la temperatura que se alcanza; y el uso de aditivos, como retardantes o acelerantes, que pueden modificar la rapidez del proceso. Las condiciones del entorno, especialmente la temperatura y humedad, también afectan de manera notable la evolución del calor de hidratación.

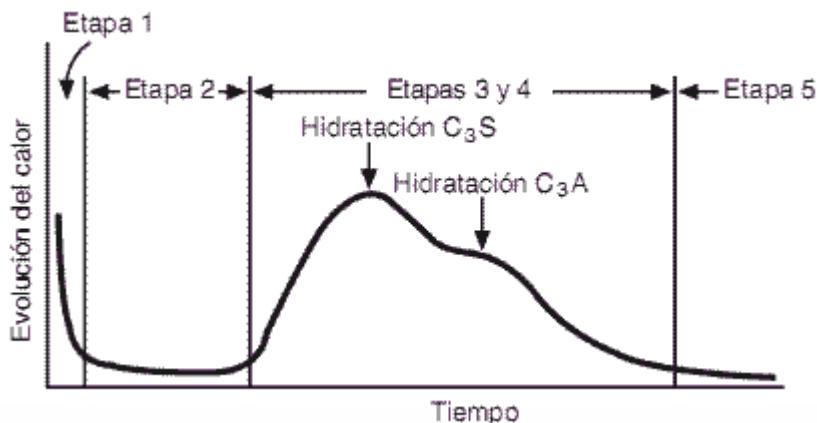


Figura 33. Evolución del calor como función del tiempo para pasta de cemento

En la imagen anterior, se pueden identificar claramente las distintas fases del proceso de hidratación del cemento. **La primera fase** se refiere al calor de humedecimiento o a la hidrólisis inicial, donde los componentes C_3A y C_3S son predominantemente hidratados. **La segunda fase** abarca el período de incubación, que está vinculado al tiempo de fraguado inicial. **Durante la tercera fase**, ocurre una reacción acelerada de los productos resultantes de la hidratación, lo que influye tanto en la velocidad de endurecimiento como en el tiempo final de fraguado. **En la cuarta fase**, se observa una desaceleración en la formación de estos productos, lo que afecta la tasa de incremento de resistencia en las primeras etapas. **Por último, en la quinta fase**, el proceso es más gradual y se caracteriza por una formación estable de productos hidratados, lo que ayuda a estabilizar la velocidad de aumento en la resistencia a medida que el concreto envejece.

Las consecuencias del calor generado durante la hidratación son notables. Es fundamental controlar la temperatura en estructuras masivas para prevenir fisuras térmicas. Asimismo, es esencial tener en cuenta el calor de hidratación al diseñar y planificar proyectos constructivos, especialmente en condiciones climáticas extremas. Una gestión adecuada del calor producido durante este proceso contribuye a mejorar tanto la durabilidad como la vida útil del concreto, evitando problemas estructurales y asegurando un estándar elevado en la calidad de las construcciones.

3.1.1.5 Módulo de elasticidad

Para determinar las deformaciones generadas por cargas de corta duración, en las que el comportamiento del concreto puede ser considerado aproximadamente elástico, es esencial establecer un valor adecuado para el módulo de elasticidad. No obstante, al examinar las curvas de esfuerzo-deformación, se evidencia que la noción tradicional de módulo de elasticidad no se aplica directamente al concreto.

En este ámbito, generalmente se consideran dos definiciones principales: el módulo tangente inicial, que representa la pendiente de la curva en un punto específico, y el módulo secante, que se obtiene entre dos puntos diferentes de la curva. En algunas situaciones, con el fin de simplificar el análisis de cargas prolongadas, se recurre a valores del módulo de elasticidad inferiores a los sugeridos por estas definiciones.

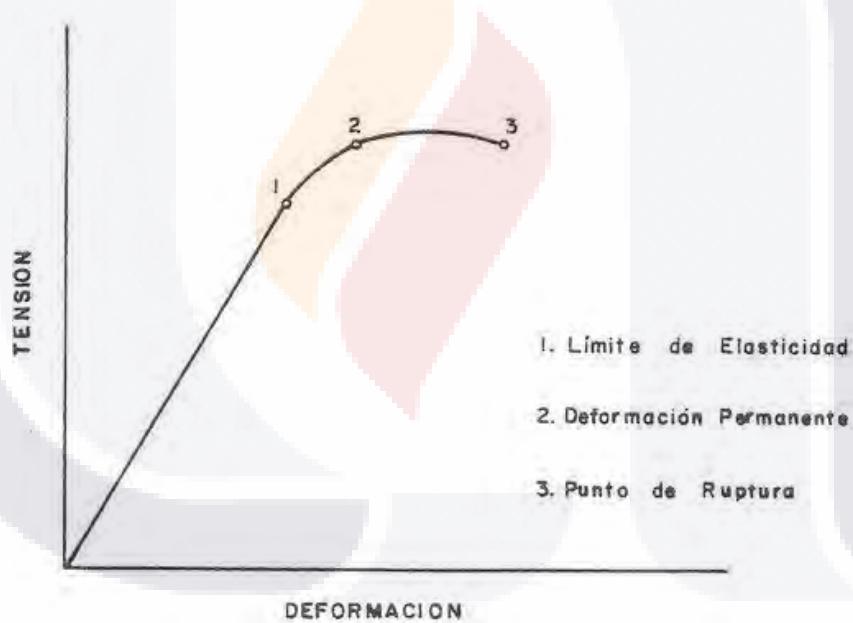


Figura 34. Gráfica esfuerzo vs deformación (la pendiente del tramo recto representa el valor constante del módulo de elasticidad)

Después de varios ciclos de carga y descarga a tensiones relativamente bajas, la relación entre tensión y deformación tiende a mostrar un comportamiento casi lineal. Dado que determinar con precisión el módulo tangente inicial puede ser complicado, en ocasiones se llevan a cabo ciclos de carga y descarga previos para "asentar" la

curva de tensión-deformación, lo cual permite obtener una estimación más fiable del módulo de elasticidad.

Este módulo se relaciona principalmente con la resistencia y la densidad del concreto. Se han propuesto diversas fórmulas para calcularlo a partir de estas variables, como las que se encuentran en el Reglamento ACI y en el Reglamento del Distrito Federal. Sin embargo, los valores obtenidos mediante cálculo pueden diferir considerablemente de aquellos medidos experimentalmente; por ello, cuando se busca precisión, se sugiere determinar el módulo de elasticidad del concreto específico que se utilizará.

En algunos análisis del comportamiento elástico también se consideran el módulo de elasticidad bajo esfuerzo cortante (G) y el coeficiente de Poisson (v). Generalmente, el módulo cortante se calcula como una fracción del módulo de compresión, mientras que el coeficiente de Poisson suele variar entre 0.12 y 0.20 según investigaciones experimentales; no obstante, es común adoptar un valor aproximado de 0.18.

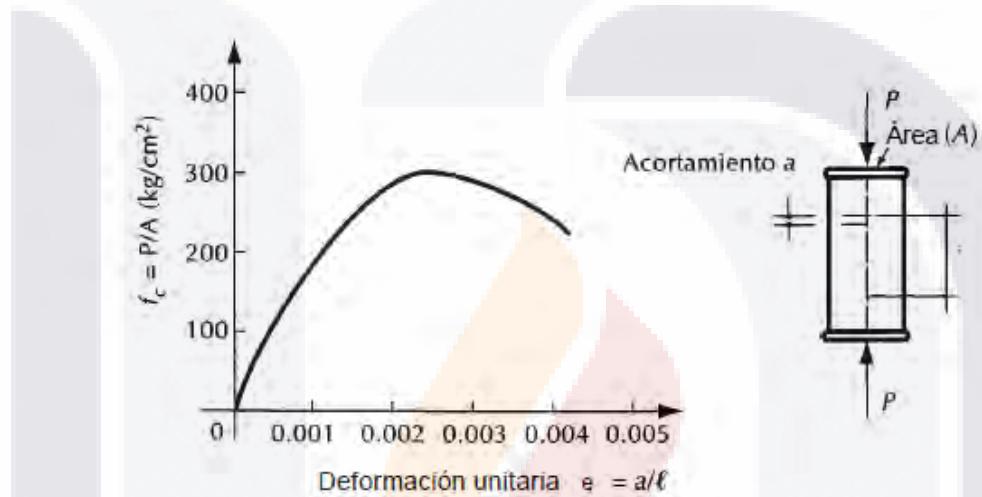
3.1.1.6 Características esfuerzo-deformación del concreto simple

El esfuerzo se define comúnmente como la cantidad de acción que se aplica a un material, mientras que la deformación representa cómo reacciona dicho material. Sin embargo, en ciertas circunstancias, como durante procesos de asentamiento o contracción, esta relación se invierte: aquí, la deformación actúa como indicador de la acción y el esfuerzo refleja la respuesta del concreto. Por lo tanto, para entender correctamente el comportamiento del concreto simple, es fundamental trazar las curvas de esfuerzo-deformación asociadas a los diversos tipos de cargas que puede experimentar.

El análisis del comportamiento del concreto requiere una comprensión de las relaciones entre las fuerzas aplicadas al material y su reacción ante estas, abarcando múltiples escenarios. Las curvas de esfuerzo-deformación son esenciales para

representar estas interacciones, obtenidas mediante pruebas realizadas bajo diferentes condiciones. Estas pruebas muestran cómo el esfuerzo aplicado se relaciona con la deformación resultante. En situaciones específicas, como asentamientos y contracciones, esta relación se transforma, con la deformación indicando la acción y el esfuerzo sirviendo como respuesta.

Figura 35. Curva esfuerzo-deformación en compresión axial de un espécimen sujeto a carga de corta duración (González, 2005. P.34)

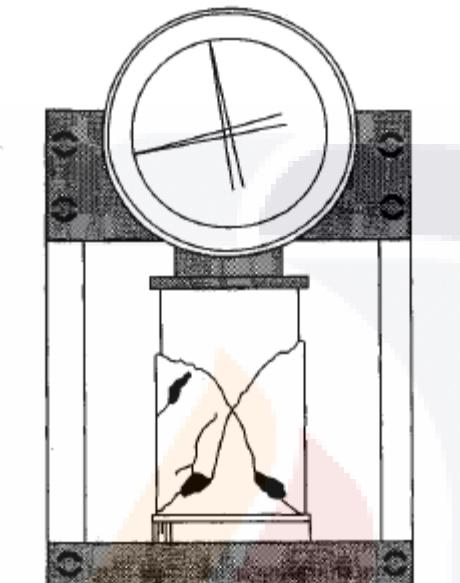


Para comprender el comportamiento del concreto, es crucial elaborar curvas de esfuerzo-deformación que contemplen diversas acciones posibles. Investigaciones experimentales han analizado el comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones de compresión y tensión, incluyendo uniaxiales, biaxiales y triaxiales, lo que ha llevado a la formulación de expresiones para calcular las deformaciones resultantes de esfuerzos específicos.

Las curvas de esfuerzo-deformación se generan a partir de pruebas realizadas en prismas sometidos a carga axial uniforme. El cálculo de los esfuerzos se realiza dividiendo la carga total por el área de la sección transversal, mientras que la deformación unitaria se define como la relación entre el acortamiento total y la longitud sobre la que se mide. Sin embargo, dado que el concreto presenta heterogeneidad, esta representación es una idealización: los esfuerzos pueden variar dentro de una

misma sección debido a la distribución de los componentes como pasta y agregado. No obstante, desde la perspectiva del diseño estructural, estas variaciones internas son generalmente consideradas como poco relevantes.

Figura 36. Falla en compresión de un cilindro de concreto (González, 2005. P.32)



3.1.1.7 Índices de resistencia

El índice de resistencia más frecuentemente empleado para el concreto se determina a través de ensayos de compresión simple realizados sobre especímenes, gracias a su simplicidad y a su capacidad para evaluar una de las propiedades esenciales del material. Este índice es considerado un buen indicador de la resistencia del concreto en estructuras, apoyado por la correlación histórica entre la resistencia medida en los especímenes y la de diversos elementos estructurales bajo diferentes cargas.

Sin embargo, es fundamental reconocer que la resistencia del concreto en las estructuras puede variar significativamente respecto a la obtenida en los especímenes de control. Esto se debe a factores como el transporte, la colocación, el curado y el

tipo de carga aplicada. Por lo tanto, para obtener una estimación más precisa de la resistencia in situ, se pueden realizar ensayos sobre cilindros extraídos con taladros especiales o utilizar métodos no destructivos. Es crucial que el índice de resistencia elegido represente adecuadamente el comportamiento del concreto frente a las solicitudes predominantes en la estructura.

En años recientes, ha emergido una tendencia hacia la consideración de otros índices, como la resistencia a la tensión, especialmente en casos donde las solicitudes principales no son compresivas, como ocurre en secciones sometidas a cortante.

En relación con los ensayos de compresión, existen diversos tipos de especímenes utilizados, tales como cilindros, cubos y prismas; siendo los cilindros los más comunes hoy en día. La selección del tipo de espécimen debe tener en cuenta aspectos como las condiciones de muestreo, fabricación, curado y velocidad con que se aplica la carga durante el ensayo.

Por último, las normativas y estándares actuales ofrecen directrices detalladas para llevar a cabo estos ensayos de manera coherente y precisa. Sin embargo, siempre existirá cierta variabilidad en los resultados debido a múltiples factores; por lo tanto, es esencial seguir meticulosamente las normas pertinentes para asegurar mediciones fiables y representativas de la resistencia del concreto.

3.1.1.8 Comportamiento, modos de falla y resistencia de elementos sujetos a compresión axial

Analizar el comportamiento del concreto bajo carga axial pura es esencial, ya que proporciona una comprensión de diversos aspectos relacionados con el rendimiento de distintos tipos de elementos de concreto reforzado. Asimismo, la resistencia a la carga axial se utiliza como referencia para determinar la resistencia de aquellos elementos que están expuestos a una combinación de carga axial y otras fuerzas.

Este análisis sirve como un enfoque para sistematizar y estandarizar los métodos de evaluación aplicados a los elementos de concreto.

Existen varios tipos generales de fallas que pueden ocurrir en los elementos de concreto; sin embargo, esta investigación se centrará específicamente en la falla por compresión axial.

- **Falla por compresión axial (falla frágil)**

La falla por compresión axial ocurre cuando un cilindro de concreto es sometido a una carga compresiva excesiva a lo largo de su eje. Bajo estas condiciones, el concreto se rompe de manera frágil, comenzando con grietas en la zona central del cilindro, que se extienden radialmente hacia las superficies laterales. Este tipo de falla es generalmente abrupta y puede causar la fragmentación del material. Es una de las formas más comunes de falla en cilindros de concreto bajo pruebas de compresión.

- **Falla por compresión lateral (falla en un borde)**

La falla por compresión lateral se presenta cuando el cilindro experimenta una carga lateral o no uniforme, lo que provoca deformaciones en la superficie lateral del concreto. Las grietas horizontales o incluso el desplazamiento de la parte lateral del cilindro son comunes en este tipo de falla. Las cargas mal distribuidas o una colocación incorrecta del cilindro en la máquina de ensayo pueden generar este tipo de comportamiento, debilitando la estructura.

- **Falla por deslizamiento en las interfaces**

Este tipo de falla ocurre cuando existen zonas de debilidad dentro del concreto, como interfaces mal distribuidas o defectos en la mezcla. Las grietas se originan a lo largo de estas interfaces, donde las fases del material (por ejemplo, entre concreto y

refuerzo o entre capas de mezcla) no están bien cohesionadas. El deslizamiento de las partículas en estas zonas de debilidad puede generar fallas localizadas, especialmente si el concreto no está homogéneamente mezclado o bien compactado.

- **Falla por cizalladura**

La falla por cizalladura se presenta cuando el concreto experimenta fuerzas de corte, generalmente bajo una combinación de compresión y torsión. Este tipo de falla provoca grietas inclinadas o diagonales que se extienden desde las zonas de mayor concentración de tensión hacia los bordes del cilindro. Las fracturas siguen un patrón característico de deslizamiento o desplazamiento tangencial, afectando la integridad del material.

- **Falla por fluencia o deformación plástica**

En condiciones de carga sostenida o repetida, el concreto puede experimentar fluencia, lo que implica una deformación plástica gradual a lo largo del tiempo. Esta falla no se produce de manera instantánea, sino que se desarrolla progresivamente, especialmente bajo cargas que exceden la capacidad de resistencia a largo plazo del material. La fluencia es más común en concretes de baja resistencia o en condiciones de alta humedad y temperatura.

- **Falla por expansión debido a reacciones químicas**

Las reacciones químicas internas, como la reacción álcali-sílice o la reacción con sulfatos, pueden causar la expansión del concreto, lo que eventualmente lleva a la formación de grietas. Estas reacciones pueden debilitar la estructura interna del concreto, causando una expansión que da lugar a fisuras internas y puede afectar la durabilidad y resistencia del material a largo plazo.

- **Falla por fisuración por secado (retracción)**

La fisuración por secado ocurre cuando el concreto pierde agua rápidamente durante el proceso de curado, lo que genera una retracción. Esta retracción provoca grietas superficiales o internas, especialmente en las primeras etapas del curado. La pérdida de humedad en condiciones de desecación rápida o mal curado puede ser una causa importante de este tipo de fisuración, afectando la resistencia final del concreto.

Factores que influyen en los comportamientos de falla

Varios elementos influyen en el modo en que un cilindro de concreto falla al ser sometido a carga. Entre los más relevantes se encuentran las características del concreto, como la relación entre agua y cemento, la composición de la mezcla y los agregados empleados, que son determinantes en la resistencia y uniformidad del material. Las condiciones bajo las cuales se realizan las pruebas son igualmente significativas; factores como la velocidad de aplicación de la carga, así como la temperatura y humedad del ambiente, pueden afectar el comportamiento del concreto. Asimismo, las dimensiones y la forma del cilindro tienen un impacto en la distribución de tensiones, siendo los cilindros más grandes o con formas irregulares más susceptibles a fallas de manera distinta. La calidad del proceso de curado y las condiciones ambientales también juegan un papel crucial en la resistencia y durabilidad del concreto, afectando directamente su desempeño al ser cargado.

3.1.1.9 Efectos del tiempo en el concreto endurecido

El proceso de hidratación del cemento durante el curado del concreto conlleva un aumento progresivo en su resistencia a lo largo del tiempo. Este proceso puede variar en eficacia según las condiciones de simbiosis de agua con el entorno post-vertido del concreto. Los ensayos realizados a lo largo del tiempo muestran la evolución de la resistencia del concreto con el tiempo, reflejando el avance del proceso de hidratación y curado.

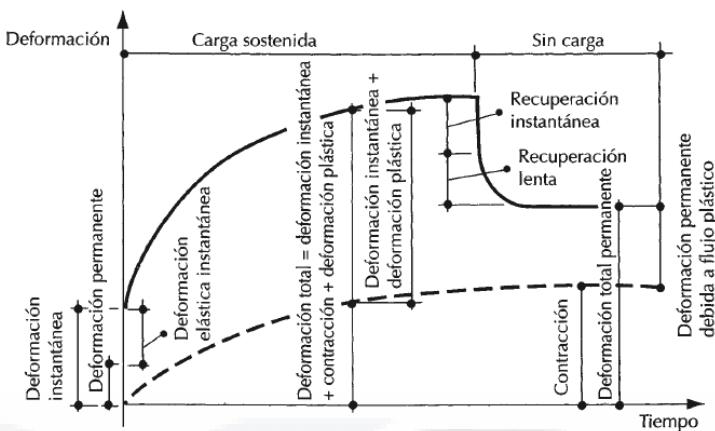


Figura 37. Curva típica deformación-tiempo, bajo condiciones ambientales constantes (González, 2005. P.44)

El propósito de este estudio es examinar la manera en que las diversas condiciones de intercambio de agua afectan el proceso de hidratación y, por ende, la resistencia del concreto. Para lograr esto, se realizarán pruebas destinadas a evaluar las variaciones en la resistencia bajo diferentes tipos de agua y condiciones de intercambio. Se anticipa establecer una relación clara entre el tipo de agua empleado y la evolución de la resistencia del concreto, lo cual permitirá formular recomendaciones para optimizar las prácticas de curado y, potencialmente, mejorar tanto la durabilidad como la eficiencia de las estructuras de concreto en el ámbito de la construcción..

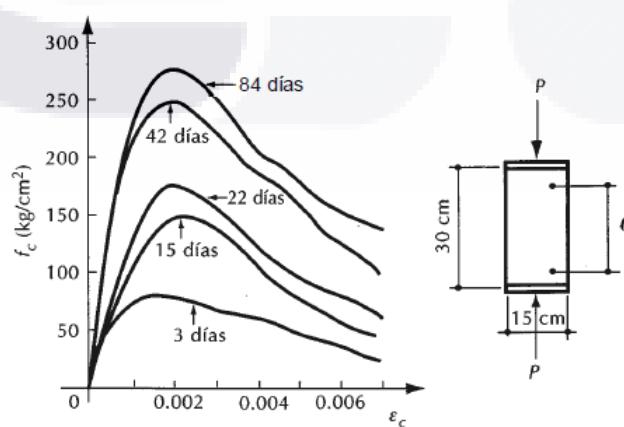


Figura 38. Cambio en las propiedades mecánicas del concreto respecto a su edad (González, 2005. P.34)

3.1.1.10 Comportamiento y modos de falla de elementos sujetos a flexión simple (Precedente al cálculo de módulo de resistencia)

El análisis del comportamiento de componentes estructurales de concreto, como vigas y losas, bajo condiciones de flexión es crucial para entender su resistencia y capacidad de deformación antes de un eventual colapso. En la práctica, estos elementos se suelen estudiar en una única dirección, donde se evalúa la distribución de tensiones y deformaciones a lo largo de su extensión.

Al incrementarse la carga aplicada, las tensiones en el acero de refuerzo también aumentan hasta alcanzar el límite elástico. En este punto, la deflexión del elemento experimenta un crecimiento significativo, mientras que la carga adicional necesaria se mantiene relativamente baja, sugiriendo que la resistencia del componente apenas supera la carga que provoca el inicio de la fluencia del acero. A medida que se desarrollan grietas, el área de compresión del concreto disminuye hasta que este material comienza a colapsar, lo cual se manifiesta con el desprendimiento de escamas en dicha zona.

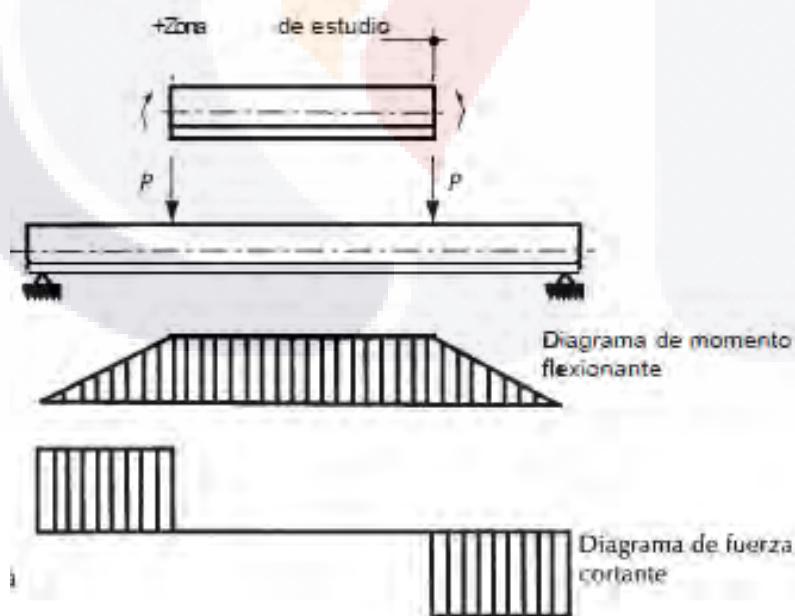


Figura 39. Diagrama para estudio de módulo de ruptura (González, 2005. P.55)

3.1.1.11 Composición química del cemento portland

El cemento Portland se produce al calentar una mezcla de piedra caliza y arcilla, o materiales con composiciones y reactividades similares, a temperaturas cercanas a los 1450 °C. Este proceso genera una fusión parcial que resulta en la creación de nódulos denominados clínker. Posteriormente, el clínker se combina con una cantidad reducida de sulfato de calcio y se muele finamente para obtener el cemento. El sulfato de calcio desempeña un papel crucial en la regulación del tiempo de fraguado y en el desarrollo de la resistencia; generalmente se utiliza yeso, aunque puede ser reemplazado total o parcialmente por otras formas de sulfato de calcio, y algunas normativas permiten la adición de otros materiales durante la molienda. Típicamente, el clínker posee una composición que incluye aproximadamente 67 % de CaO, 22 % de SiO₂, 5 % de Al₂O₃, 3 % de Fe₂O₃ y 3 % de otros elementos. Está constituido principalmente por cuatro fases: alita, belita, aluminato y ferrita, además de pequeñas cantidades de sulfatos alcalinos y óxido de calcio. El endurecimiento del cemento ocurre a través de las reacciones entre estas fases y el agua.

