



CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y ESTRUCTURAS

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE AGUA TRATADA EN
LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS EN EL MUNICIPIO DE
AGUASCALIENTES**

PRESENTA

Antonio Ponce Guardado