La alita es la fase predominante en los clíkeres de cemento Portland, representando entre un 50 y un 70 % del total. Se trata del silicato tricálcico (Ca₃SiO₅), cuya composición y estructura cristalina pueden variar debido a sustituciones iónicas. Esta fase reacciona rápidamente con el agua y es la que más contribuye al aumento inicial en la resistencia durante los primeros 28 días.

La belita representa entre el 15 y el 30 % del clínker; corresponde al silicato dicálcico (Ca₂SiO₄), generalmente en su forma polimórfica β. Su reacción con el agua es más lenta, lo que limita su contribución a la resistencia inicial; sin embargo, resulta esencial para mejorar la resistencia a largo plazo. Después de un año, la resistencia proporcionada por la alita y la belita pura es aproximadamente equivalente bajo condiciones similares.

El aluminato constituye entre el 5 y el 10 % del clínker; corresponde al aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$), que también puede experimentar modificaciones estructurales debido a sustituciones iónicas. Esta fase reacciona rápidamente con el agua pero puede provocar un fraguado excesivamente rápido si no se añade un regulador adecuado, normalmente yeso.

Finalmente, la ferrita representa entre el 5 y el 15 % del clínker; corresponde al aluminoferrito tetracálcico ($\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$), cuya composición varía principalmente mediante relaciones Al/Fe y sustituciones iónicas. Su velocidad reaccionaria con el agua suele ser alta inicialmente pero disminuye significativamente con el tiempo.

<i>Name of compound</i>	<i>Oxide composition</i>	<i>Abbreviation</i>
Tricalcium silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetracalcium aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Figura 40. Compuestos principales del cemento portland (Taylor, 1997, P.58)

3.1.1.12 Curado del concreto

El curado del concreto consiste en mantener niveles adecuados de humedad en el material recién colocado durante un período determinado, con el fin de garantizar tanto el desarrollo de su resistencia como su durabilidad. Este proceso es fundamental, ya que permite que las reacciones de hidratación del cemento se completen correctamente, asegurando el endurecimiento y la consolidación del concreto.

Existen varios tipos de curado:

- **Métodos Húmedos:** Estos métodos implican la aplicación de agua sobre la superficie del concreto para mantenerla húmeda. Ejemplos incluyen el uso de mantas húmedas, rociadores de agua o cubrir la superficie con materiales absorbentes que se mantienen mojados.

- Métodos de Sellado: Consisten en la aplicación de membranas o selladores líquidos que crean una barrera sobre la superficie del concreto, previniendo la pérdida de humedad. Los selladores pueden ser líquidos de curado aplicados mediante pulverización.
- Métodos de Cubrimiento: Involucran cubrir el concreto con láminas de plástico, lonas o materiales impermeables que retienen la humedad en la superficie.
- Métodos de Vapor: Utilizados principalmente en climas fríos, implican la aplicación de vapor de agua caliente sobre el concreto para mantener la temperatura y humedad adecuadas.

El curado adecuado del concreto es esencial para el desarrollo de su resistencia máxima, mejora su durabilidad, previene la retracción plástica y la formación de fisuras, y aumenta su resistencia a la abrasión. El tiempo de curado puede variar según el tipo de cemento, las condiciones ambientales y los requisitos del proyecto, pero generalmente se recomienda un período mínimo de 7 días. En resumen, el curado del concreto es fundamental para asegurar que el material desarrolle sus propiedades óptimas de resistencia y durabilidad mediante el mantenimiento de la humedad adecuada durante el tiempo necesario.

3.1.2 Control de procesos

3.1.2.1 Evaluación de datos

Los resultados de las pruebas tienden a mostrar un cierto nivel de variabilidad, por lo que para determinar la consistencia del producto y la fiabilidad de las mediciones, se emplean métricas estadísticas como el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

La desviación estándar es una medida que indica cuán dispersos están los datos con respecto al promedio. Para calcularla, primero se determina la varianza, que representa el promedio de las diferencias al cuadrado entre cada dato y la media. Posteriormente, se obtiene la raíz cuadrada de ese valor. Un valor más alto de desviación estándar sugiere que los datos están más distribuidos en relación con el promedio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}}$$

Figura 41. Ecuación de la deviación estándar (González, 2005. P.60)

El coeficiente de variación es una medida sin unidades que se obtiene al dividir la desviación estándar entre el promedio y expresarlo como un porcentaje. Esta medida permite comparar de manera consistente conjuntos de datos de distinta magnitud y se emplea frecuentemente para evaluar la uniformidad de los resultados de los ensayos.

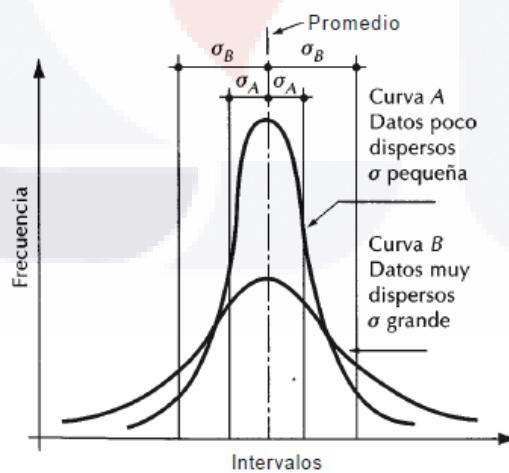


Figura 42. Gráfica A datos poco dispersos Vs gráfica B datos muy dispersos
(González, 2005. P.61)

3.1.2.2 Control de calidad

El control de calidad en estructuras de concreto es fundamental para garantizar su integridad y longevidad, ya que implica la verificación del cumplimiento de los requisitos establecidos dentro de las tolerancias definidas.

En el diseño de una estructura de concreto, se especifica la calidad de los materiales, lo que generalmente incluye un valor promedio y una medida de dispersión, como la desviación estándar o el coeficiente de variación. Sin embargo, calcular estas medidas puede ser complicado, ya que requiere realizar un número significativo de ensayos para obtener resultados confiables. Por esta razón, frecuentemente se utilizan métodos alternativos más prácticos.

Por ejemplo, el Reglamento ACI 318-02 establece criterios para evaluar la resistencia del concreto: el promedio de las resistencias de tres muestras consecutivas debe ser al menos igual a la resistencia especificada y ninguna muestra individual debe estar por debajo de un límite establecido según la resistencia nominal. Para cumplir con estos requisitos, es crucial llevar a cabo un muestreo representativo y realizar ensayos cuyas mediciones sean analizadas estadísticamente. La determinación de qué constituye una muestra representativa es compleja, ya que depende tanto de la variabilidad del concreto como de las condiciones bajo las cuales se fabrica.

En conclusión, el control de calidad del concreto implica asegurar que los materiales cumplan con las especificaciones requeridas y que la ejecución del proyecto se lleve a cabo adecuadamente mediante un proceso que abarca muestreo, ensayos, análisis estadístico y aplicación de criterios apropiados para garantizar tanto la seguridad como la durabilidad de la estructura.

3.1.3 El agua

3.1.3.1 El agua en México

México recibe anualmente una significativa cantidad de agua en forma de precipitación, aproximadamente 1,489 km³, suficiente para llenar una piscina del tamaño del Distrito Federal con una profundidad de un kilómetro. No obstante, de este total, cerca del 73% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22% fluye hacia ríos y arroyos, y solo el 4.8% logra infiltrarse en el subsuelo, reponiendo así los acuíferos de manera natural. Al considerar también las importaciones y exportaciones de agua a través de los ríos Bravo y Grijalva, México cuenta con alrededor de 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce cada año, lo que equivale a aproximadamente una cuarta parte de la mencionada piscina hipotética.

Sin embargo, esta cifra no refleja uniformidad en la disponibilidad por persona ni por región. Gran parte del territorio mexicano es árido o semiárido y recibe escasa precipitación; en contraste, las regiones del sur y centro del país presentan climas templados y tropicales que concentran cerca del 75% del recurso hídrico nacional.

Un elemento esencial a considerar es la población: entre 1950 y 2010, la población se cuadruplicó, transformando al país de ser mayoritariamente rural a predominantemente urbano. Este crecimiento poblacional ha resultado en una disminución notable en la disponibilidad per cápita de agua, que pasó de 30 mil metros cúbicos anuales en 1910 a apenas 3,982 en la actualidad. Además, la alta concentración poblacional junto con el rápido crecimiento urbano han incrementado la presión sobre los recursos hídricos debido al aumento en la demanda por alimentos, productos y servicios, así como al uso intensivo y contaminación del agua.

En términos generales, la disponibilidad promedio de agua por habitante en México es baja comparada con otros países. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que hay baja disponibilidad cuando menos de 5 mil metros cúbicos están

disponibles al año por persona. Asimismo, señala que un individuo requiere entre 20 y 100 litros diarios para satisfacer sus necesidades básicas; sin embargo, el consumo promedio actual en México alcanza los 200 litros diarios por persona.

3.1.3.2 El efecto de los campos magnéticos en el agua

En su obra “The Effect of Magnetic Fields on Water”, Vashishth (2015) presenta un análisis detallado de los efectos que los campos magnéticos pueden tener sobre las propiedades físicas y químicas del agua.

A lo largo del texto, el autor examina cómo los campos magnéticos interactúan con las moléculas de agua, modificando diversas propiedades como la solubilidad, la viscosidad, la conductividad y la velocidad de las reacciones químicas. Estos cambios en las propiedades del agua son fundamentales para entender cómo pueden optimizarse procesos industriales y mejorar aplicaciones tecnológicas que requieren agua tratada:

- Interacción del Magnetismo con la Estructura Molecular del Agua**

En este primer apartado, Vashishth describe cómo los campos magnéticos afectan las interacciones entre las moléculas de agua. El agua, que tiene una estructura polar debido a la diferencia de electronegatividad entre los átomos de oxígeno e hidrógeno, forma enlaces de hidrógeno entre sus moléculas. Se ha demostrado que cuando se aplica un campo magnético, estos enlaces pueden reorganizarse, lo que modifica la estructura molecular del agua. Este fenómeno puede alterar la red de moléculas de agua, lo que afectaría sus propiedades fisicoquímicas. Las modificaciones de la estructura molecular son responsables de muchos de los cambios observados en el comportamiento del agua bajo la influencia de un campo magnético.

• Efecto del Magnetismo sobre la Solubilidad

Uno de los efectos más destacados de los campos magnéticos sobre el agua es su capacidad para alterar la solubilidad de diversos solutos. Vashishth explica que el magnetismo puede influir en la forma en que los solutos se disuelven en agua al modificar la interacción entre las moléculas de agua y las partículas del soluto. Al aplicar un campo magnético, la estructura molecular del agua puede reorganizarse de manera que favorezca o desfavorezca la disolución de ciertas sustancias. Por ejemplo, se ha observado que algunos compuestos pueden disolverse más rápidamente bajo la influencia de un campo magnético, mientras que otros pueden experimentar una disminución en su solubilidad. Este fenómeno tiene implicaciones para el tratamiento de aguas y procesos industriales que requieren la disolución controlada de productos químicos o minerales.

• Alteración de la Velocidad de Reacciones Químicas

Vashishth también analiza cómo los campos magnéticos pueden modificar la velocidad de las reacciones químicas en soluciones acuosas. Los campos magnéticos afectan la orientación de las moléculas en las reacciones, lo que puede aumentar o disminuir la probabilidad de que los reactivos colisionen de manera efectiva. Este cambio en la probabilidad de colisión afecta la velocidad de las reacciones químicas. En algunas reacciones, los campos magnéticos aceleran el proceso, mientras que en otras lo ralentizan. El autor menciona que la modificación de la velocidad de las reacciones debido a los campos magnéticos es un área de interés en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, la química y la de tratamiento de aguas.

• Impacto sobre la Conductividad Eléctrica y la Viscosidad

La conductividad eléctrica y la viscosidad del agua también son afectadas por la presencia de un campo magnético. Vashishth señala que los campos magnéticos pueden alterar la movilidad de los iones presentes en el agua, lo que modifica su

capacidad para conducir electricidad. Este fenómeno es particularmente relevante en el tratamiento de aguas, donde el control de la conductividad es esencial. Además, los campos magnéticos pueden aumentar o disminuir la viscosidad del agua, lo que afecta su resistencia al flujo. Este cambio en la viscosidad puede tener aplicaciones prácticas en la optimización de procesos industriales, como en sistemas de refrigeración o en la formulación de soluciones químicas.

- **Aplicaciones Prácticas en el Tratamiento de Agua y Procesos Industriales**

El empleo de campos magnéticos en el tratamiento del agua ha despertado un notable interés. De acuerdo con Vashishth, el magnetismo puede ser aprovechado para disminuir la dureza del agua mediante la modificación de las interacciones entre los iones de calcio y magnesio que se encuentran en ella. La utilización de campos magnéticos promueve la precipitación de dichos iones, facilitando su eliminación sin requerir productos químicos adicionales. Este método ha sido adoptado en sistemas destinados al tratamiento de agua potable y en sectores que demandan agua de alta calidad. Asimismo, Vashishth resalta las aplicaciones del magnetismo en el ámbito agrícola, donde el tratamiento magnético del agua tiene el potencial de mejorar la eficiencia en el riego y aumentar la absorción de nutrientes por parte de las plantas.

En resumen, el efecto de los campos magnéticos sobre las propiedades del agua es un campo en constante desarrollo que promete tener aplicaciones significativas en diversas industrias. La investigación realizada por Vashishth proporciona una visión integral sobre cómo los campos magnéticos pueden afectar propiedades tales como la solubilidad, viscosidad, conductividad y velocidad de reacciones químicas. Aunque aún es necesario llevar a cabo más estudios para comprender plenamente los mecanismos subyacentes, los hallazgos hasta ahora abren un abanico de oportunidades para optimizar procesos; además, su aplicación en la producción de elementos concretos podría resultar en mejoras tanto en los procesos de fraguado como en la obtención de resistencia.

3.1.4 Campos magnéticos

El magnetismo es uno de los fenómenos fundamentales en la física, asociado al movimiento de cargas eléctricas. Es una manifestación de la interacción entre partículas subatómicas que genera campos magnéticos. Este capítulo aborda los principios básicos del magnetismo, su relación con las cargas y corrientes eléctricas, y sus aplicaciones, centrándose en su uso para modificar las propiedades del agua y su impacto en el concreto.

Según James Clerk Maxwell, el campo eléctrico se puede entender como la región del espacio alrededor de los cuerpos cargados donde se presentan fenómenos eléctricos. Se considera que los cuerpos eléctricos poseen ciertas propiedades que les permiten generar estos efectos en su entorno.

3.1.4.1 Fundamentos del magnetismo

El magnetismo puede comprenderse a partir de varios conceptos fundamentales que están estrechamente relacionados. Uno de los más importantes es el campo magnético, que se define como la región del espacio donde se ejercen fuerzas sobre partículas cargadas en movimiento. Este campo puede generarse tanto por imanes permanentes como por corrientes eléctricas, según lo establece la Ley de Ampère. Otra forma común de representar el magnetismo es mediante el dipolo magnético, que describe un objeto con polaridad magnética orientada en una dirección determinada.

Un imán produce un campo magnético a su alrededor, que se puede visualizar mediante líneas de campo que emergen del polo norte y se curvan hacia el polo sur. Este comportamiento es la base de múltiples aplicaciones tecnológicas, como ciertos sistemas de tratamiento del agua, que aprovechan la manipulación de campos magnéticos.

Algunos principios fundamentales para entender el magnetismo incluyen:

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

La Ley de Gauss en el contexto del magnetismo establece que no existen monopolos magnéticos. Esto significa que las líneas de flujo magnético siempre forman bucles cerrados, lo que indica que los campos producidos por imanes o corrientes eléctricas no tienen un punto de inicio o final claramente definido.

La fuerza de Lorentz describe la fuerza ejercida sobre una carga eléctrica en movimiento dentro de un campo magnético. Esta fuerza puede ser expresada mediante fórmulas matemáticas, lo que facilita la previsión del comportamiento de partículas cargadas cuando están bajo la influencia de ese campo magnético.

$$\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

q es la carga, v es la velocidad de la carga, y B es el campo magnético.

La relación entre las cargas y el campo magnético es fundamental para entender de qué manera los imanes y los campos magnéticos pueden afectar las características de ciertos materiales, incluyendo el agua.

Propiedades del Magnetismo

Las características magnéticas de los materiales dependen de la alineación de sus dipolos magnéticos y su reacción ante un campo magnético. Según su comportamiento, los materiales se pueden categorizar en tres grupos principales:

Ferromagnéticos: En estos materiales, los dipolos magnéticos tienden a alinearse de manera espontánea en una misma dirección, lo que resulta en la creación de un campo magnético fuerte. Ejemplos típicos incluyen el hierro, el cobalto y el níquel.

Paramagnéticos: Aunque sus dipolos no se alinean por sí mismos, pueden orientarse débilmente cuando se les aplica un campo magnético externo. El aluminio es un ejemplo representativo de este tipo.

Diamagnéticos: Estos materiales generan un campo magnético que se opone al aplicado externamente, lo que provoca una leve repulsión. Un ejemplo característico es el agua.

La Magnetización del Agua

El agua posee características diamagnéticas, lo que implica que es levemente repelida por un campo magnético. No obstante, investigaciones recientes han evidenciado que la exposición del agua a campos magnéticos intensos puede provocar alteraciones en su estructura molecular y en sus propiedades fisicoquímicas, tales como la solubilidad, la reactividad química y la configuración de los enlaces de hidrógeno.

Por lo tanto, al magnetizar el agua, se observan los siguientes efectos más comunes:

Reorganización de las moléculas de agua: La influencia del campo magnético puede modificar la disposición de las moléculas de agua, impactando así la formación de enlaces de hidrógeno. Esto puede resultar en una transformación de la estructura interna del agua, haciéndola más "activa" en cuanto a sus interacciones con otras sustancias.

Variación en la solubilidad: El agua magnetizada podría mostrar una capacidad incrementada para disolver ciertos compuestos, lo cual ha sido documentado en aplicaciones como la disolución de sales y minerales. Esto resulta especialmente beneficioso en el tratamiento del agua dura, donde los iones de calcio y magnesio tienden a precipitarse bajo la influencia del magnetismo.

Incremento en la eficiencia de reacciones químicas: Diversos estudios han indicado que la magnetización del agua puede acelerar determinadas reacciones químicas,

probablemente debido a una mayor disponibilidad de sitios reactivos en el agua alterada.

Principales Métodos de Magnetización del Agua

Existen diversos métodos para magnetizar el agua, que generalmente implican el paso del agua a través de campos magnéticos generados por imanes permanentes o electroimanes. Algunos de los métodos más comunes incluyen:

- Paso del agua a través de un campo magnético estático: En este enfoque, el agua es dirigida a través de un tubo rodeado por un imán permanente. El campo magnético generado por el imán induce una reorganización en las moléculas de agua a medida que fluye a través del tubo.
- Magnetización dinámica: Consiste en la aplicación de campos magnéticos variables, en donde el agua es expuesta a cambios en la intensidad o dirección del campo magnético durante su paso por un dispositivo específico.

Aplicación del Agua Magnetizada en el Concreto

El empleo de agua magnetizada en la industria del concreto ha demostrado resultados alentadores en la mejora de las propiedades físicas del material. Específicamente, el uso de agua magnetizada en la mezcla de concreto puede impactar las siguientes áreas:

Mejora en la trabajabilidad: El agua magnetizada tiene la capacidad de alterar la viscosidad y fluidez del concreto, lo que facilita su mezcla y aplicación. Esta característica es esencial para optimizar las propiedades de la mezcla, especialmente en proyectos de gran magnitud.

Incremento en la resistencia mecánica: Se ha evidenciado que el concreto elaborado con agua magnetizada puede presentar una mayor resistencia tanto a la compresión como a la flexión. Este fenómeno se atribuye a que la magnetización puede favorecer la hidratación del cemento y promover la formación de productos de reacción más robustos y estables.

Disminución en el uso de cemento: En diversas investigaciones, se ha logrado reducir el volumen de cemento requerido sin afectar negativamente la resistencia del concreto, lo cual representa ventajas tanto económicas como ambientales.

Pese a los beneficios potenciales del agua magnetizada, también existen ciertos desafíos y aspectos a considerar. La efectividad de esta magnetización depende de variables tales como la intensidad del campo magnético, el tiempo de exposición y las características específicas del agua utilizada. Además, lograr una reproducción consistente de los efectos del magnetismo en el concreto podría demandar un control riguroso sobre los parámetros del proceso de magnetización.

3.1.5 Normatividad aplicable

3.1.5.1 NMX de concreto y elementos prefabricados

La Norma Mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2011 establece los requisitos y métodos de prueba para los elementos prefabricados de concreto, con el objetivo de garantizar su calidad y durabilidad en la construcción. Esta normativa es fundamental para asegurar la uniformidad y seguridad en el uso de dichos elementos en distintas aplicaciones estructurales. Aplica a todos los elementos prefabricados, incluyendo bloques, losas, vigas, columnas y otros componentes, y abarca aspectos como los materiales, la fabricación, las dimensiones, la resistencia, la durabilidad y los métodos de prueba necesarios para comprobar el cumplimiento de las especificaciones.

En relación con los materiales, los cementos deben cumplir la norma NMX-C-414-ONNCCE, los agregados deben seleccionarse y prepararse de acuerdo con la NMX-C-111-ONNCCE para garantizar una granulometría adecuada y limpieza, el agua utilizada debe ser potable o cumplir la NMX-C-122-ONNCCE, y los aditivos deben ajustarse a las especificaciones correspondientes, asegurando que no afecten negativamente las propiedades del concreto. En cuanto a la fabricación, la dosificación de la mezcla debe diseñarse para alcanzar la resistencia y durabilidad requeridas, el mezclado debe realizarse con equipos que aseguren homogeneidad, y los elementos deben moldearse correctamente y curarse bajo condiciones controladas para lograr un desarrollo óptimo de la resistencia.

La norma también define las propiedades físicas y mecánicas que deben cumplir los elementos prefabricados. La resistencia a la compresión es un parámetro crítico, y los elementos deben alcanzar los valores mínimos especificados para su uso. La densidad debe ser adecuada para garantizar la integridad estructural y el desempeño del elemento, y la absorción de agua debe mantenerse dentro de límites aceptables, reflejando baja porosidad y alta durabilidad. Asimismo, las dimensiones deben ajustarse a las especificaciones de diseño con tolerancias estrictas, y los acabados superficiales deben ser uniformes, libres de defectos importantes como grietas, escamas o nidos de grava.

Respecto a los métodos de prueba, la norma detalla procedimientos para asegurar la calidad de los elementos. En los ensayos de compresión, las muestras deben tomarse de manera representativa y aplicarse carga hasta la falla, registrando la resistencia máxima para compararla con los requisitos de la norma. En las pruebas de absorción de agua, las muestras se sumergen durante un tiempo determinado y se mide el aumento de peso para calcular el porcentaje de absorción, comparando los resultados con los límites establecidos.

El control de calidad es un aspecto central de la norma. Esto incluye inspecciones visuales de los elementos, muestreo representativo para pruebas de laboratorio y

registro de resultados asociados a lotes específicos para garantizar la trazabilidad. Los elementos deben estar marcados con información relevante, como fabricante, fecha de producción y características técnicas, y deben manejarse adecuadamente durante el transporte y almacenamiento para asegurar que lleguen al sitio de construcción en condiciones óptimas.

En síntesis, la NMX-C-407-ONNCCE-2011 proporciona un marco completo para la producción y control de calidad de elementos prefabricados de concreto, asegurando que estos cumplan con los requerimientos estructurales y de durabilidad necesarios para una construcción segura y eficiente.

3.1.5.2 ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete

La norma ACI 318, titulada “Requisitos del Código de Construcción para el Concreto Estructural”, es un documento clave del American Concrete Institute que establece las pautas fundamentales para el diseño y la edificación de estructuras de concreto. Este código es ampliamente utilizado en la industria de la construcción y juega un papel esencial en la garantía de seguridad, durabilidad y eficiencia en las estructuras de concreto.

En primer lugar, ACI 318 abarca una variedad extensa de temas importantes relacionados con el diseño estructural del concreto. Inicia con requisitos generales que sientan las bases para los criterios de diseño y construcción, incluyendo definiciones y principios básicos sobre el diseño del concreto. La norma también trata los materiales necesarios para la construcción, especificando los tipos y características del cemento, agregados, agua y aditivos que deben emplearse para asegurar un concreto de calidad.

Respecto al diseño estructural, la norma ofrece directrices precisas para diseñar diferentes elementos estructurales como vigas, columnas, losas y muros. Establece requisitos tanto para resistencia como para servicio, abarcando factores de carga y

resistencia así como combinaciones de cargas a considerar en el proceso de diseño. Además, ACI 318 detalla procedimientos específicos para el diseño de concreto reforzado, prestresado y postensado, garantizando que estos sistemas sean capaces de soportar las cargas a las que estarán sometidos.

Los aspectos constructivos y laborales también son fundamentales según esta norma. Se describen prácticas adecuadas relacionadas con la colocación, curado y protección del concreto, además de los requerimientos referidos al encofrado y apuntalamiento. Estas prácticas aseguran que el concreto desarrolle las propiedades necesarias para su desempeño estructural a largo plazo.

Un aspecto destacado dentro de la norma es la durabilidad del concreto. ACI 318 ofrece recomendaciones destinadas a prevenir problemas comunes como la corrosión en armaduras metálicas, reacciones álcali-agregado o ataques por sulfatos. Estas sugerencias son cruciales para extender la vida útil de las estructuras concreteras y minimizar costos relacionados con su mantenimiento a lo largo del tiempo.

En cuanto a calidad, se establecen requerimientos específicos sobre control en la producción y construcción del concreto. Esto incluye inspecciones y pruebas pertinentes sobre materiales así como supervisión durante los procesos constructivos para garantizar el cumplimiento con las especificaciones establecidas en el diseño.

Por último, ACI 318 también aborda cuestiones relativas a seguridad y accesibilidad al proporcionar directrices diseñadas para crear estructuras que sean seguras e inclusivas para todos los usuarios, incluidas aquellas personas con discapacidades. Esto resulta fundamental no solo para lograr edificaciones robustas y duraderas sino también inclusivas desde una perspectiva social y segura.

3.1.5.3 ACI 302.1R-15: Guide to Concrete Floor and Slab Construction – Resumen con Énfasis en el Proceso de Curado

La guía ACI 302.1R-15, conocida como “Guía para la Construcción de Pisos y Losas de Concreto”, es un documento exhaustivo que proporciona directrices para la edificación de pisos y losas de concreto, con el fin de garantizar estructuras que sean duraderas, robustas y que satisfagan los estándares de calidad establecidos. A continuación, se presenta un resumen centrado en el proceso de curado y las recomendaciones generales contenidas en la guía.

El documento comienza por detallar los requisitos fundamentales para la construcción de pisos y losas, subrayando la relevancia de una planificación meticulosa y del uso de materiales de alta calidad. Se especifican los tipos adecuados de cemento, agregados, agua y aditivos necesarios para obtener un concreto de alto rendimiento, así como la importancia de una mezcla bien diseñada que cumpla con las especificaciones necesarias en términos de resistencia y trabajabilidad según el uso previsto.

La etapa de colocación del concreto es crucial; por ello, la guía describe las técnicas adecuadas para lograr una distribución uniforme del material y prevenir su segregación. También se presentan los procedimientos para el acabado superficial, incluyendo herramientas como llana, flota y fratasadora, con el objetivo de conseguir superficies lisas y niveladas.

El curado del concreto es vital para alcanzar su máxima resistencia y durabilidad. Mantener una adecuada humedad durante el tiempo necesario permite continuar con la hidratación del cemento, evitando pérdidas prematuras que podrían resultar en una reducción de la resistencia o aumentar el riesgo de fisuras por contracción plástica. Además, un curado efectivo mejora tanto la resistencia a la abrasión como la impermeabilidad superficial.

La guía ACI 302.1R-15 menciona diferentes métodos para el curado:

Curado con agua: Involucra mantener húmeda la superficie mediante mantas húmedas, láminas o sistemas rociadores; es especialmente útil en áreas extensas al asegurar hidratación continua.

Curado con láminas plásticas o membranas impermeables: Consiste en cubrir el concreto con estos materiales para evitar pérdida de humedad; es práctico donde no se puede garantizar un suministro constante de agua.

Compuestos de curado: Se refiere a sustancias químicas aplicadas sobre la superficie justo después del acabado final que forman una película retentiva; son útiles cuando no se puede realizar curado mediante agua.

Curado por vapor: Se utiliza vapor para mantener condiciones adecuadas de humedad y temperatura; es común en elementos prefabricados aunque menos frecuente en pisos industriales.

La duración del curado resulta esencial. Para concretos estándar se aconseja un mínimo de siete días, mientras que aquellos diseñados para alta resistencia inicial requieren al menos tres días. Este período debe adaptarse a las condiciones climáticas y ambientales para asegurar un adecuado proceso de curado.

Además del aspecto del curado, la guía resalta la importancia del control de calidad a lo largo de todas las fases constructivas, incluyendo inspecciones y pruebas materiales así como supervisión durante los procesos tanto de colocación como acabados. Un riguroso control garantiza que el piso o losa cumpla con las especificaciones tanto diseño como desempeño.

Por último, el mantenimiento regular es crucial para preservar la integridad funcional del piso concreto e incluye prácticas adecuadas relacionadas con limpieza así como reparaciones oportunas ante cualquier daño superficial.

3.1.5.4 NMX-C-083-ONNCCE-2014: Industria de la Construcción – Concreto – Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes de Concreto

La norma NMX-C-083-ONNCCE-2014 es crucial en el ámbito de la construcción en México, ya que define el procedimiento para evaluar la resistencia a la compresión de muestras de concreto, como cilindros o cubos. Este análisis resulta fundamental para asegurar que el concreto utilizado cumpla con los estándares de resistencia requeridos para soportar las cargas y tensiones previstas en la estructura. La norma proporciona una descripción exhaustiva sobre la preparación de las muestras, las condiciones de curado y los procedimientos a seguir durante las pruebas de compresión, las cuales deben realizarse con máquinas de ensayo calibradas. Los resultados obtenidos permiten valorar la calidad del concreto y su adecuación para aplicaciones estructurales específicas.

3.1.5.5 NMX-C-414-ONNCCE-2017: Industria de la Construcción – Agregados para Concreto – Especificaciones y Métodos de Ensayo

La norma NMX-C-414-ONNCCE-2017 establece tanto las especificaciones como los métodos de ensayo aplicables a los agregados utilizados en la fabricación de concreto. Esta norma es fundamental para asegurar que los agregados satisfagan los criterios de calidad y rendimiento necesarios en el sector constructivo. Incluye diversos ensayos destinados a determinar propiedades físicas y mecánicas esenciales, tales como granulometría, resistencia, densidad y absorción de agua. Además, aborda aspectos relacionados con la limpieza y forma de las partículas constitutivas de los agregados, garantizando así que estos contribuyan favorablemente a las características del concreto tanto fresco como endurecido. Asegurar el cumplimiento con esta norma es esencial para producir un concreto que posea alta calidad y durabilidad.

3.1.5.6 NMX-C-165-ONNCCE-2013: Industria de la Construcción – Agregados para Concreto Hidráulico – Requisitos

La norma NMX-C-165-ONNCCE-2013 especifica los requisitos que deben cumplir los agregados utilizados en la fabricación de concreto hidráulico. Esta norma es crucial para asegurar que los agregados utilizados no solo mejoren las propiedades mecánicas del concreto, sino que también contribuyan a su durabilidad y resistencia a diferentes condiciones ambientales. Entre los aspectos cubiertos se incluyen las características físicas de los agregados, su resistencia a la fragmentación, y su contenido de materiales nocivos. La norma también establece los límites aceptables para la reactividad álcali-agregado, asegurando que los agregados no contribuyan a la expansión y agrietamiento del concreto a lo largo del tiempo.

3.1.5.7 NMX-C-156-ONNCCE-2010: Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de Impurezas Orgánicas en los Agregados Finos

La norma NMX-C-156-ONNCCE-2010 establece un procedimiento para identificar impurezas orgánicas en los agregados finos, que son elementos esenciales en la composición del concreto. La presencia de sustancias como materia vegetal puede perjudicar las propiedades del concreto, afectando su resistencia y durabilidad. Esta normativa proporciona un método para detectar y medir estas impurezas, garantizando que los agregados empleados sean de alta calidad y no pongan en riesgo la integridad del concreto. El cumplimiento de esta norma es fundamental para asegurar la producción de un concreto fiable y duradero.

3.1.5.8 NMX-C-162-ONNCCE-2014: Industria de la Construcción – Agregados – Determinación del Peso Volumétrico de los Agregados

La norma NMX-C-162-ONNCCE-2014 establece el método para determinar el peso volumétrico de los agregados finos y gruesos. El peso volumétrico es una propiedad importante que influye en la proporción de mezcla de los materiales y, por lo tanto, en

las propiedades del concreto fresco y endurecido. La norma proporciona un procedimiento detallado para medir esta propiedad, incluyendo la preparación de las muestras, el equipo necesario y los pasos específicos para realizar la prueba. La determinación precisa del peso volumétrico ayuda a asegurar que las mezclas de concreto sean consistentes y cumplan con las especificaciones de diseño.

3.1.5.9 NMX-C-087-ONNCCE-2010: Industria de la Construcción – Agregados – Determinación del Contenido de Humedad Superficial de los Agregados

La norma NMX-C-087-ONNCCE-2010 establece el procedimiento para medir el contenido de humedad superficial de los agregados. Es fundamental conocer este contenido para ajustar la cantidad de agua en la mezcla de concreto y alcanzar la relación deseada entre agua y cemento. La norma detalla los métodos para obtener y preparar las muestras, así como los pasos a seguir para medir la humedad superficial mediante procedimientos estándar. Un control adecuado del contenido de humedad en los agregados es crucial para producir concreto de alta calidad con propiedades predecibles y consistentes.

3.1.5.10 NMX-C-129-ONNCCE-2013: Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Densidad y la Absorción de los Agregados Finos y Gruesos

La norma NMX-C-129-ONNCCE-2013 define los métodos para evaluar tanto la densidad como la absorción de agua en agregados finos y gruesos. Estas características son esenciales en el diseño de mezclas de concreto, ya que afectan directamente las proporciones de los materiales y las propiedades finales del concreto. La norma proporciona detalles sobre cómo preparar las muestras, el equipo necesario y los procedimientos a seguir para llevar a cabo las pruebas. Contar con mediciones precisas de densidad y absorción permite formular mezclas de concreto que sean consistentes y que cumplan con las especificaciones requeridas en cuanto a diseño y rendimiento.



APARTADO IV.

PLANTEAMIENTO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL

El presente proyecto de investigación busca comprobar cuánto y en qué medida la magnetización del agua tanto en la elaboración como en el curado de elementos de concreto mejora sus propiedades físicas y químicas como el aumento de la resistencia a compresión, para ello es importante definir el enfoque que guiará la investigación, el diseño y alcance de la misma y la muestra, las cuales se mencionarán en el presente apartado.

4.1 Enfoque de la investigación

El presente estudio se desarrolla bajo un enfoque de investigación cuantitativo, cuyo objetivo principal es comparar distintos grupos, categorías o tipos de fenómenos con respecto a alguna propiedad o variable (Hernández-Sampieri *et al.*, 2018, p.40). De manera similar, Aravena *et al.* (2006) señala que este enfoque se caracteriza por registrar los datos obtenidos de manera que puedan ser cuantificados mediante mediciones precisas, aplicando rigurosamente las técnicas correspondientes.

Según Hernández-Sampieri *et al.* (2018, p.4), el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis, basándose en mediciones numéricas y análisis estadísticos, con el propósito de identificar patrones de comportamiento y validar teorías. A continuación, se presenta una figura que ilustra la ruta que sigue este enfoque cuantitativo en la investigación.

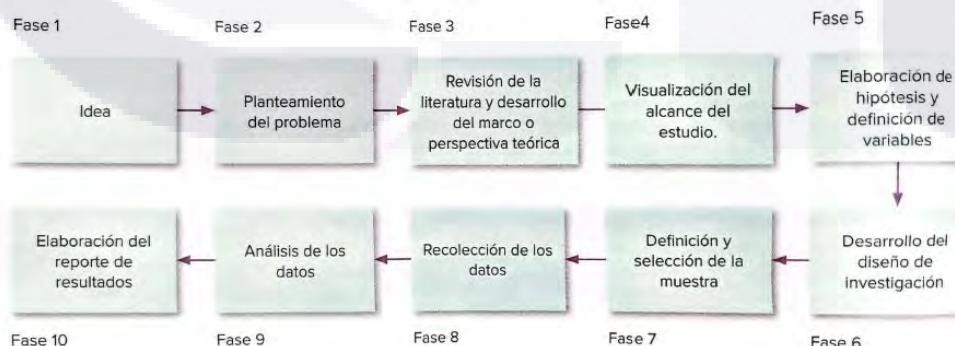


Figura 43. Ruta de la investigación cuantitativa (Sampieri, 2018. P.6)

En la siguiente tabla se presentan las características del enfoque cuantitativo con la finalidad de puntualizar cada una de ellas y la importancia de la elección de este enfoque dentro de la investigación.

Tabla 1. Características del enfoque cuantitativo

Características del enfoque
<p>El enfoque cuantitativo en la investigación se caracteriza por la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas estudiados. El investigador define un problema concreto y delimitado, basándose en la revisión de estudios previos para construir un marco teórico que sustente la investigación. Las hipótesis se plantean antes de la recolección y análisis de los datos, los cuales se obtienen mediante medición numérica y se analizan con métodos estadísticos.</p>
<p>Durante el proceso, se busca mantener un control riguroso, procurando que el estudio sea lo más objetivo posible y que siga un patrón estructurado y predecible, donde las decisiones se toman antes de recolectar los datos. Además, se procura generalizar los resultados a grupos o segmentos similares. Al concluir, el objetivo es confirmar y predecir fenómenos, identificando regularidades y relaciones causales, con la finalidad de formular y demostrar teorías.</p>
<p>El enfoque cuantitativo sigue estándares estrictos de validez y confiabilidad, y busca que las conclusiones contribuyan a la generación de conocimiento. Se fundamenta en la lógica y el razonamiento deductivo. Aunque las preguntas de investigación y las hipótesis pueden desarrollarse antes, durante o después de la recolección de datos, la revisión de la literatura puede incorporarse en cualquier etapa del estudio. En algunos casos, es necesario regresar a etapas previas para ajustar o reforzar el proceso de investigación.</p>

Fuente: Elaborada a partir de R. Hernández Sampieri; C. Fernández Collado & M. del P.

Bautista Lucio, 2014, *Metodología de la investigación*, pp. 5-9.

4.2 Tipo de investigación por su alcance

Después de establecer el enfoque de la investigación, es fundamental definir su alcance, que en este caso corresponde a un estudio correlacional. Este tipo de estudio tiene como objetivo principal identificar la relación o el grado de asociación entre dos o más variables, conceptos o categorías dentro de un contexto específico, midiendo dichas variables y su relación mediante análisis estadísticos (Hernández-Sampieri *et al.*, 2018, p.109).

Los estudios correlacionales buscan comprender cómo se comporta una variable en función del comportamiento de otra relacionada. Además, permiten determinar si la relación es positiva, cuando ambas variables aumentan o disminuyen de manera proporcional, o negativa, cuando los valores de una variable son altos mientras los de la otra son bajos, es decir, cuando se presentan relaciones inversamente proporcionales (Hernández-Sampieri *et al.*, 2018).

4.3 Diseño de la investigación

En cuanto al diseño de investigación elegido dentro del enfoque cuantitativo, se utiliza un diseño experimental, en el cual se manipulan y aplican tratamientos, estímulos o intervenciones (conocidos como variables independientes) con el fin de observar sus efectos sobre otras variables (denominadas dependientes) bajo condiciones controladas (Hernández-Sampieri, 2018, p.152).

Tabla 2. Requisitos, condiciones necesarias o características de los experimentos

<i>Manipulación intencional de una o más variables independientes</i>	<i>Medición de las variables dependientes</i>	<i>Control sobre la situación experimental</i>
La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente, y al efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (consecuente).	La variable dependiente no se modifica directamente, sino que se mide para evaluar el efecto que la manipulación de la variable independiente produce sobre ella. La medición de esta variable es de suma importancia, ya que al reflejar los cambios o efectos observados, debe realizarse de manera adecuada, válida y confiable para garantizar resultados precisos y consistentes..	La validez interna o control en un experimento se refiere a la seguridad de que los cambios observados en las variables dependientes se deben realmente a la manipulación de las variables independientes y no a otros factores externos. De igual manera, si se determina que una o más variables independientes no afectan a las dependientes, se puede tener confianza en que este resultado refleja la verdadera relación entre las variables.

Fuente: Elaborada a partir de R. Hernández Sampieri; C. Fernández Collado & M. del P. Bautista Lucio, 2018, *Metodología de la investigación*, pp. 153-158.

4.4 Muestra

Referente a la determinación de la muestra, se puede mencionar que esta es **no probabilística**, también nombrada **muestra dirigida**, ya que este tipo de muestra no depende de la probabilidad, sino de la selección de acuerdo con características o criterios determinados. Es importante mencionar que este tipo de muestra carece del uso de fórmulas de probabilidad, ya que se selecciona bajo un proceso de toma de decisiones y de acuerdo con el problema a investigar (Hernández-Sampieri *et al.*, 2018).

4.5 Campaña experimental

4.5.1 Proceso de Elaboración de Cilindros de Concreto con Diferentes Resistencia y Condiciones de Curado

La fabricación de cilindros de concreto para ensayos de resistencia es un proceso técnico esencial para la evaluación de las propiedades mecánicas del material. En el presente estudio, se elabora un conjunto de cilindros utilizando dos tipos de concreto de diferentes resistencias características: f'_c 150 y f'_c 200, y se evalúan sus propiedades bajo distintas condiciones de curado. Las variables de curado incluyen el uso de agua común, agua común magnetizada, agua destilada magnetizada y agua destilada, así como una combinación de agua común, agua común magnetizada, agua destilada magnetizada y agua destilada durante la elaboración del concreto, ensayandos a 7, 10 y 15 días de edad. Elaborando de 1 a 2 cilindros por cada combinación posible de estas variables. A continuación, se describen en detalle los procedimientos y las combinaciones que se implementaron.

Selección de Materiales y Dosificación

El primer paso para la elaboración de los cilindros consiste en la selección adecuada de los materiales y la dosificación de la mezcla. En este caso, se preparan dos tipos de concreto con diferentes resistencias características: f'_c 150 y f'_c 200. Las proporciones de los materiales (cemento, agua, agregados) se ajustan según las especificaciones requeridas para alcanzar las resistencias deseadas.

Los agregados utilizados son arena fina y grava triturada, ambos conformes con las normativas de calidad establecidas. El cemento empleado es un tipo Portland común, con propiedades estandarizadas para asegurar un buen rendimiento en ambos tipos de mezcla.

Preparación de la Mezcla de Concreto

La mezcla de concreto se realiza a mano, asegurando que los componentes se integren de forma homogénea, y con el correcto control de la dosificación en peso o volumen según corresponda. Las dos mezclas se preparan por separado, ajustando la dosificación de acuerdo con la resistencia característica deseada.

Concreto con agua común: En este caso, se emplea agua potable normal, con una pureza no determinada (agua común de servicio municipal) adecuada para la mezcla. Se agrega la cantidad calculada de agua según la relación A/C establecida para cada tipo de mezcla.

Concreto con agua magnetizada: Para la mezcla con agua magnetizada, se utiliza agua que ha pasado por un proceso de magnetización, en el cual se modifican las propiedades físicas del agua, específicamente su estructura molecular, con la idea de mejorar la hidratación del cemento. Este tratamiento se realiza mediante un dispositivo de magnetización que altera la polaridad del agua, supuestamente mejorando la integración con los materiales del concreto.

Vaciado en Moldes y Compactación

Se preparan los moldes estandarizados para la formación de los cilindros, que tienen un diámetro de 10 cm y una altura de 20 cm, siguiendo las normas internacionales. El proceso de vaciado se realiza en 3 capas sucesivas, que se compactan usando una varilla de compactación para asegurar que no queden burbujas de aire atrapadas en el concreto.

El vaciado se realiza cuidadosamente para no interrumpir el proceso de compactación y asegurar la densidad adecuada del concreto. Además, se toman precauciones para evitar que se produzcan defectos o vacíos que puedan alterar los resultados de las pruebas de resistencia.

Curado del Concreto

El curado es uno de los pasos más críticos, ya que influye directamente en la resistencia final del concreto. Para este proceso, se utilizan cuatro combinaciones posibles de condiciones de curado:

Curado con agua común: En este caso, los cilindros se sumergen en agua común (agua potable normal) a temperatura controlada. El curado con agua común es uno de los métodos más tradicionales y efectivos, ya que permite mantener el concreto a una humedad constante durante el período de fraguado.

Curado con agua magnetizada: Aquí, los cilindros se sumergen en agua que es constantemente magnetizada, al inducir el cauce del agua por ductos de plástico que tienen un acomodo de imanes que magnetizan el flujo. Este método se utiliza para evaluar si la magnetización del agua tiene un impacto positivo en el proceso de hidratación del concreto. La idea detrás de este tratamiento es que la magnetización podría mejorar la estructura del concreto, promoviendo una mayor densidad y resistencia, o ver qué consecuencias tiene sean favorables o no.

Desmoldeo y Conservación

Después de un período de 24 horas, los cilindros de concreto son desmoldados cuidadosamente para evitar cualquier daño en la muestra. Los cilindros desmoldados son conservados en un ambiente controlado durante el proceso de curado posterior. Durante las primeras 24 horas, el curado debe ser continuo y se realiza bajo condiciones óptimas de humedad, temperatura y sin exposición a corrientes de aire.

Pruebas de Resistencia a Compresión

Una vez que los cilindros han alcanzado el período de curado especificado, se someten a pruebas de resistencia a compresión. En estas pruebas, un equipo de

ensayo de compresión aplica una carga creciente sobre el cilindro hasta que este se rompe. La resistencia se calcula como la carga máxima soportada dividida por el área transversal del cilindro.

Se comparan los resultados obtenidos para las diferentes combinaciones de mezcla y curado. Se espera que los cilindros elaborados con concreto f'_c 200 muestren una resistencia superior en comparación con los de f'_c 150, y que las combinaciones de curado con agua magnetizada puedan demostrar una ligera mejora en la resistencia, si es que la magnetización influye en la estructura del concreto.

Los datos obtenidos y el diseño de mezcla se verán de manera puntual en la discusión de los resultados, para no ser repetitivo en este apartado.

Relación de cilindros a ensayar a compresión axial

- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'_c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días

- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150 \text{ kg/cm}^2$, curado con agua magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días

- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días

- 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
-
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
-
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
-
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días
 - 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
-
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días

- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días

- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 7 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 10 días
- 2 cilindros de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días

4.5.2 Espectroscopia Raman

Las pruebas Raman, también conocidas como espectroscopía Raman, constituyen una técnica analítica no destructiva utilizada para examinar las vibraciones moleculares de los materiales. Este tipo de análisis ofrece datos sobre la composición química y la estructura molecular de los materiales, lo que resulta particularmente valioso para evaluar las propiedades y la calidad de los materiales de construcción, como el concreto. En el caso de cilindros de concreto fabricados con diversas combinaciones de agua común y agua magnetizada (tanto en la mezcla como durante el curado), las pruebas Raman pueden ofrecer información esencial sobre cómo estas variables impactan en la microestructura y los componentes del concreto.

Fundamento de la Espectroscopía Raman

La base de la espectroscopía Raman radica en la dispersión inelástica de la luz. Cuando un rayo láser se proyecta sobre una muestra, una pequeña proporción de la luz dispersada experimenta un cambio en su frecuencia que refleja las vibraciones moleculares asociadas a los enlaces químicos dentro del material. Este proceso da lugar a un espectro Raman que permite obtener detalles sobre la composición química y las características estructurales del material analizado.

En el caso del concreto, esta técnica se emplea para estudiar aspectos clave como:

- La hidratación del cemento, un proceso esencial para que el concreto desarrolle resistencia.
- La formación de productos de hidratación, como el gel C-S-H (silicato cálcico hidratado) y la ettringita, que contribuyen a la resistencia y durabilidad del material.

- La distribución y estructura de los componentes del concreto, incluyendo agregados, aditivos y las diferentes fases hidratadas del cemento.

Agua Común: Cuando se utiliza agua común para la mezcla y el curado del concreto, la hidratación sigue el curso esperado según los estándares de la química del cemento. Las fases hidratadas principales, como el gel C-S-H, se forman en la estructura del concreto, contribuyendo a su resistencia.

Agua Magnetizada: El uso de agua magnetizada durante la mezcla y/o el curado puede tener un efecto sobre la dinámica de la hidratación. Se ha sugerido que la magnetización del agua podría afectar la disolución del cemento y la formación de los productos hidratados, como el C-S-H, favoreciendo una estructura más densa o mejor organizada de estos productos. La espectroscopía Raman permite detectar diferencias en la intensidad de las señales características de estos compuestos hidratados, lo que puede reflejar mejoras en la microestructura del concreto.

Al comparar cilindros de concreto elaborados con agua común y agua magnetizada, se puede evaluar cómo la magnetización del agua puede alterar la formación de estos productos de hidratación. En algunos estudios, se ha sugerido que la magnetización del agua podría mejorar la eficiencia de la hidratación, resultando en una mayor cantidad de C-S-H y una estructura más densa, lo que podría traducirse en un concreto más resistente.

Análisis de la Relación entre Resistencia y Microestructura

El objetivo final de las pruebas Raman en estos cilindros de concreto es correlacionar la composición química y la microestructura con las propiedades mecánicas del concreto, especialmente la resistencia a compresión. A través de la medición de los productos de hidratación y su distribución, se puede inferir cómo las condiciones de mezcla y curado afectan la calidad estructural del concreto.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

La espectroscopía Raman, por lo tanto, se convierte en una herramienta valiosa para evaluar cómo la magnetización del agua influye en la evolución de la microestructura y la calidad del concreto, permitiendo correlacionar los resultados espectroscópicos con las propiedades mecánicas observadas en las pruebas de compresión.





APARTADO V.

DESARROLLO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL

APARTADO V. DESARROLLO DE CAMPAÑA EXPERIMENTAL

El presente apartado tiene como finalidad describir de manera minuciosa los datos recabados al llevar a cabo la campaña experimental bajo el enfoque cuantitativo a partir del uso de tablas y figuras que ayudarán a comprender los resultados obtenidos.

5.1 Descripción general del uso de los datos

Con relación al tratamiento de la información recabada de la investigación se puede señalar que esta se llevó a cabo bajo el enfoque cuantitativo a través de una campaña experimental, la cual consistía en buscar optimizar la relación agua/cemento en la mezcla de concreto y estudiar su efecto sobre la resistencia a la compresión ($F'c$) mediante la inclusión de agua magnetizada en la elaboración de los elementos. Para llevar a cabo esta investigación, se siguió un proceso detallado de preparación y ensayos de cilindros de concreto de acuerdo con las normas mexicanas, específicamente la NMX-C-162-ONNCCE-2012.

Preparación de los Materiales

Se utilizaron los siguientes materiales para la fabricación de los cilindros de concreto:

Cemento: De acuerdo con la especificación de la norma, se utilizó un cemento Portland de tipo 1, de calidad comercial.

Aqua: Para las mezclas de concreto, se usaron diferentes tipos de agua, de acuerdo con los tratamientos indicados en el plan experimental, como agua común, agua destilada; magnetizada y no magnetizada.

Agregado grueso y fino: Agregado con características comunes para el uso de concreto con resistencia de 150 y 200 kg/cm², siguiendo la especificación de la norma NMX-C-149-ONNCCE-2016.

Diseño de la Mezcla de Concreto

El diseño de la mezcla se realizó utilizando la relación agua/cemento adecuado para obtener una resistencia característica de 150 y 200 kg/cm², con base en las tablas y métodos establecidos por la NMX-C-155-ONNCCE-2011. La proporción de agua/cemento fue calculada considerando la inclusión de agua magnetizada en algunas de las mezclas, lo que se diferenciaba de las mezclas estándar con agua común o destilada.

Para cada mezcla, se registraron los siguientes parámetros:

Tipo de agua utilizada (común, destilada; magnetizada y no magnetizada).

Relación agua/cemento.

Dosificación de los materiales.

Elaboración de los Cilindros

La preparación de los cilindros se llevó a cabo en un ambiente controlado, siguiendo los pasos establecidos por la NMX-C-159-ONNCCE-2012 para la elaboración de especímenes de concreto para ensayos de compresión axial. El procedimiento es el siguiente:

6) Mezclado del Concreto

Se hizo la mezcla de forma manual.

El proceso de mezclado consistió en:

Mezcla del cemento y la arena, hasta obtener una mezcla uniforme, después la grava con las variantes comentadas anteriormente.

Adición de agua: Dependiendo de la mezcla, se añadió agua común, destilada o magnetizada, cuidando que la relación agua/cemento fuera la correcta.

Mezclado hasta que la pasta fuera homogénea y sin separación de los componentes.

b) Vibrado y Moldeo

Una vez que la mezcla estuvo lista, se procedió a llenar los moldes cilíndricos, con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, siguiendo las especificaciones de la NMX-C-159-ONNCCE-2012. El proceso de moldeo se realizó en las siguientes etapas:

Llenado de los moldes: Se vertió la mezcla de concreto en tres capas, asegurándose de que cada capa fuera compactada correctamente mediante el uso de una vara de vibrado.

Nivelación y compactación: Despues de llenar cada capa, se utilizó una varilla para vibrar el concreto y asegurar una adecuada compactación, eliminando burbujas de aire y asegurando la uniformidad de la mezcla.

c) Curado de los Cilindros

Una vez moldeados los cilindros, se procedió al curado en condiciones controladas, de acuerdo con la NMX-C-155-ONNCCE-2011. El curado de los cilindros se realizó de la siguiente manera:

Cilindros con curado en agua común: Se sumergieron en agua.

Cilindros con curado en agua magnetizada: Estos cilindros fueron sumergidos en agua magnetizada. El proceso de magnetización se llevó a cabo antes de la mezcla del concreto, utilizando un sistema que pasaba agua por un conducto recubierto de imanes que generan un campo magnético y al pasar del tiempo este se magnetiza.

Cilindros con curado en agua destilada magnetizada: Similar al proceso anterior, pero con agua destilada magnetizada.

Ensayo de Compresión Axial

Los cilindros fueron ensayados a los 7, 10 y 15 días de curado, como se especifica en el plan experimental. Los ensayos de compresión se realizaron siguiendo los lineamientos de la NMX-C-403-ONNCCE-2013, utilizando una prensa de compresión hidráulica. Durante cada ensayo:

Medición de dimensiones: Se verificaron las dimensiones de los cilindros (diámetro y altura) antes de realizar el ensayo.

Aplicación de carga: La carga se aplicó de manera gradual y uniforme hasta que el cilindro fallara.

Registro de resultados: Se registró la carga máxima que los cilindros soportaron antes de romperse, lo que permitió calcular la resistencia a la compresión ($F'c$) de cada muestra.

Análisis de Resultados

Se realizó un análisis comparativo entre las muestras de concreto elaboradas con diferentes tipos de agua y curados bajo diferentes condiciones. Los resultados se analizaron en términos de su resistencia a la compresión ($F'c$), evaluando el impacto de la inclusión de agua magnetizada en la mezcla.

5.2 Descripción minuciosa de datos recabados

Para la elaboración de este apartado se describen detalladamente los datos recabados de la campaña experimental a partir de la cual se incluyen tablas y figuras para dar consistencia y estructuración a la investigación

A continuación, se presentan los datos recabados y resultados de esta investigación, así como las figuras que sustentan el ensayo de los cilindros presentados

Tabla 3. Ensayo con combinación de parámetros A

ENSAYO:	A
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	150 Kg/cm ²
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA COMÚN
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA COMÚN

CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm² ELABORADO CON AGUA COMÚN Y CURADO CON AGUA COMÚN

CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
A1-1	11455	15.3	30.5	5459	183.85	24/09/2024	03/10/2024	32.52	9
A2-1	11458	15	30	5063	176.71	24/09/2024	07/10/2024	47.23	13
A3-1	11844	15	30.5	5633	176.71	24/09/2024	10/10/2024	60.56	16

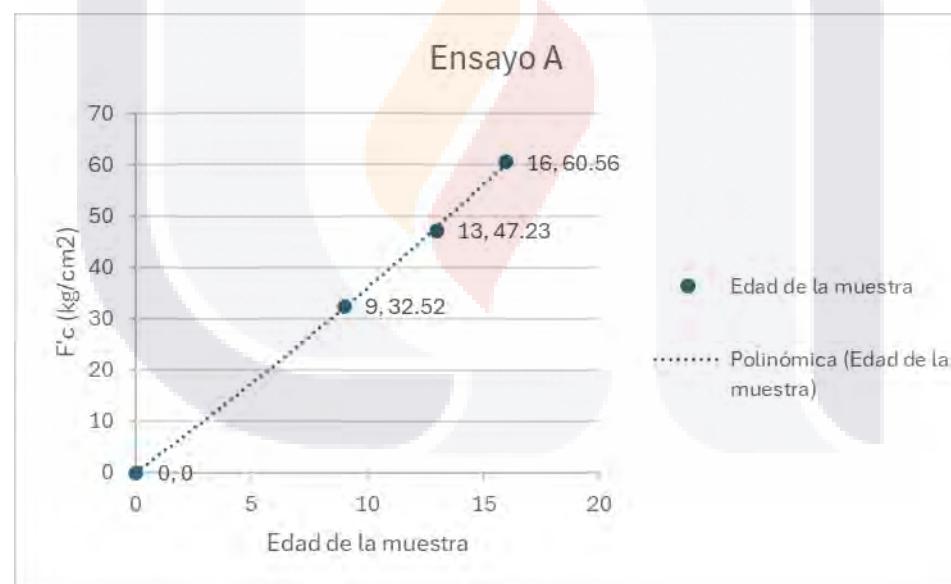


Figura 44. Resultados de ensayo con combinación de parámetros A

Tabla 4. Ensayo con combinación de parámetros B

ENSAYO:	B
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	150 Kg/cm2
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA COMÚN
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA DESTILADA

CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm2 ELABORADO CON AGUA DESTILADA Y CURADO CON AGUA COMÚN

CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm2)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm2)	EDAD (Días)
B1-1	11168	15	30.3	3827	176.71	24/09/2024	03/10/2024	31.25	9
B2-1	12037	15.2	30	3662	181.46	24/09/2024	07/10/2024	46.25	13
B3-2	11453	15	30	3225	176.71	24/09/2024	10/10/2024	68.54	16

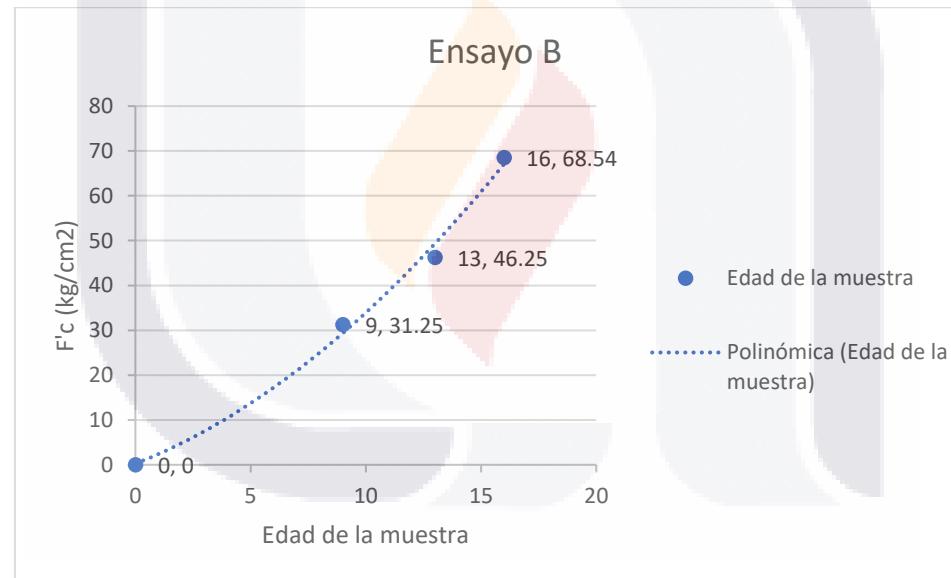


Figura 45. Resultados de ensayo con combinación de parámetros B

Tabla 5. Ensayo con combinación de parámetros D

ENSAYO:		D							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
D1-1	11867	15.2	30.5	4847	181.46	02/10/2024	10/10/2024	42.12	8
D2-1	11309	15	30	5986	176.71	02/10/2024	17/10/2024	57.25	15
D3-1	11804	15.1	30.1	5713	179.08	02/10/2024	18/10/2024	75.15	16

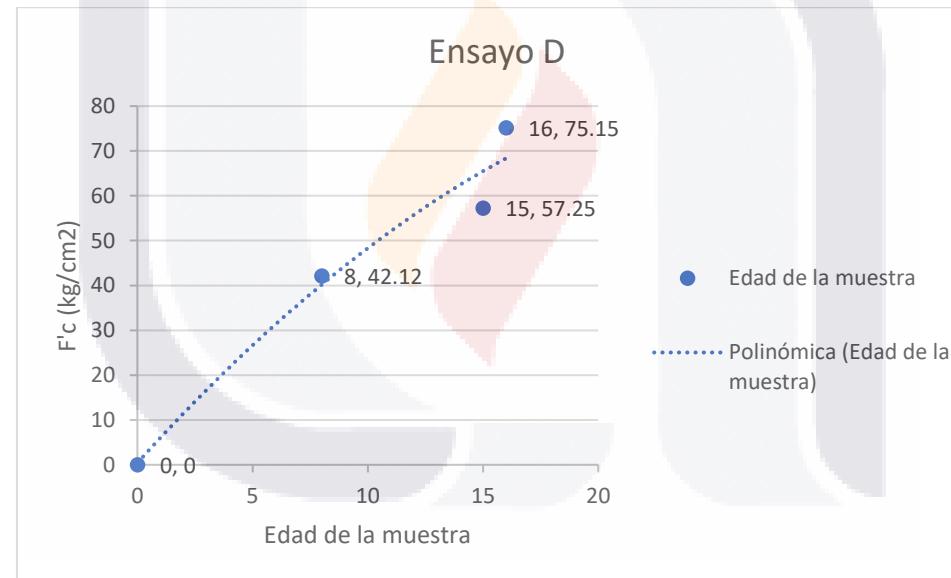


Figura 46. Resultados de ensayo con combinación de parámetros D

Tabla 6. Ensayo con combinación de parámetros I

ENSAYO:		I							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm ² ELABORADO CON AGUA DESTILADA Y CURADO CON AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
I1-1	12282	15.4	30.4	17839	186.27	11/10/2024	18/10/2024	46.16	0
I2-1	12338	15.5	31	18233	188.69	11/10/2024	22/10/2024	84.12	11
I3-1	11720	15	30.4	20181	176.71	11/10/2024	28/10/2024	114.20	17

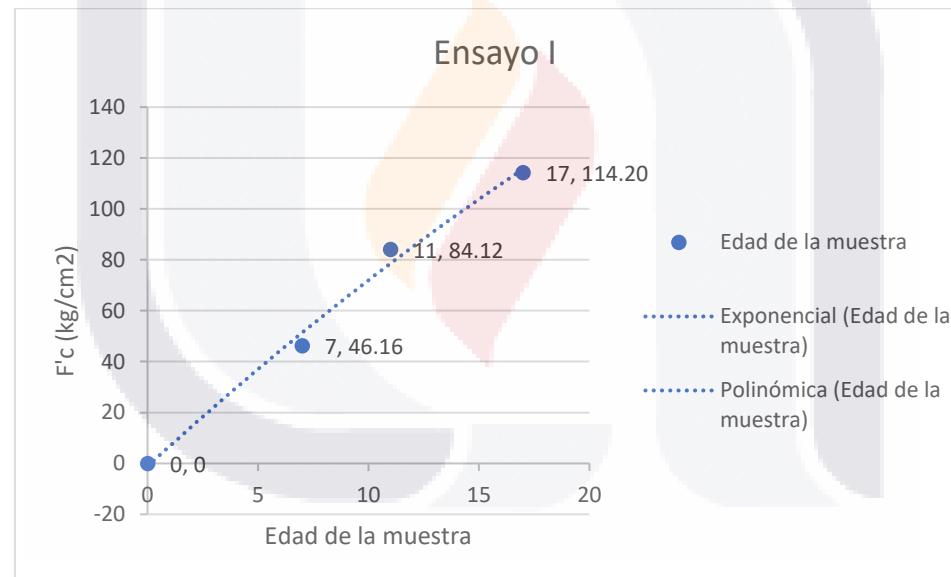


Figura 47. Resultados de ensayo con combinación de parámetros I

Tabla 7. Ensayo con combinación de parámetros J

ENSAYO:	J								
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	150	Kg/cm2							
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA COMÚN MAGNETIZADA								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA COMÚN MAGNETIZADA								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm2)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm2)	EDAD (Días)
J1-1	11410	14.9	29.9	12725	174.37	11/10/2024	18/10/2024	0	45.12
J2-1	11371	15.1	30	11836	179.08	11/10/2024	22/10/2024	85.21	11
J3-1	11760	14.9	30	15771	174.37	11/10/2024	28/10/2024	102.54	17

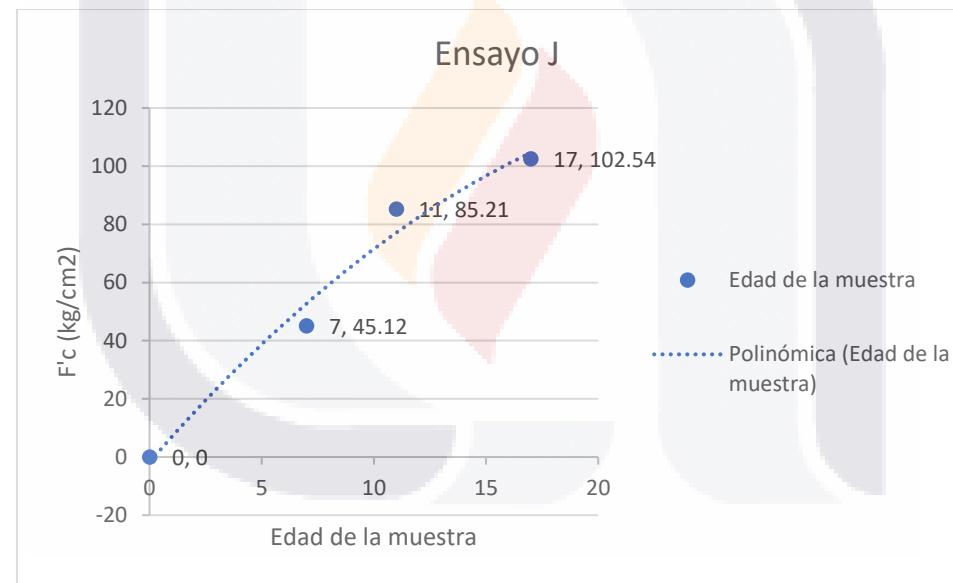


Figura 48. Resultados de ensayo con combinación de parámetros J

Tabla 8. Ensayo con combinación de parámetros L

ENSAYO:		L		CILINDROS DE CONCRETO $F'c = 150\text{Kg/cm}^2$ ELABORADO CON AGUA COMÚN MAGNETIZADA Y CURADO CON AGUA COMÚN						
DISEÑO DE MEZCLA ($F'c$):		150 kg/cm^2								
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN $F'c$ (kg/cm ²)	EDAD (Días)	
L1-1	12296	15.5	30.5	10682	188.69	15/10/2024	22/10/2024	35.45	0	7
L2-1	12168	15.3	30.5	12317	183.85	15/10/2024	28/10/2024	82.12	13	
L3-1	11807	15	30.5	11907	176.71	15/10/2024	30/10/2024	98.12	15	

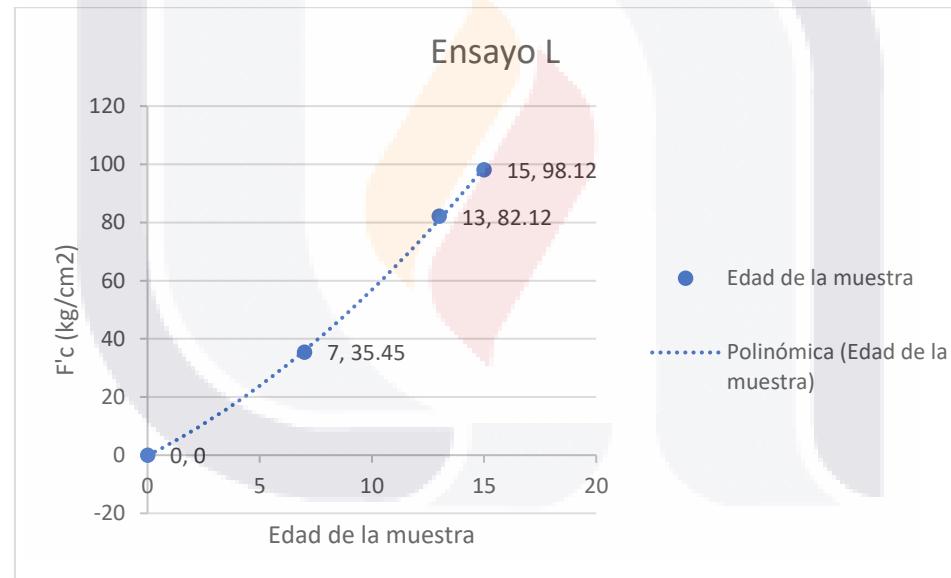


Figura 49. Resultados de ensayo con combinación de parámetros L

Tabla 9. Ensayo con combinación de parámetros S

ENSAYO:		S							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm ² ELABORADO CON AGUA COMÚN Y CURADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
S1-1	11415	15	30.1	5604	176.71	23/10/2024	30/10/2024	31.71	0
S2-1	11777	15	30.5	8886	176.71	23/10/2024	04/11/2024	88.52	12
S3-1	11989	15.5	30.1	14395	188.69	23/10/2024	12/11/2024	112.15	20

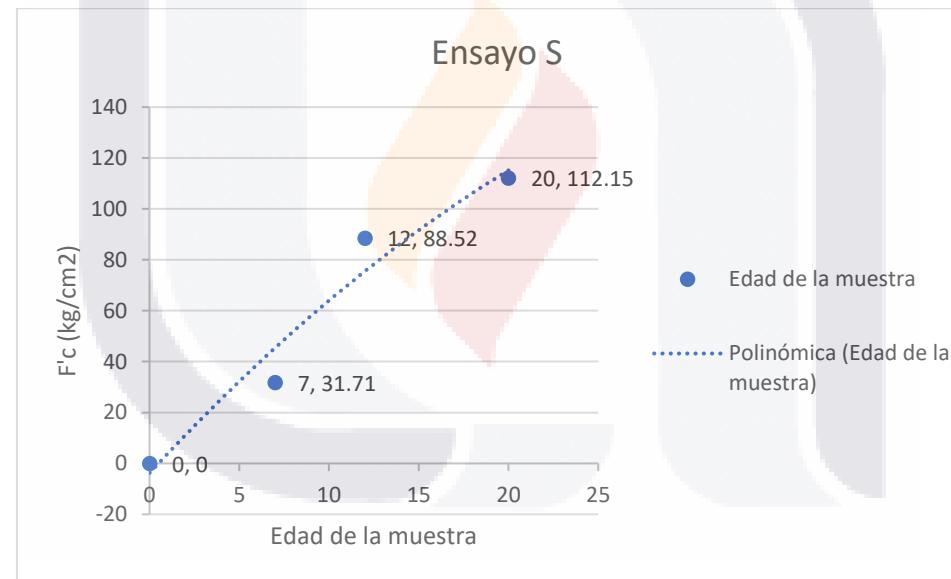


Figura 50. Resultados de ensayo con combinación de parámetros S

Tabla 10. Ensayo con combinación de parámetros T

ENSAYO:		T							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm ² ELABORADO CON AGUA DESTILADA Y CURADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
T1-1	11280	15.1	30	6901	179.08	23/10/2024	30/10/2024	38.54	0
T2-1	12070	15.3	30.4	10035	183.85	23/10/2024	04/11/2024	88.54	12
T3-1	11510	15.2	30.2	13747	181.46	23/10/2024	12/11/2024	115.42	20



Figura 51. Resultados de ensayo con combinación de parámetros T

Tabla 11. Ensayo con combinación de parámetros U

ENSAYO:		U							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		CILINDROS DE CONCRETO F'c = 150Kg/cm ² ELABORADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA Y CURADO CON AGUA COMÚN							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
U1-1	10770	15	30	8629	176.71	08/11/2024	19/11/2024	55.14	11
U2-1	11660	15.5	30.5	10032	188.69	08/11/2024	19/11/2024	82.12	13
U3-1	11160	15.2	30.3	10959	181.46	08/11/2024	19/11/2024	100.23	16

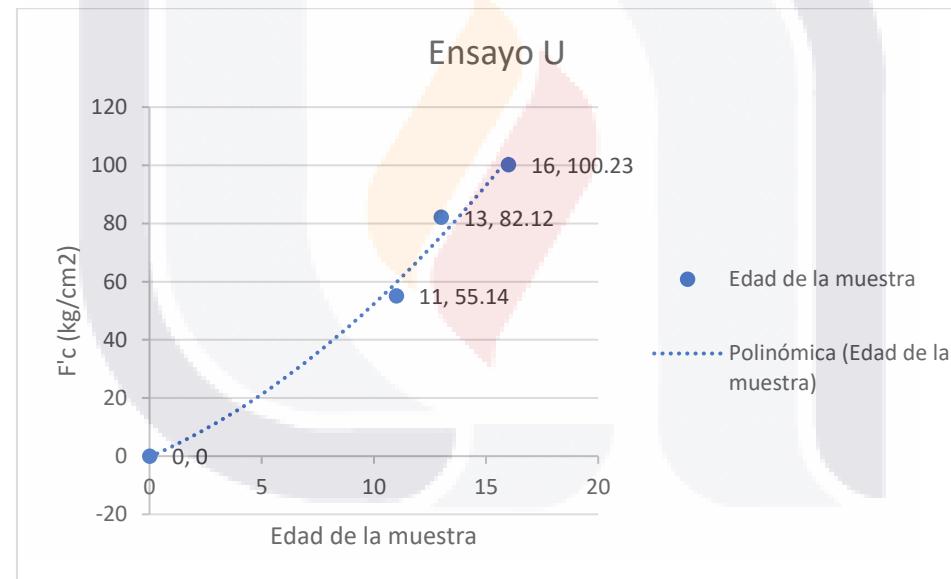


Figura 52. Resultados de ensayo con combinación de parámetros U

Tabla 12. Ensayo con combinación de parámetros W

ENSAYO:		W							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		150 kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUACOMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
W1-1	11210	15.1	30.3	11209	179.08	08/11/2024	19/11/2024	62.59	11
W2-1	10675	15	30	10364	176.71	08/11/2024	19/11/2024	79.24	13
W3-1	11395	15.4	30.4	12347	186.27	08/11/2024	19/11/2024	120.14	16

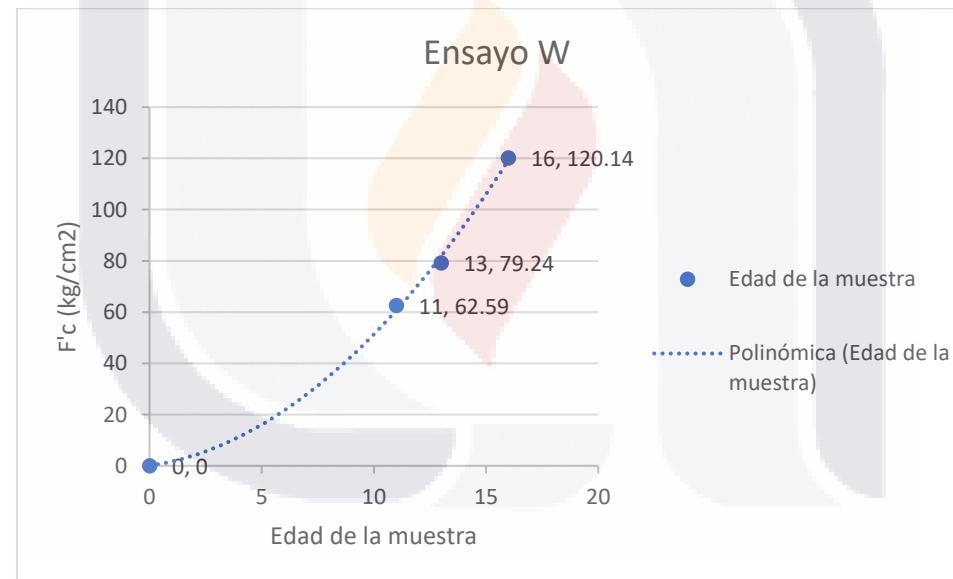


Figura 53. Resultados de ensayo con combinación de parámetros W

Tabla 13. Ensayo con combinación de parámetros C

ENSAYO:	C
DISEÑO DE MEZCLA ($F'c$):	200 kg/cm ²
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA COMÚN
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA COMÚN

CILINDROS DE CONCRETO $F'c = 200\text{Kg}/\text{cm}^2$ ELABORADO CON AGUA COMÚN Y CURADO CON AGUA COMÚN

CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN $F'c$ (kg/cm ²)	EDAD (Días)
C1-1	11914	15.5	30.3	8810	188.69	27/09/2024	03/10/2024	46.69	6
C2-1	11438	15	31	6827	176.71	27/09/2024	07/10/2024	38.63	10
C3-2	12396	15.5	30.5	9416	188.69	27/09/2024	10/10/2024	49.90	13

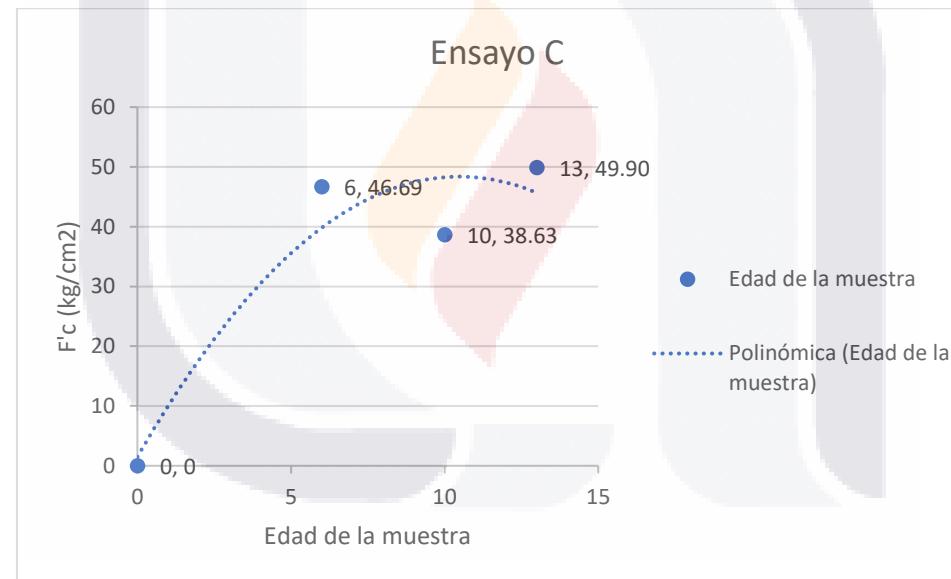


Figura 54. Resultados de ensayo con combinación de parámetros C

Tabla 14. Ensayo con combinación de parámetros E

ENSAYO:		E							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
E1-1	11352	15	29.9	6836	176.71	04/10/2024	10/10/2024	38.68	6
E2-1	11884	15.4	30.5	9397	186.27	04/10/2024	17/10/2024	50.45	13
E3-1	12427	15.3	30.1	6626	183.85	04/10/2024	18/10/2024	65.12	14

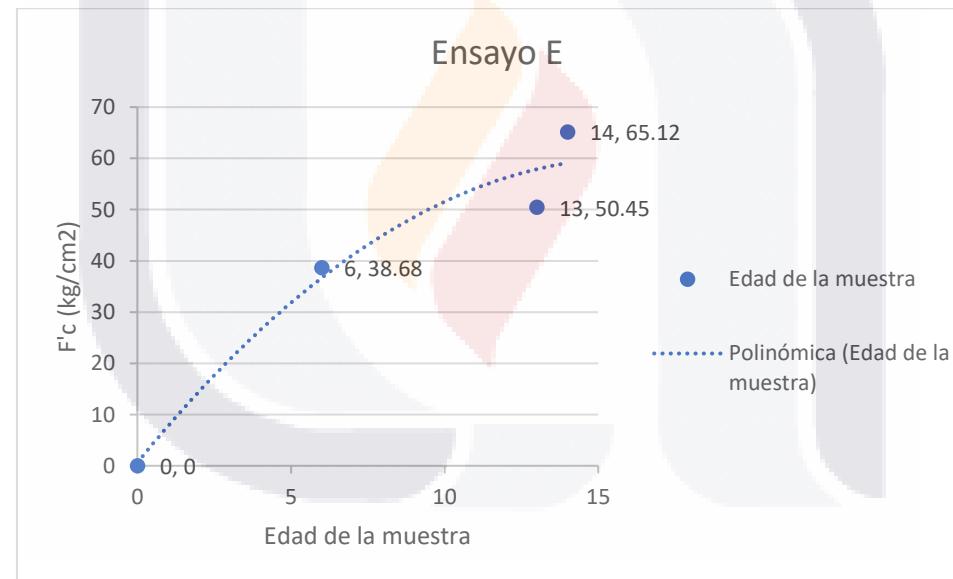


Figura 55. Resultados de ensayo con combinación de parámetros E

Tabla 15. Ensayo con combinación de parámetros F

ENSAYO:		F		CILINDROS DE CONCRETO $F'c = 200\text{Kg/cm}^2$ ELABORADO CON AGUA DESTILADA Y CURADO CON AGUA COMÚN MAGNETIZADA						
DISEÑO DE MEZCLA ($F'c$):		200 kg/cm^2								
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN $F'c$ (kg/cm ²)	EDAD (Días)	
F1-1	12401	15.5	30.5	8548	188.69	04/10/2024	10/10/2024	45.30	0	6
F2-1	12282	15.3	30.6	10407	183.85	04/10/2024	17/10/2024	56.60	13	
F3-1	11491	14.9	29.9	8511	174.37	04/10/2024	18/10/2024	48.81	14	

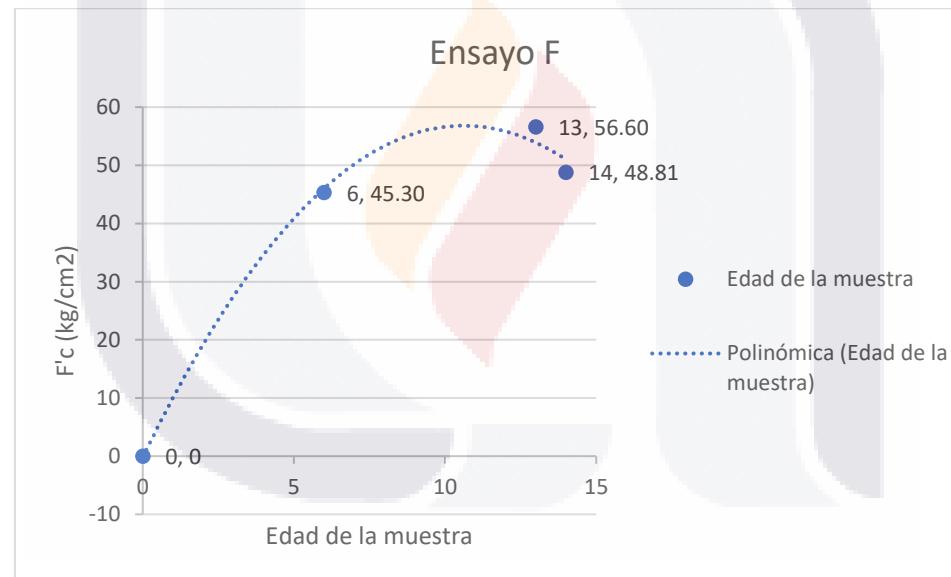


Figura 56. Resultados de ensayo con combinación de parámetros F

Tabla 16. Ensayo con combinación de parámetros G

ENSAYO:		G							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
G1-1	11878	15.3	30.3	9265	183.85	09/10/2024	17/10/2024	50.39	8
G2-1	12491	15.3	30.5	7681	183.85	09/10/2024	18/10/2024	41.78	9
G3-1	11900	15.1	30.2	9527	179.08	09/10/2024	28/10/2024	85.00	19

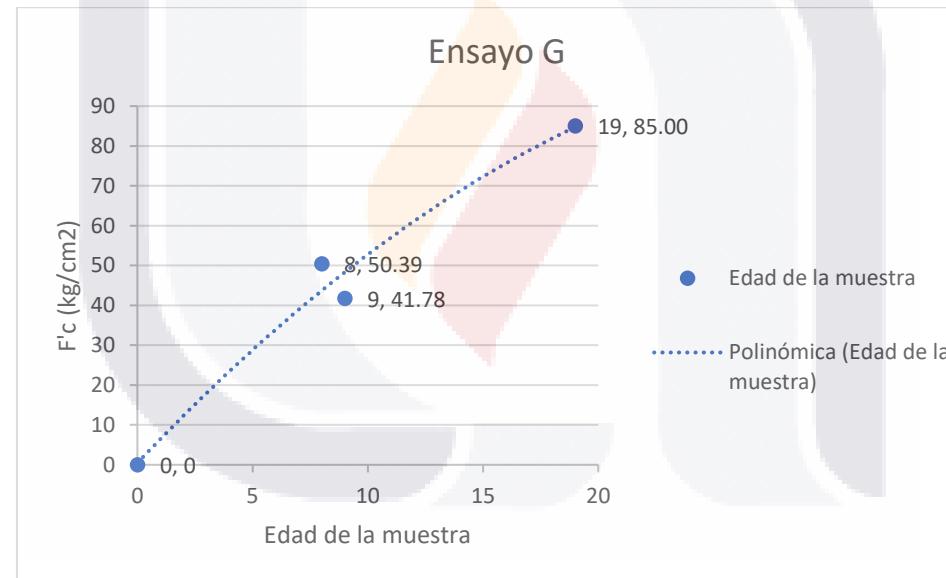


Figura 57. Resultados de ensayo con combinación de parámetros G

Tabla 17. Ensayo con combinación de parámetros H

ENSAYO:		H							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
H1-1	11380	15	29.9	8270	176.71	09/10/2024	17/10/2024	46.80	8
H2-1	12400	15.5	30.3	11890	188.69	09/10/2024	18/10/2024	63.01	9
H3-1	11387	15	29.9	9806	176.71	09/10/2024	28/10/2024	85.00	19

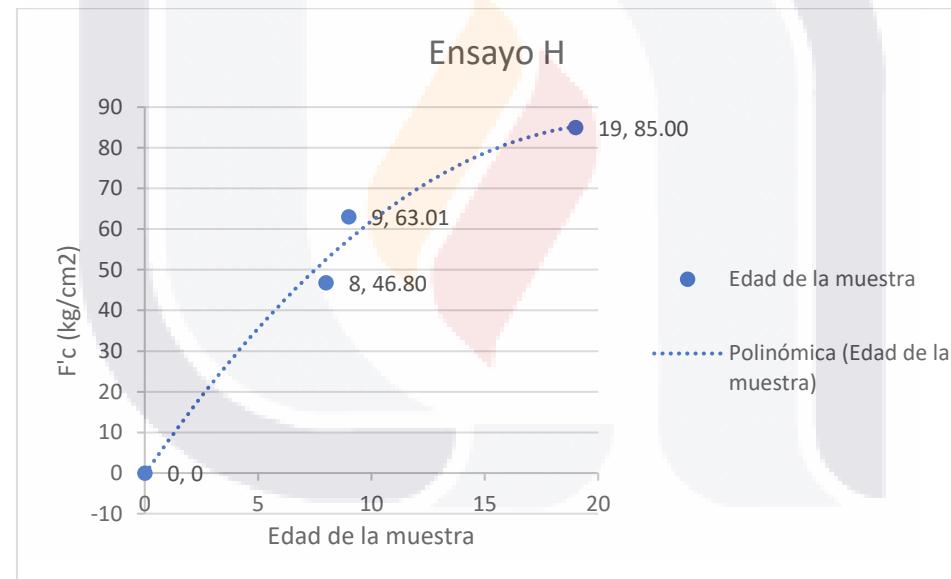


Figura 58. Resultados de ensayo con combinación de parámetros H

Tabla 18. Ensayo con combinación de parámetros K

ENSAYO:		K							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
K1-1	11440	15	30	15485	176.71	15/10/2024	22/10/2024	87.63	0
K2-1	11390	15	29.9	22166	176.71	15/10/2024	28/10/2024	125.43	13
K3-1	11938	15	30.2	19930	176.71	15/10/2024	30/10/2024	112.78	15

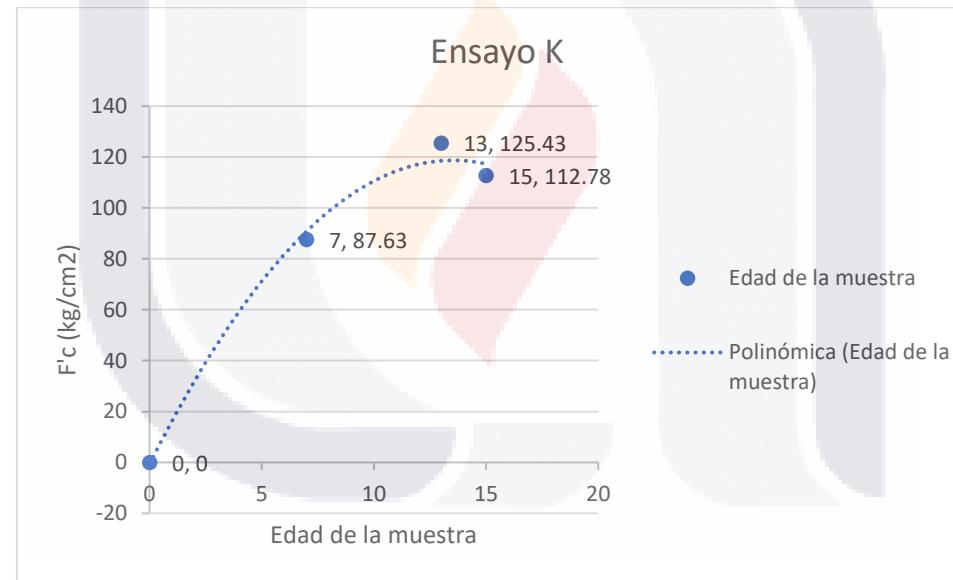


Figura 59. Resultados de ensayo con combinación de parámetros K

Tabla 19. Ensayo con combinación de parámetros M

ENSAYO:		M		CILINDROS DE CONCRETO $F'c = 200\text{Kg/cm}^2$ ELABORADO CON AGUA COMÚN Y CURADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA						
DISEÑO DE MEZCLA ($F'c$):		200 kg/cm^2								
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA DESTILADA MAGNETIZADA								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN $F'c$ (kg/cm ²)	EDAD (Días)	
M1-1	11950	15	30.4	18440	176.71	17/10/2024	28/10/2024	104.35	11	
M2-1	11510	15	30.2	20849	176.71	17/10/2024	30/10/2024	117.98	13	
M3-1	11420	15	30	21737	176.71	17/10/2024	04/11/2024	123.01	18	

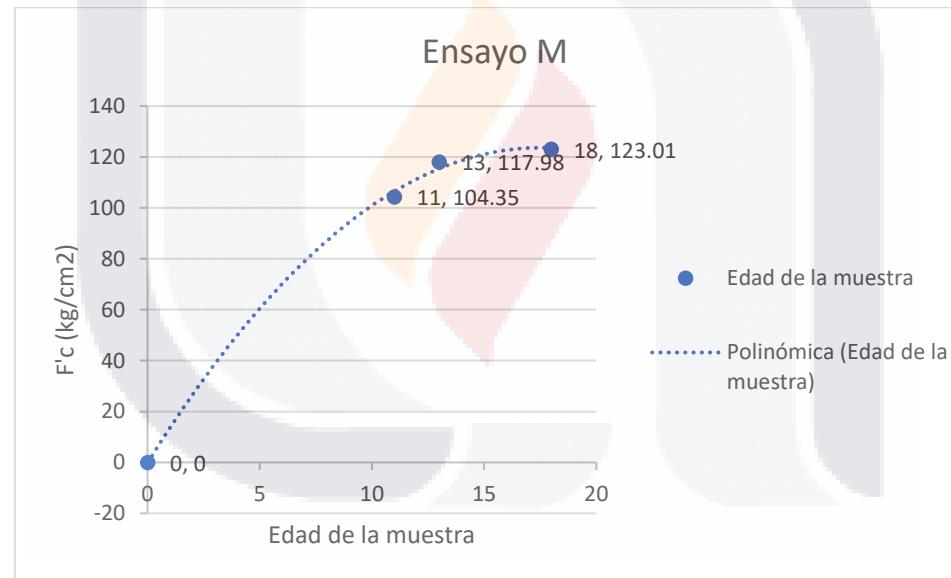


Figura 60. Resultados de ensayo con combinación de parámetros M

Tabla 20. Ensayo con combinación de parámetros N

ENSAYO:		N							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
N1-1	11845	15	30.4	20604	176.71	17/10/2024	28/10/2024	116.59	11
N2-1	12405	15.5	30.5	23317	188.69	17/10/2024	30/10/2024	123.57	13
N3-1	12335	15.5	30.5	25841	188.69	17/10/2024	04/11/2024	140.95	18

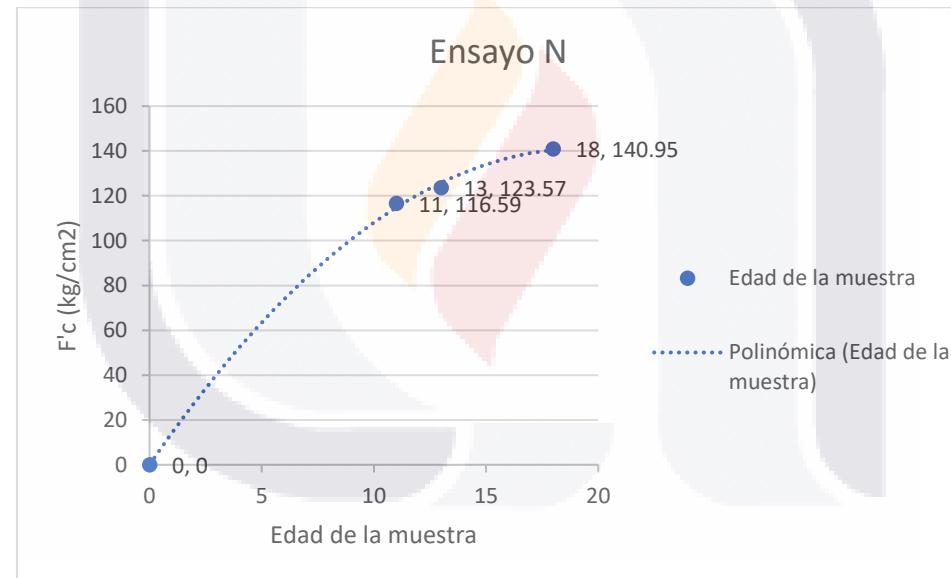


Figura 61. Resultados de ensayo con combinación de parámetros N

Tabla 21. Ensayo con combinación de parámetros O

ENSAYO:	O								
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	200 kg/cm ²								
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA COMÚN								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA DESTILADA MAGNETIZADA								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
01-1	11569	15	30.4	8386	176.71	30/10/2024	04/11/2024	47.46	0
02-1	11963	15.5	30.2	21926	188.69	30/10/2024	12/11/2024	116.20	13
03-1	11230	15	30	18259	176.71	30/10/2024	19/11/2024	126.25	20

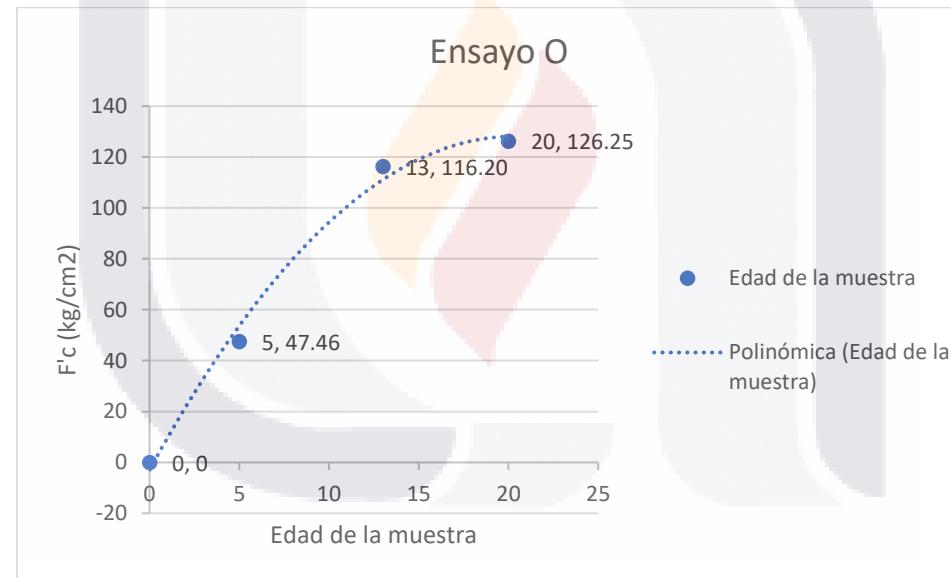


Figura 62. Resultados de ensayo con combinación de parámetros O

Tabla 22. Ensayo con combinación de parámetros P

ENSAYO:		P							
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):		200 Kg/cm ²							
TIPO DE AGUA EN CURADO:		AGUA COMÚN MAGNETIZADA							
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:		AGUA DESTILADA MAGNETIZADA							
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
P1-1	12065	15.5	30.5	11117	188.69	30/10/2024	04/11/2024	58.92	0
P2-1	11500	15.2	30.5	21420	181.46	30/10/2024	12/11/2024	118.04	13
P3-1	11250	15.1	29.9	22126	179.08	30/10/2024	19/11/2024	129.56	20

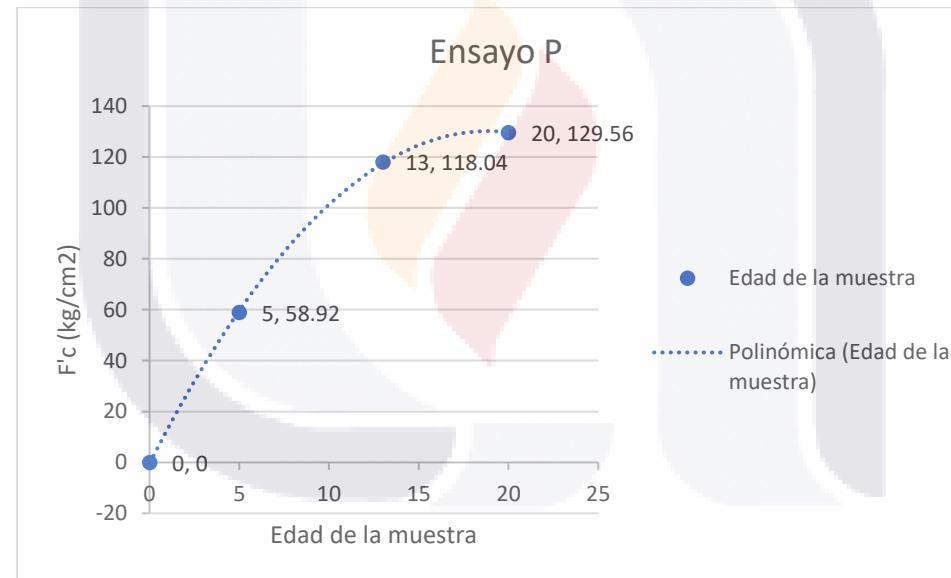


Figura 63. Resultados de ensayo con combinación de parámetros P

Tabla 23. Ensayo con combinación de parámetros Q

ENSAYO:	Q								
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	200 kg/cm ²								
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA DESTILADA MAGNETIZADA								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA DESTILADA								
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
Q1-1	11753	15.2	30.4	25640	181.46	02/11/2024	12/11/2024	97.50	10
Q2-1	12139	15.2	30.3	26686	181.46	02/11/2024	12/11/2024	92.96	10
Q3-1	12490	15.4	30.4	25958	186.27	02/11/2024	19/11/2024	139.36	17

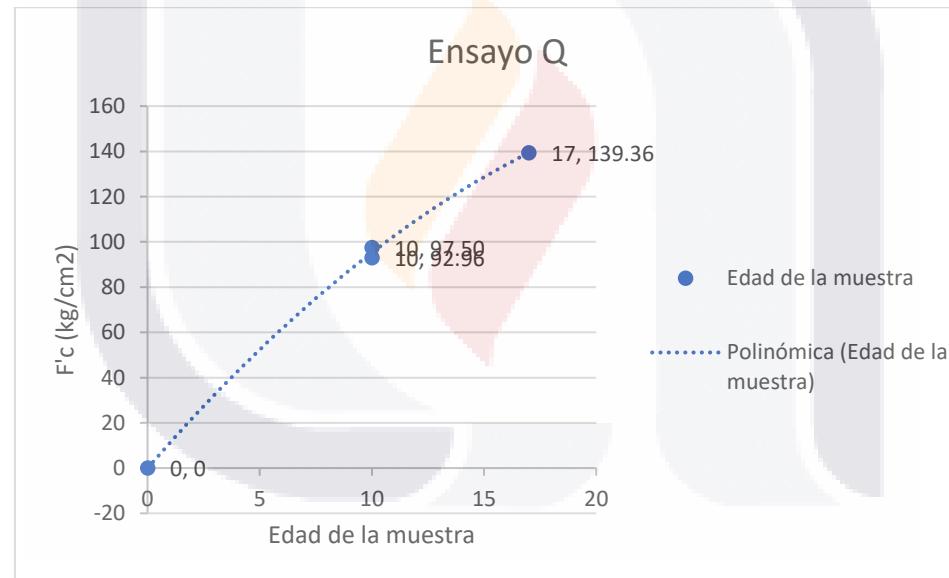


Figura 64. Resultados de ensayo con combinación de parámetros Q

Tabla 24. Ensayo con combinación de parámetros R

ENSAYO:	R								
DISEÑO DE MEZCLA (F'c):	200 Kg/cm ²								
TIPO DE AGUA EN CURADO:	AGUA DESTILADA MAGNETIZADA								
TIPO DE AGUA EN MEZCLA:	AGUA DESTILADA MAGNETIZADA								
CONDICIONES DE CONCRETO F'c = 200Kg/cm² ELABORADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA Y CURADO CON AGUA DESTILADA MAGNETIZADA									
CLAVE	PESO (Gr.)	DIAMETRO (cm.)	ALTURA (cm.)	CARGA (Kg.)	ÁREA (cm ²)	FECHA ELABORACION	FECHA ENSAYO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN F'c (kg/cm ²)	EDAD (Días)
R1-1	11240	15	30	21760	176.71	02/11/2024	12/11/2024	97.85	10
R2-1	11360	15	30	27003	176.71	02/11/2024	12/11/2024	99.12	10
R3-1	11940	15.2	30.5	26372	181.46	02/11/2024	19/11/2024	145.33	17

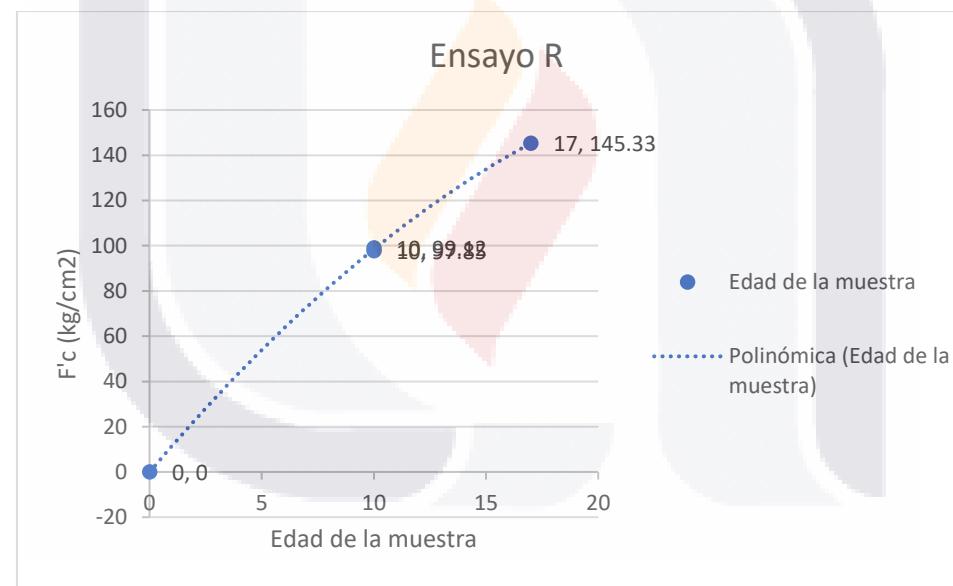


Figura 65. Resultados de ensayo con combinación de parámetros R

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 66. Ensayo a compresión axial de cilindros A1-1 y A1-2



Figura 67. Ensayo a compresión axial de cilindros A2-1 y A2-2

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 68. Ensayo a compresión axial de cilindros A3-1 y B1-1



Figura 69. Ensayo a compresión axial de cilindros B1-2 y B2-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 70. Ensayo a compresión axial de cilindros B2-2 y B3-2



Figura 71. Ensayo a compresión axial de cilindros C2-1 y C2-2

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 72. Ensayo a compresión axial de cilindros C3-1 y C3-2



Figura 73. Ensayo a compresión axial de cilindros D1-1 y D1-1^a



Figura 74. Ensayo a compresión axial de cilindros D2-1 y D2-N



Figura 75. Ensayo a compresión axial de cilindros D1-3 y D1-3M

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 76. Ensayo a compresión axial de cilindros E1-1 y E2-1



Figura 77. Ensayo a compresión axial de cilindros E3-1 y E1-3

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 78. Ensayo a compresión axial de cilindros F1-1 y F2-1



Figura 79. Ensayo a compresión axial de cilindros F1-3 y G1-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 80. Ensayo a compresión axial de cilindros G1-2 y G1-3



Figura 81. Ensayo a compresión axial de cilindros H1-1 y H1-2

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 82. Ensayo a compresión axial de cilindros H1-3 y I1-1

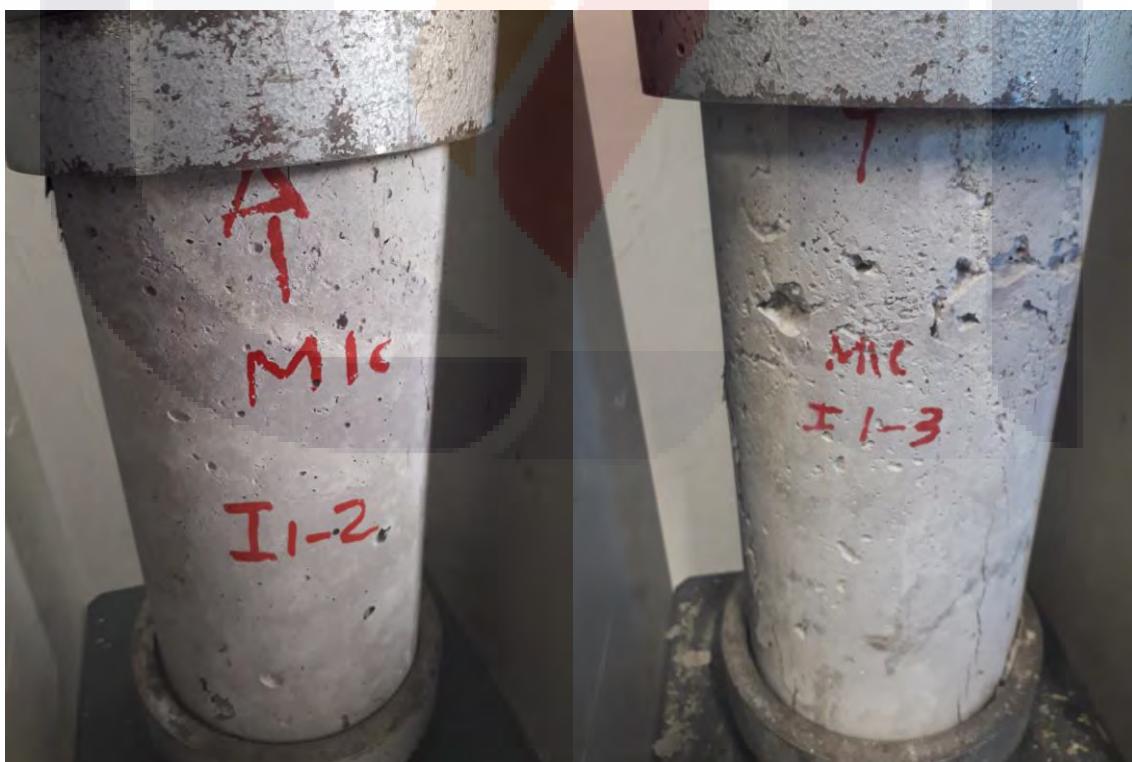


Figura 83. Ensayo a compresión axial de cilindros I1-2 y I1-3

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 84. Ensayo a compresión axial de cilindros J1-1 y J1-2



Figura 85. Ensayo a compresión axial de cilindros J1-3 y K1-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

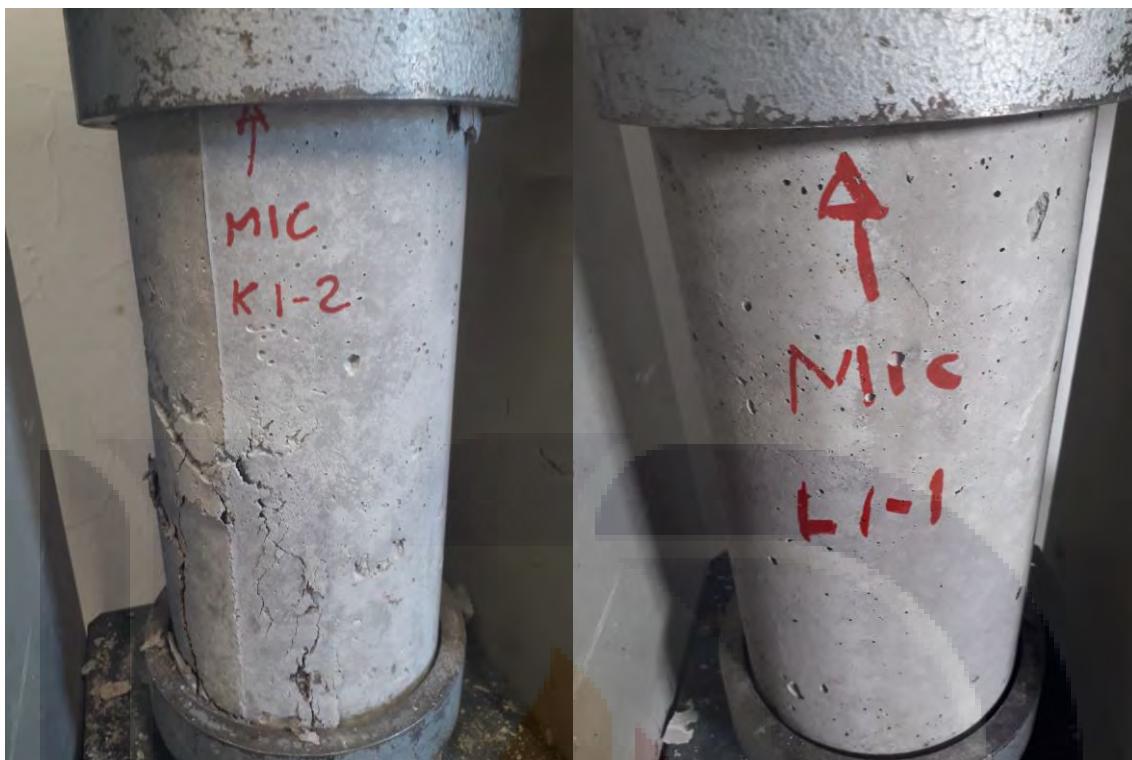


Figura 86. Ensayo a compresión axial de cilindros K1-2 y L1-1



Figura 87. Ensayo a compresión axial de cilindros L1-2 y M1-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 88. Ensayo a compresión axial de cilindros M1-2 y M1-3



Figura 89. Ensayo a compresión axial de cilindros N1-1 y N1-3

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 90. Ensayo a compresión axial de cilindros O1-1 y O1-2



Figura 91. Ensayo a compresión axial de cilindros O1-3 y P1-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 92. Ensayo a compresión axial de cilindros P1-2 y P1-3



Figura 93. Ensayo a compresión axial de cilindros Q1-1 y Q1-2

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 94. Ensayo a compresión axial de cilindros R1-1 y R1-3



Figura 95. Ensayo a compresión axial de cilindros S1-2 y S1-3

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 96. Ensayo a compresión axial de cilindros T1-2 y T1-3



Figura 97. Ensayo a compresión axial de cilindros F1-3 y G1-1

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Figura 98. Ensayo a compresión axial de cilindros U1-3 y W1-1



Figura 99. Ensayo a compresión axial de cilindros W1-2 y W1-3

5.3 Descripción minuciosa de datos recabados en espectroscopia Raman

Para la elaboración de este apartado se describen detalladamente los datos recabados de la campaña experimental de la espectroscopia Raman a partir de la cual se incluyen tablas y figuras para dar consistencia y estructuración a la investigación.

Las pruebas se realizan con el siguiente número y orden (para presentación de datos más organizado):

- 1) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 2) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 3) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 4) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 5) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 6) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 7) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 8) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 9) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 10) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 11) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días

- 12) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 13) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 14) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 15) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 16) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 17) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua común, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 18) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común, ensayado a 15 días
- 19) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada, ensayado a 15 días
- 20) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 21) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 22) 1 cilindro de, Concreto $F'c=150$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días
- 23) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua magnetizada, elaborado con agua destilada magnetizada, ensayado a 15 días
- 24) 1 cilindro de, Concreto $F'c=200$ kg/cm², curado con agua destilada magnetizada, elaborado con agua común magnetizada, ensayado a 15 días

Prueba de microscopio Raman para concreto $F'c=150\text{kg/cm}^2$, ensayados a 15 días

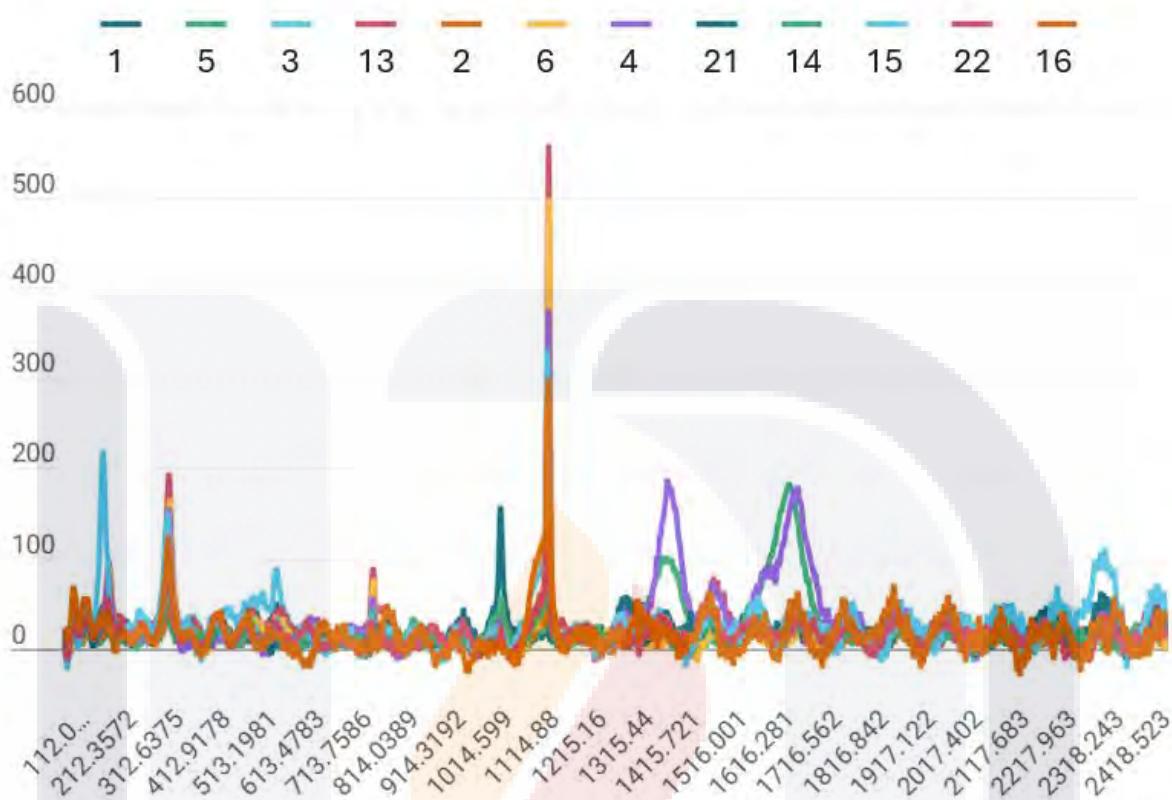
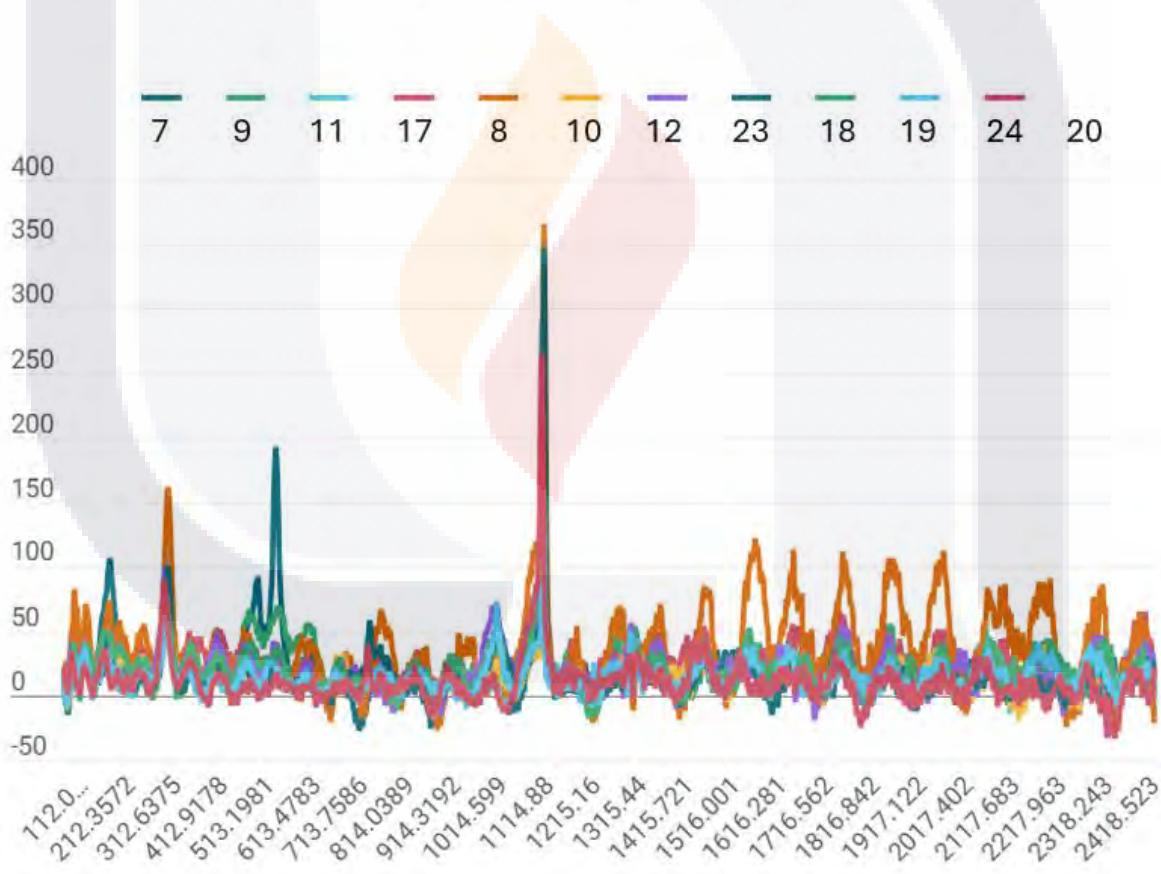


Figura 100. Prueba Raman $F'c= 150 \text{ kg/cm}^2$

Tabla 25. Resultados de prueba Raman $F'c= 150 \text{ kg/cm}^2$

Pico (cm^{-1}) aprox.	Fase	Significado	Interpretación técnica
513	Si–O–Si (gel)	Producto de hidratación o agregado	Zonas donde el gel está bien formado.
714	CO_3^{2-}	Calcita (CaCO_3)	Indica carbonatación superficial ($\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$).

1114	Si–O	C–S–H ordenado / carbonato	Hidratación avanzada o inicio de carbonatación.
1215	Si–O–Si o CO_3^{2-}	Possible mezcla C–S–H + CaCO_3	Alta intensidad = zona con fase estable o estructurada.
1515	CO_3^{2-}	Carbonatos (calcita)	Carbonatación ya perceptible.
1616	O–H deformación (agua o portlandita)	Hidratación activa	Indica que todavía hay agua unida.

Prueba de microscopio Raman para concreto $F'c=200 \text{ kg/cm}^2$ ensayado a 15 díasFigura 101. Prueba Raman $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$ Tabla 26. Resultados de prueba Raman $F'c= 200 \text{ kg/cm}^2$

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Pico (cm ⁻¹) aprox.	Fase vibración	Significado	Interpretación técnica
513	Si–O–Si (gel)	Producto de hidratación o presencia de agregado silíceo	Picos bien definidos aquí indican una formación más intensa del gel C–S–H , asociado al desarrollo de resistencia.
714	CO ₃ ²⁻	Calcita (CaCO ₃)	Presente pero con menor intensidad que en la muestra de 150 kg/cm ² → menor carbonatación .
1114	Estiramiento Si–O	Gel C–S–H más ordenado o carbonato	Este pico fuerte indica mejor hidratación del cemento y posible mezcla con algo de carbonato.
1215	Si–O–Si y CO ₃ ²⁻	C–S–H bien desarrollado + trazas de carbonatos	La intensidad alta y estable sugiere una fase C–S–H madura y estructurada (mayor cohesión interna).
1515	CO ₃ ²⁻	Carbonatos (calcita)	Aún hay carbonatación leve, pero más controlada; el pico es menos dominante.
1616	O–H deformación	Agua estructural o portlandita	Muestra hidratación activa en curso , lo normal a los 15 días; el sistema aún contiene humedad interna.

Prueba de microscopio Raman 455nm para concreto F'c=150 kg/cm² ensayado a 15 días

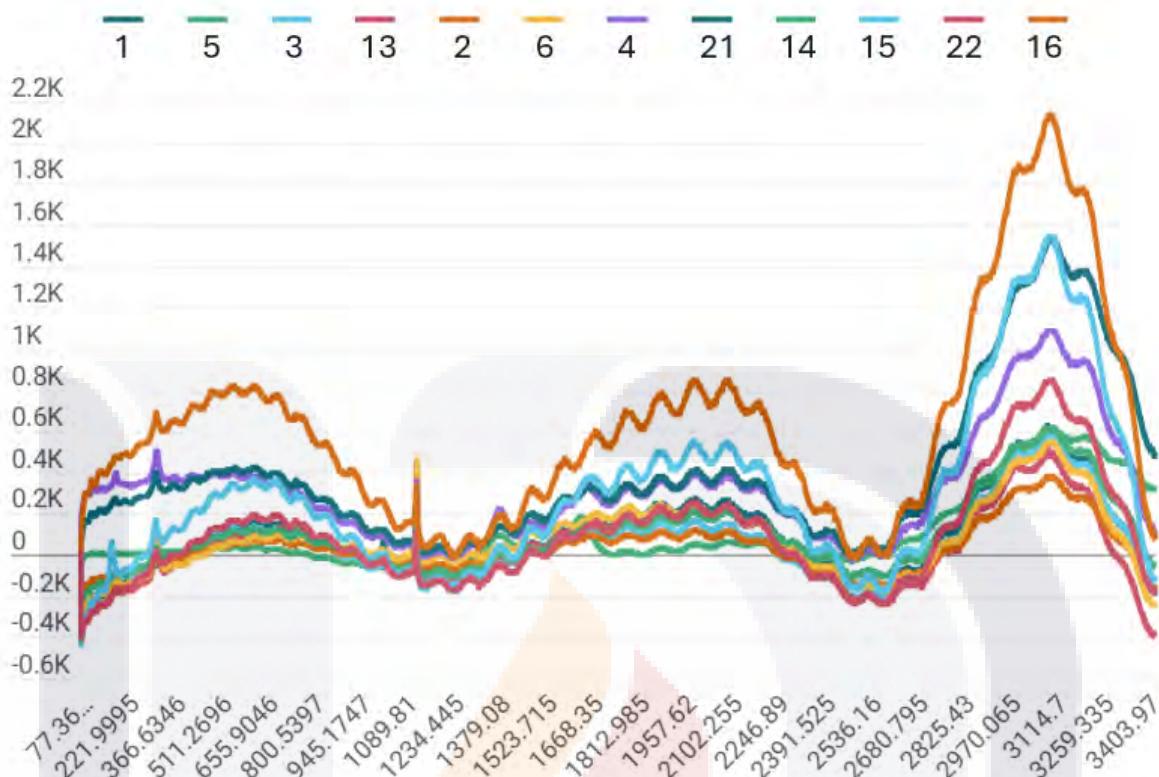


Figura 102. Prueba Raman 455nm F'c=150 kg/cm²

Tabla 27. Resultados de prueba Raman 455nm F'c=150 kg/cm²

Pico (cm ⁻¹) aprox.	Fase vibración /	Significado	Interpretación técnica
511	Si–O–Si (gel)	Vibración típica del silicato en el cemento o agregado silíceo	Indica la presencia del gel C–S–H , principal responsable de la resistencia. Su visibilidad con 455 nm muestra buena dispersión Raman.
800–945	Si–O estructuras silicatadas	Fases intermedias del C–S–H	Muestra que la hidratación está en progreso , formando enlaces silicato-calcio más complejos.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

1089	CO_3^{2-} o Si-O	Carbonatos (CaCO_3) o gel C-S-H ordenado	Indica inicio de carbonatación superficial o gel estructurado ; pico fuerte aquí puede ser doble contribución.
1520– 1680	O–H / CO_3^{2-}	Hidratación y carbonatación parcial	Representa agua estructural aún presente y ligera carbonatación .
2950– 2970	C–H	Contaminación orgánica o aditivos	Puede provenir de aditivos o restos orgánicos del curado. No es estructural del cemento.
3250– 3400	O–H	Agua combinada o portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Fuerte presencia indica hidratación activa ; aún hay agua ligada químicamente dentro de la matriz.

Prueba de microscopio Raman 455nm para concreto F'c=200 kg/cm² ensayado a 15 días

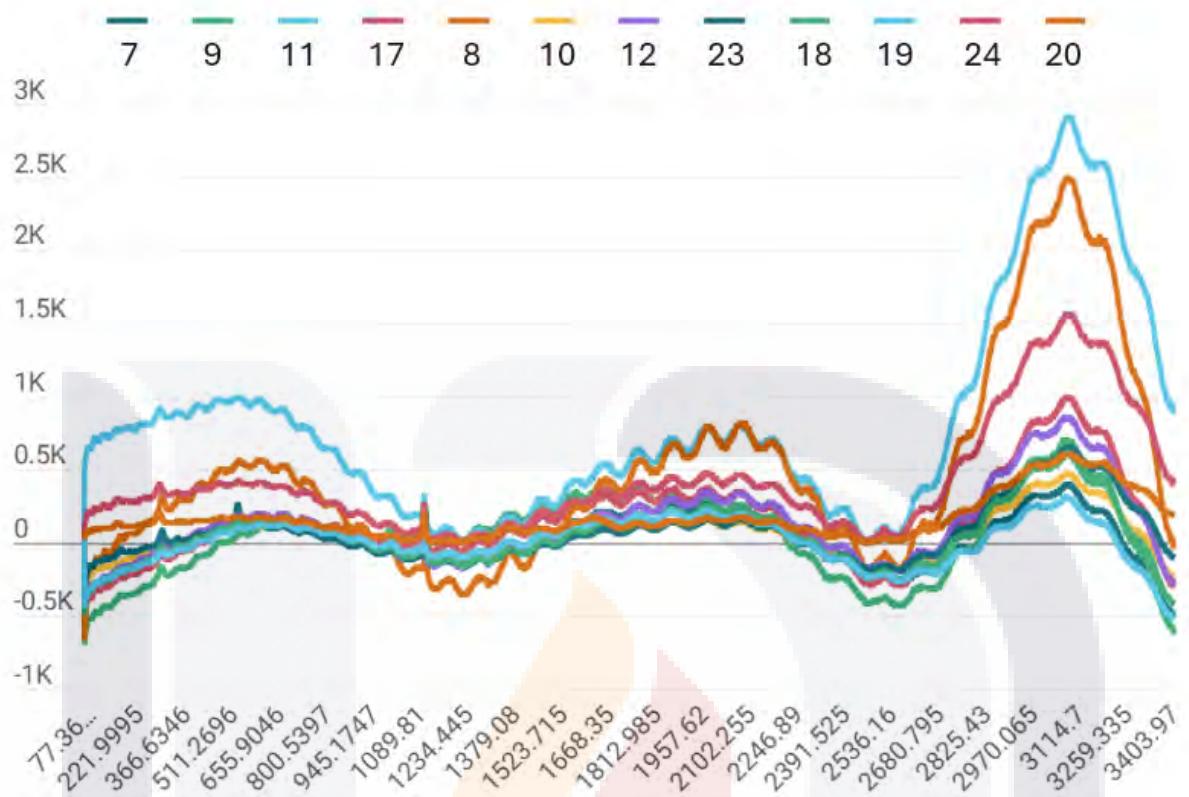


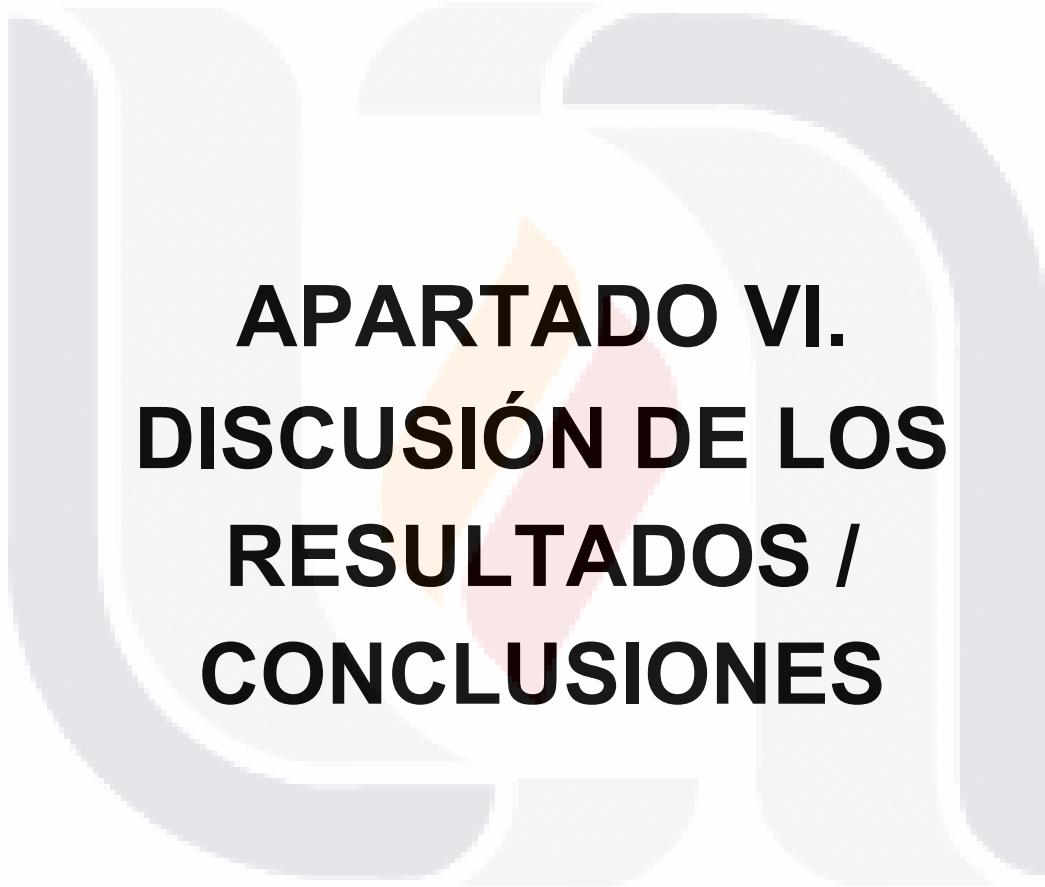
Figura 103. Prueba Raman 455nm F'c=200 kg/cm²

Tabla 28. Resultados de prueba Raman 455nm F'c=200 kg/cm²

Pico (cm ⁻¹) aprox.	Fase vibración /	Significado	Interpretación técnica
511	Si–O–Si (gel)	Vibración típica del silicato presente en el cemento y agregados silíceos.	Su intensidad moderada sugiere una hidratación en desarrollo con buena dispersión Raman.
800–945	Si–O estructuras silicatadas	Fases intermedias del C–S–H o trazas de cuarzo residual.	Indica formación activa del gel C–S–H; el cemento está consolidando su estructura

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

			interna, reflejando un avance respecto a concretos de menor resistencia.
1089	CO_3^{2-} o Si–O ordenado	Presencia de carbonatos (CaCO_3) o geles silicatados más estructurados.	Sugiere inicio de carbonatación superficial o reordenamiento del gel; puede deberse al contacto con el ambiente o curado no completamente húmedo.
1520– 1680	O–H / CO_3^{2-}	Vibraciones de agua estructural y carbonatación ligera.	Indica retención de humedad interna y formación inicial de carbonatos; el proceso de hidratación aún continúa.
2950– 2970	C–H	Señal de compuestos orgánicos o aditivos de curado.	Puede originarse de agentes reductores, superplastificantes o contaminantes superficiales.
3250– 3400	O–H (agua combinada / portlandita)	Presencia de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y agua químicamente ligada.	Fuerte pico indica buena hidratación del cemento; la portlandita aún está activa, lo que es positivo para la ganancia de resistencia con el tiempo.



APARTADO VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS / CONCLUSIONES

APARTADO VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS / CONCLUSIONES

Este apartado tiene como finalidad dar una discusión de los datos recabados de la campaña experimental a partir del planteamiento central y las hipótesis de la investigación, así como el análisis del cumplimiento de los objetivos que se plantearon al comenzar el proyecto de investigación. Por último, se señalan las recomendaciones para las futuras investigaciones al tema planteado.

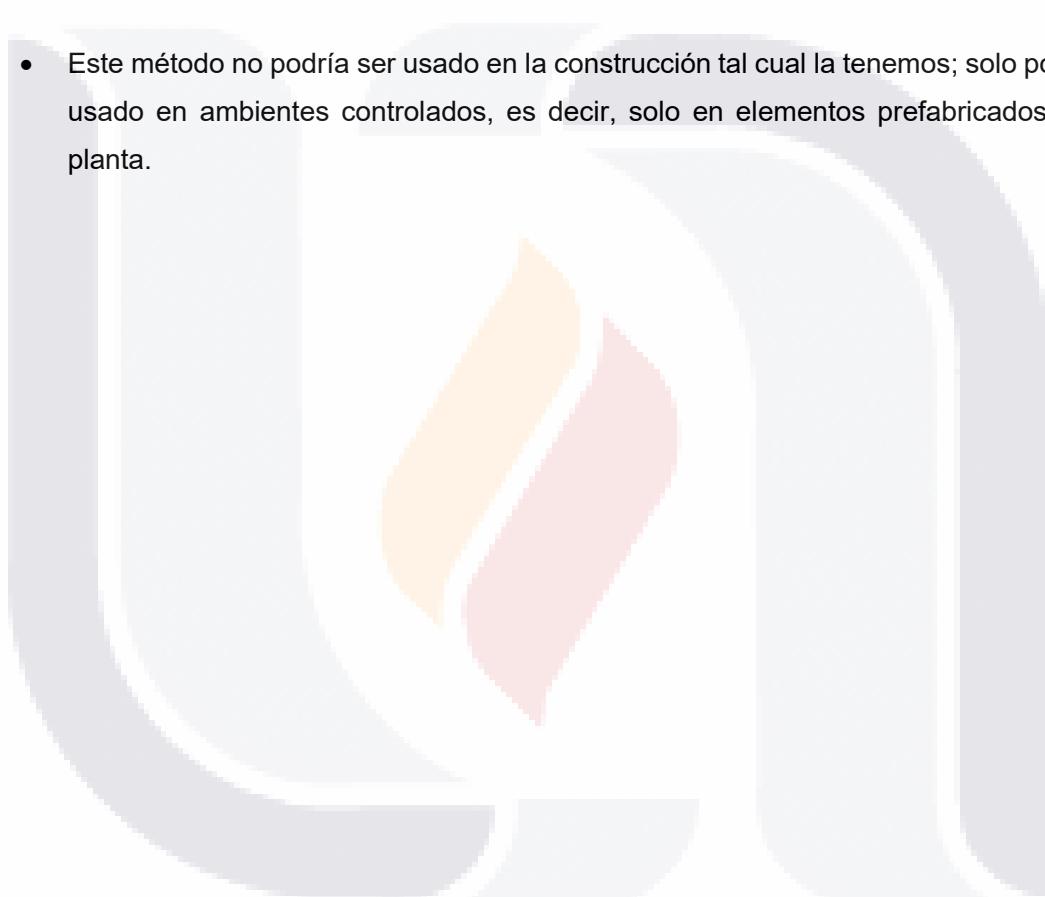
6.1 Discusión de los datos recabados

En el presente apartado se pretende dar respuesta al planteamiento central de la investigación a partir del análisis de la pregunta que guía el presente trabajo, la cual es la siguiente: ¿Cuáles son los cambios significativos en las cualidades del concreto (Positivos y negativos) al inducir magnetización en el agua usada en la elaboración de las mezclas, así como en el curado?

A partir de los resultados obtenidos de la campaña experimental de esta investigación, se pueden señalar los siguientes aspectos relevantes:

- El uso del agua magnetizada en la elaboración de los elementos de concreto no es relevante; se infiere que la magnetización al ser una energía débil, pierda sus propiedades justo en el momento de la elaboración, y al ser un proceso de corta duración; y donde la mezcla apenas inicia su proceso primario de hidratación y fraguado no representa un cambio apreciable en las propiedades finales.
- El uso del agua magnetizada en el curado de los elementos de concreto resulta favorecedor ya que aumenta su capacidad en la resistencia a compresión y muestra un cambio en la carbonatación del concreto, así como en un aumento en el agua adsorbida por los elementos; que en consecuencia tendrá una proyección de mayor resistencia a compresión en el futuro y una calidad de gel de mejor calidad).
- El costo de elaboración de estos elementos se verá reducido al llegar a la resistencia necesaria con una menor cantidad de recursos (materiales cementables; en este caso el cemento).

- Las propiedades de los agregados no se ven afectadas por esta inducción de campos magnéticos; ya que son materiales inertes.
- En la observación de las muestras durante el curado se observó una “nata” en la cada superior del recipiente durante el curado de los elementos que fueron sometidos a campos magnéticos; esto puede referirse a que la inducción de los campos magnéticos floculó los minerales presentes en el agua; lo que genera una mejor pureza del concreto; evitando minerales como el flúor o metales pesados que en un futuro puedan tener una consecuencia hacia el elemento.
- Este método no podría ser usado en la construcción tal cual la tenemos; solo podría ser usado en ambientes controlados, es decir, solo en elementos prefabricados en una planta.



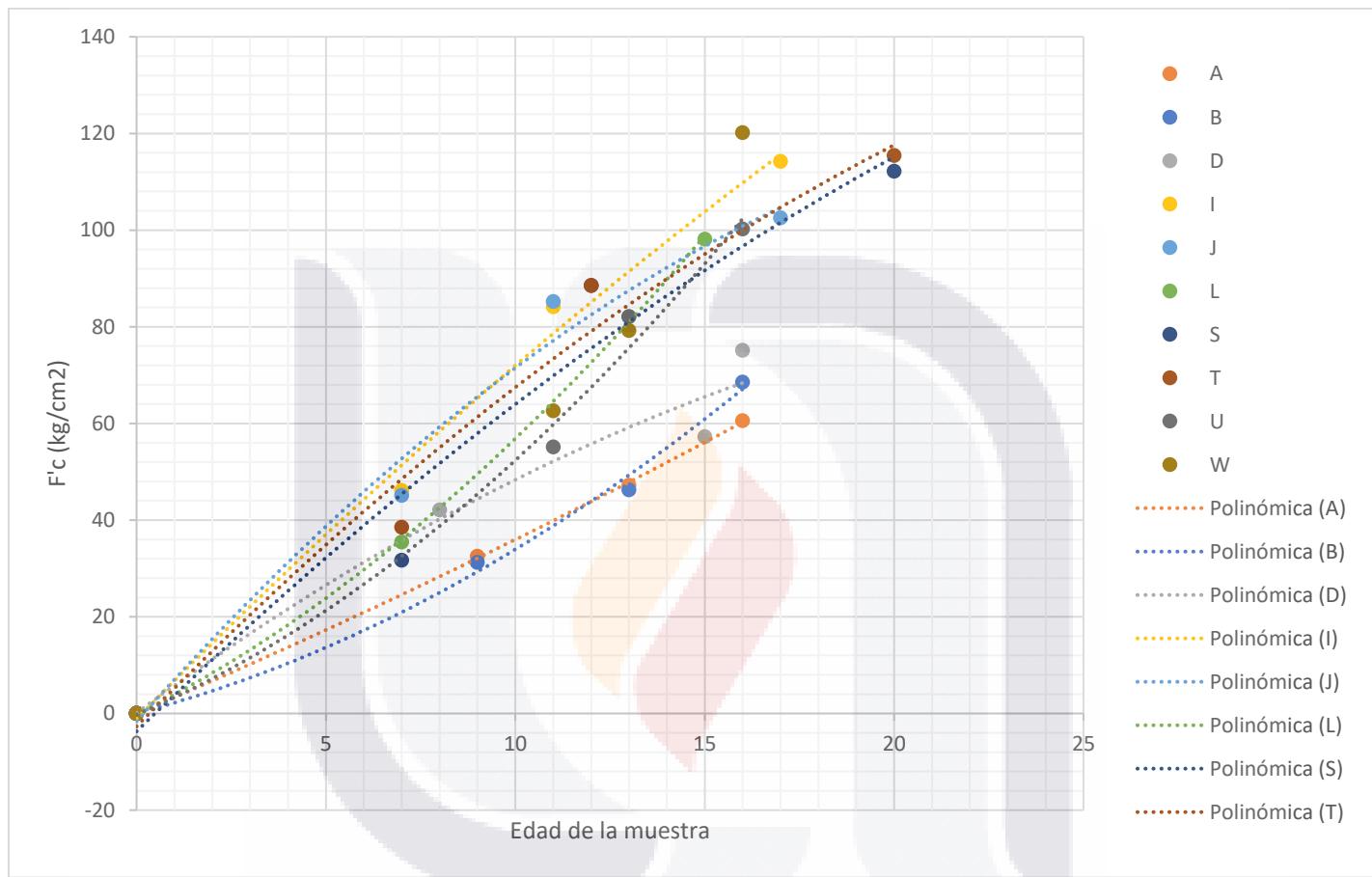


Figura 104. Gráficas de ensayos a compresión diseñados con $F'c= 150 \text{ kg}/\text{cm}^2$ a 28 días.

La polinómica A, B, D, L, U representan mezclas cuyo curado se hizo en condiciones comunes, y la polinómica I, T, S son mezclas cuyo curado se hizo en condiciones de agua magnetizada; lo que nos muestra un incremento significativo de la resistencia a compresión en condiciones de edad similares.

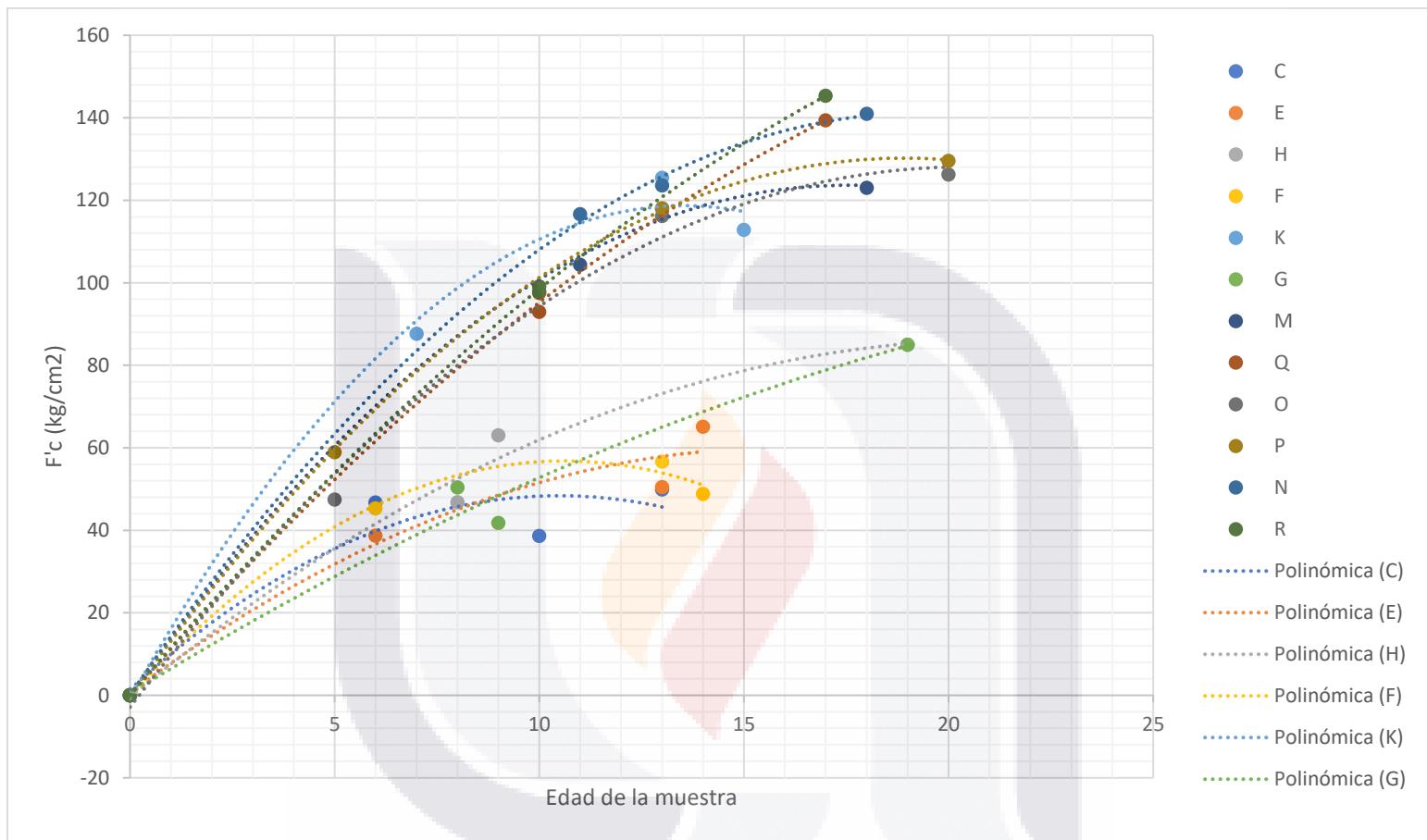


Figura 105. Gráficas de ensayos a compresión diseñados con $F'c = 200 \text{ kg}/\text{cm}^2$ a 28 días

La polinómica G, B, D, L, U representan mezclas cuyo curado se hizo en condiciones comunes, y la polinómica I, T, S son mezclas cuyo curado se hizo en condiciones de agua magnetizada; lo que nos muestra un incremento significativo de la resistencia a compresión en condiciones de edad similares.

Prueba de microscopio Raman 455nm para concreto F'c=200 kg/cm² ensayado a 15 días

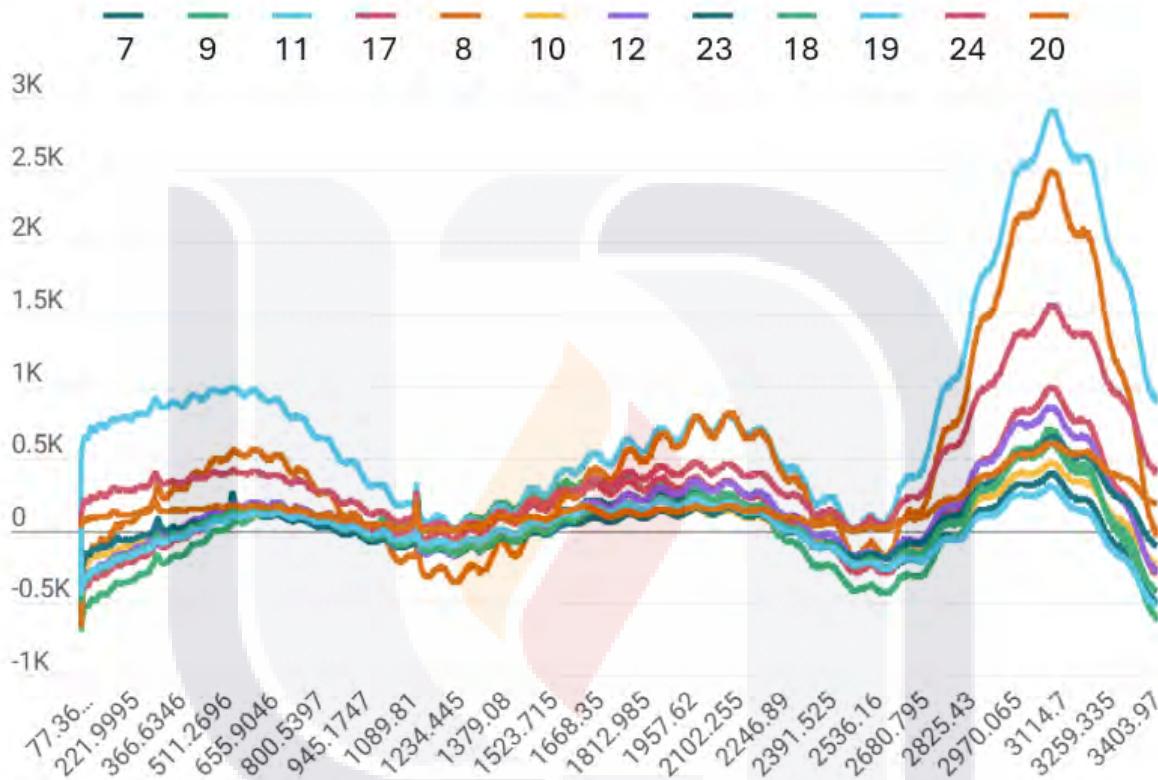


Figura 106. Prueba Raman 455nm F'c=200 kg/cm²

Los resultados obtenidos muestran que el concreto analizado está en un proceso normal y positivo de hidratación. El pico cercano a 511 cm^{-1} indica la presencia de los silicatos naturales del cemento, lo cual confirma que la mezcla está reaccionando como debe. Esto se refuerza con la banda entre 800 y 945 cm^{-1} , que corresponde al gel C–S–H, el principal responsable de la resistencia del concreto; su presencia demuestra que el material está formando correctamente su estructura interna con las gráficas mas altas que corresponden a procesos de curado con agua magnetizada.

El pico alrededor de 1089 cm^{-1} sugiere que existe un poco de carbonatación superficial o un reacomodo del gel hidratado, algo común cuando el concreto entra en contacto con el ambiente y el curado no se mantiene totalmente húmedo. La zona entre 1520 y 1680 cm^{-1} confirma que todavía hay humedad dentro del material y que la hidratación sigue avanzando.

Por otro lado, la señal entre 2950 y 2970 cm^{-1} indica la posible presencia de restos de aditivos orgánicos o compuestos usados en el curado. Finalmente, la banda fuerte entre 3250 y 3400 cm^{-1} demuestra que aún existe portlandita y agua combinada químicamente, lo cual es una buena señal, ya que significa que el cemento se sigue hidratando y que el concreto puede continuar ganando resistencia.

En resumen, el conjunto de picos sugiere que el concreto está evolucionando de manera adecuada: forma bien el gel responsable de la resistencia, retiene humedad suficiente para seguir hidratándose y sólo muestra una ligera carbonatación superficial.

6.2 Conclusiones

En el presente apartado se señalan las hipótesis planteadas de la investigación, las cuales son las siguientes.

¿La inclusión de agua magnética en el proceso de la elaboración de elementos de concreto tendrá consecuencias en algunas propiedades físicas y mecánicas a pesar de aumentar la resistencia a compresión y reducir la cantidad de cemento?

Se acepta, ya que la inclusión de agua magnética si aumenta la resistencia a compresión y produce un concreto con menos impurezas; genera un concreto con un gel C-S-H con resultados mayores a un concreto común, sin embargo el exceso de portlandita aunque puede representar un correcto proceso de hidratación (aun en curso); puede generar una carbonatación temprana; lo que puede concluir en un concreto de vida útil reducida; aunque esto no puede determinarse por la edad temprana de las muestras.

¿Se tendrá un balance positivo en el costo de elaboración de dichos elementos, es decir la modificación en la elaboración y la inclusión de los mecanismos antes mencionados provocarán una reducción en el costo de elaboración sin reducir su calidad?

Se acepta, ya que la inclusión de agua magnética si aumenta la resistencia a compresión y reducirá la cantidad de cemento y produce un concreto con menos impurezas; lo que será un producto de mejor calidad. Por lo que la reducción de costo si se generará; además de un beneficio mayor (calidad).

6.3 Verificación del cumplimiento de los objetivos de la investigación

Por lo que se refiere a los objetivos específicos de la investigación:

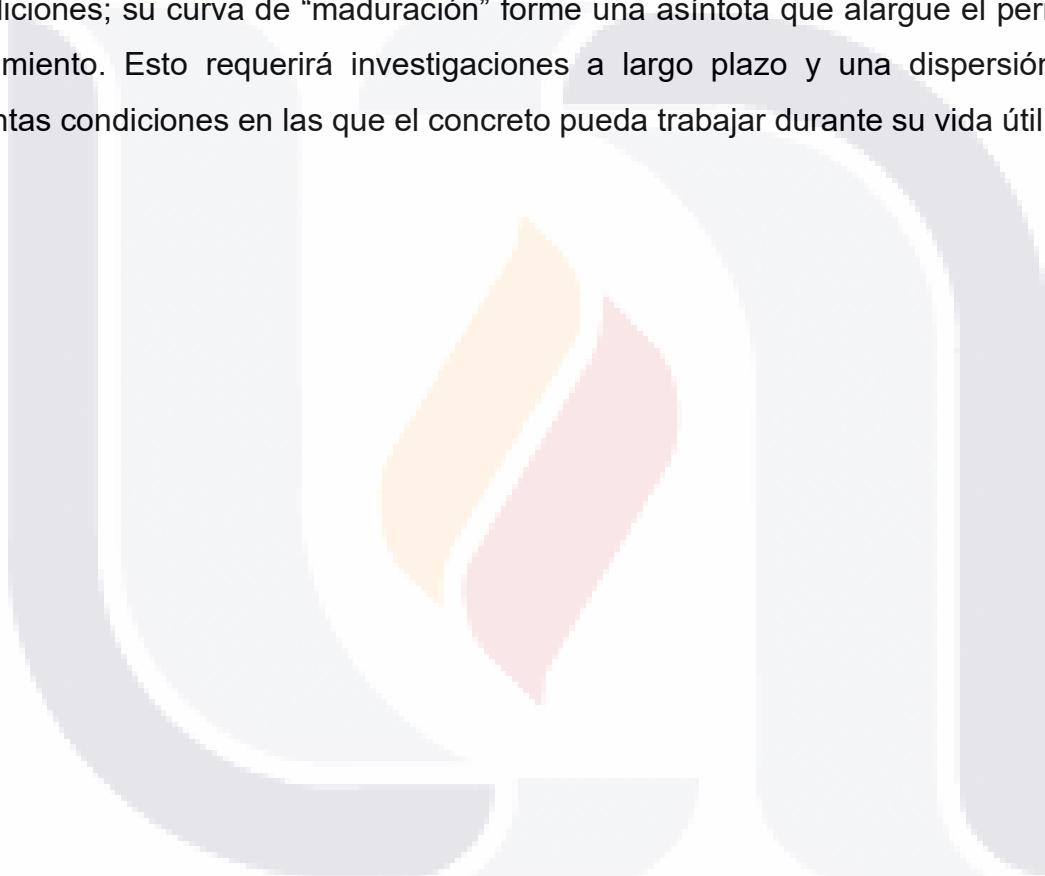
- Determinar el proceso de magnetización del agua y parametrizarlo: **Bajo prueba y error, y con los materiales al alcance se logró magnetizar el agua lo que generó cambios significativos en el concreto, sin embargo parametrizarlo resultó complicado ya que el magnetismo es una energía débil, y con las herramientas que se tuvieron al alcance no se estudio a detalle cuan magnetizada o a que nivel molecular esto representa un cambio.**
- Reconocer las diferencias de incluir agua magnética en la elaboración de concreto y usar agua común: **No se obtiene resultado alguno de cambio en el concreto.**
- Reconocer las diferencias de incluir agua magnética en el curado de elementos de concreto y usar agua común: **Se obtienen mejoras en la resistencia a compresión de los elementos de concreto; así como una mejora en la pureza del elemento; aunque bien puede generar carbonatación en el exterior de la muestra.**
- Explicar el proceso a nivel molecular de la estructura del concreto en el método tradicional y con el método propuesto: **Se logró mediante pruebas Raman determinar que la composición del concreto se ve favorecida por una reducción en la resistencia de los elementos a la absorción y adsorción del agua, generando una mayor cantidad de gel C-S-H y cantidad de portlandita con agua aun en proceso de hidratación a los compuestos del cemento.**
- Validar o discrepar respecto a investigaciones previas en la inclusión de agua magnética en la producción de elementos de concreto. **Los resultados de**

otras investigaciones son variadas en cuanto a resultados y métodos utilizados; sin embargo se concluye que el aplicar este método si tiene un impacto positivo en la elaboración de dichas mezclas.

- Determinar las propiedades físicas y químicas que se vean favorecidas por el nuevo método de preparación: **La resistencia a compresión, la absorción y adsorción del agua, la pureza del elemento al flocular los minerales no deseados, apreciables en su capa superficial.**
- Determinar las propiedades físicas y químicas que se vean reducidas por el nuevo método de preparación: **No se encontraron propiedades que se vean reducidas, si embargo puede que el aumento en la resistencia a compresión se debe solo a una velocidad mayor de las reacciones que generan el concreto, y al retirar el proceso de magnetización en el curado el progreso de este se vea reducido.**
- Evaluar el impacto en la elaboración de elementos de concreto con este proceso, con el fin de reducir el consumo de recursos, los costos de producción y mitigar la contaminación ambiental: **Los costos se reducirán al requerir menor cantidad de material cementable y obtener una mejor calidad de los elementos al eliminar impurezas en el; producto del agua, de los agregados, etc.**

6.4 Recomendaciones del tema para futuras investigaciones

Es importante mencionar que la presente investigación puede fortalecerse o seguir en constante estudio a partir de otros proyectos de investigación debido a que la investigación se limita a especímenes ensayados a edad corta; intuyo de manera muy personal que el obtener una resistencia a la compresión mayor; es solo por la aceleración de los procesos químicos dentro del concreto producido por la magnetización del agua; esto quiere decir que el concreto al retirarse de estas condiciones; su curva de “maduración” forme una asíntota que alargue el periodo de crecimiento. Esto requerirá investigaciones a largo plazo y una dispersión hacia distintas condiciones en las que el concreto pueda trabajar durante su vida útil.



REFERENCIAS

Abdel-Magid, Taghried Isam Mohammed, Rabab Mohammed Hamdan, Abeer Abdelrahman Bukhari Abdelgader, Mohammed Emadeldin Attaelmnan Omer, y Najla'a Mohammed Rizg-Allah Ahmed. «Effect of Magnetized Water on Workability and Compressive Strength of Concrete». Procedia Engineering 193 (2017): 494-500. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.242>.

Abavisani, Iman, Omid Rezaifar, y Ali Kheyroddin. «Alternating Magnetic Field Effect on Fine-Aggregate Concrete Compressive Strength». Construction and Building Materials 134 (marzo de 2017): 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.109>.

Ahmed, Saddam M., y Dina F. Manar. «Corrigendum to “Effect of Static Magnetic Field Treatment on Fresh Concrete and Water Reduction Potential” [Case Stud. Constr. Mater. 14 (2021) E00535]». Case Studies in Construction Materials 18 (julio de 2023): e02061. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02061>.

Alkhrissat, Tariq. «Investigation of the Effect of Magnetic Water and Polyethylene Fiber Insertion in Concrete Mix». Journal of Composites Science 7, n.o 7 (24 de julio de 2023): 303. <https://doi.org/10.3390/jcs7070303>.

Aravena, M., Kimelman E., Micheli, B., Torrealba, R. & Zúñiga, J. (2006). Investigación educativa I. Chile.

Boguszynska, Joanna, Marc C.A. Brown, Peter J. McDonald, Jonathan Mitchell, Mike Mulheron, Jadwiga Tritt-Goc, y Dimitris A. Verganelakis. «Magnetic Resonance Studies of Cement Based Materials in Inhomogeneous Magnetic Fields». Cement and Concrete Research 35, n.o 10 (octubre de 2005): 2033-40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.06.012>.

Conagua. "El agua en México", 2015.

Conagua. "El agua en México; actores, sectores y paradigmas para una transformación social y ecológica", 2017.

Dharmaraj, R., G. K. Arunvivek, Alagar Karthick, V. Mohanavel, Bhagavathi Perumal, y S. Rajkumar. «Investigation of Mechanical and Durability Properties of Concrete Mixed with Water Exposed to a Magnetic Field». Editado por Piti Sukontasukkul. Advances in Civil Engineering 2021 (12 de octubre de 2021): 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/2821419>.

Ebrahimi Jouzdani, Behnam, y Mohammad Reisi. «Effect of Magnetized Water Characteristics on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete». Construction and Building Materials 242 (mayo de 2020): 118196. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118196>.

Esfahani, Amirsalar R., Mohammad Reisi, y Benjamin Mohr. «Magnetized Water Effect on Compressive Strength and Dosage of Superplasticizers and Water in Self-Compacting Concrete». Journal of Materials in Civil Engineering 30, n.o 3 (marzo de 2018): 04018008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002174](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002174).

González Cuevas, O. M., & Robles Fernández-Villegas, F. (2018). Aspectos fundamentales del concreto reforzado (4a ed.). Editorial LIMUSA.

Gholhaki, Majid, Ali Kheyroddin, Mohammad Hajforoush, y Mostafa Kazemi. «An Investigation on the Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete Incorporating Magnetic Water with Various Pozzolanic Materials». Construction and Building Materials 158 (enero de 2018): 173-80. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.135>.

Hajforoush, Mohammad, Ali Kheyroddin, y Omid Rezaifar. «Investigation of Engineering Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to Homogeneous Magnetic Field». *Construction and Building Materials* 252 (agosto de 2020): 119064. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119064>.

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill Interamericana.

Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill Interamericana.

Jiang, Hao, Caixia Fan, Zihan Zhao, Xinyue Zhou, Suang Liang, y Xiao Wang. «Effect of Magnetization Conditions on the Slump and Compressive Strength of Magnetized Water Concrete». *Case Studies in Construction Materials* 21 (diciembre de 2024): e03920. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03920>.

Kostka, M., & Weiß, J. (2011). The Effects of Magnetic Fields on Water and its Potential Applications in Industry. *Journal of Environmental Science*, 43(7), 987-993.

Malathy, Ramalingam, Karuppasamy Narayanan, y Prabakaran Mayakrishnan. «Performance of Prestressed Concrete Beams Using Magnetic Water for Concrete Mixing». *Journal of Adhesion Science and Technology* 36, n.o 6 (19 de marzo de 2022): 666-84. <https://doi.org/10.1080/01694243.2021.1936383>.

M. Ahmed, Saddam. «“Effect of Magnetic Water on Engineering Properties of Concrete”». *AL-Rafidain Engineering Journal (AREJ)* 17, n.o 1 (28 de febrero de 2009): 71-82. <https://doi.org/10.33899/rengj.2009.38451>.

Mghaiouini, Redouane. «Formulation and Physico-Mechanical Characterization of an Eco-Mortar Composite Based on Bottom Ash and Magnetized Water». *Indian*

Journal of Science and Technology 13, n.o 10 (14 de marzo de 2020): 1172-87.
<https://doi.org/10.17485/ijst/2020/v13i10/149889>.

Mogilevskii, R., & Solonina, M. (2019). Magnetic Properties of Water and its Impact on Cement Hydration. *Cement and Concrete Research*, 107, 215-222.

Neville, A. M. (2011). *Properties of Concrete* (5th ed.). Pearson Education Limited.

Northern Technical University, Mosul Technical Institute, Mosul, Iraq., y Ikhlas S. Sheet. «Improvement Concrete Mechanical Properties Using Static Magnetic Field Treatment». *Journal of University of Shanghai for Science and Technology* 23, n.o 3 (23 de marzo de 2021). <https://doi.org/10.51201/Jusst12681>.

Ramalingam, Malathy, Karuppasamy Narayanan, Arivoli Masilamani, Parthiban Kathirvel, Gunasekaran Murali, y Nikolai Ivanovich Vatin. «Influence of Magnetic Water on Concrete Properties with Different Magnetic Field Exposure Times». *Materials* 15, n.o 12 (17 de junio de 2022): 4291. <https://doi.org/10.3390/ma15124291>.

Schroeder, D. M. (2014). Magnetic Water Treatment for Concrete. *Materials Science and Engineering*, 61(12), 1125-1131.

Smith, E., & Dent, G. (2019). *Modern Raman spectroscopy: A practical approach* (2nd ed.). Wiley.

Soto-Bernal, Juan J., Rosario Gonzalez-Mota, Iliana Rosales-Candelas, y Jose A. Ortiz-Lozano. «Effects of Static Magnetic Fields on the Physical, Mechanical, and Microstructural Properties of Cement Pastes». *Advances in Materials Science and Engineering* 2015 (2015): 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/934195>.

Su, Nan, y Chea-Fang Wu. «Effect of Magnetic Field Treated Water on Mortar and Concrete Containing Fly Ash». *Cement and Concrete Composites* 25, n.o 7 (octubre de 2003): 681-88. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00098-7).

Su, Nan, Yeong-Hwa Wu, y Chung-Yo Mar. «Effect of Magnetic Water on the Engineering Properties of Concrete Containing Granulated Blast-Furnace Slag». *Cement and Concrete Research* 30, n.o 4 (abril de 2000): 599-605. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00215-5).

Taylor, H. F. W. (2004). *Cement Chemistry* (2nd ed.). Thomas Telford Publishing.

Toledo, Evelyn J.L., Teodorico C. Ramalho, y Zuy M. Magriotis. «Influence of Magnetic Field on Physical-Chemical Properties of the Liquid Water: Insights from Experimental and Theoretical Models». *Journal of Molecular Structure* 888, n.o 1-3 (octubre de 2008): 409-15. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>.

Vashishth, B. R. R. (2015). *The Effect of Magnetic Fields on Water*.

Vashishth, B. R. R. (2018). *The Effect of Magnetic Fields on Water*. New York: Springer.

Zhao, Kaiyue, Peng Zhang, Bing Wang, Yupeng Tian, Shanbin Xue, y Yuan Cong. «Preparation of Electric- and Magnetic-Activated Water and Its Influence on the Workability and Mechanical Properties of Cement Mortar». *Sustainability* 13, n.o 8 (19 de abril de 2021): 4546. <https://doi.org/10.3390/su13084546>.

Yousry, Omar M. M., Metwally A. Abdallah, Mariam F. Ghazy, Mohamed H. Taman, y Mosbeh R. Kaloop. «A Study for Improving Compressive Strength of Cementitious Mortar Utilizing Magnetic Water». *Materials* 13, n.o 8 (23 de abril de 2020): 1971. <https://doi.org/10.3390/ma13081971>.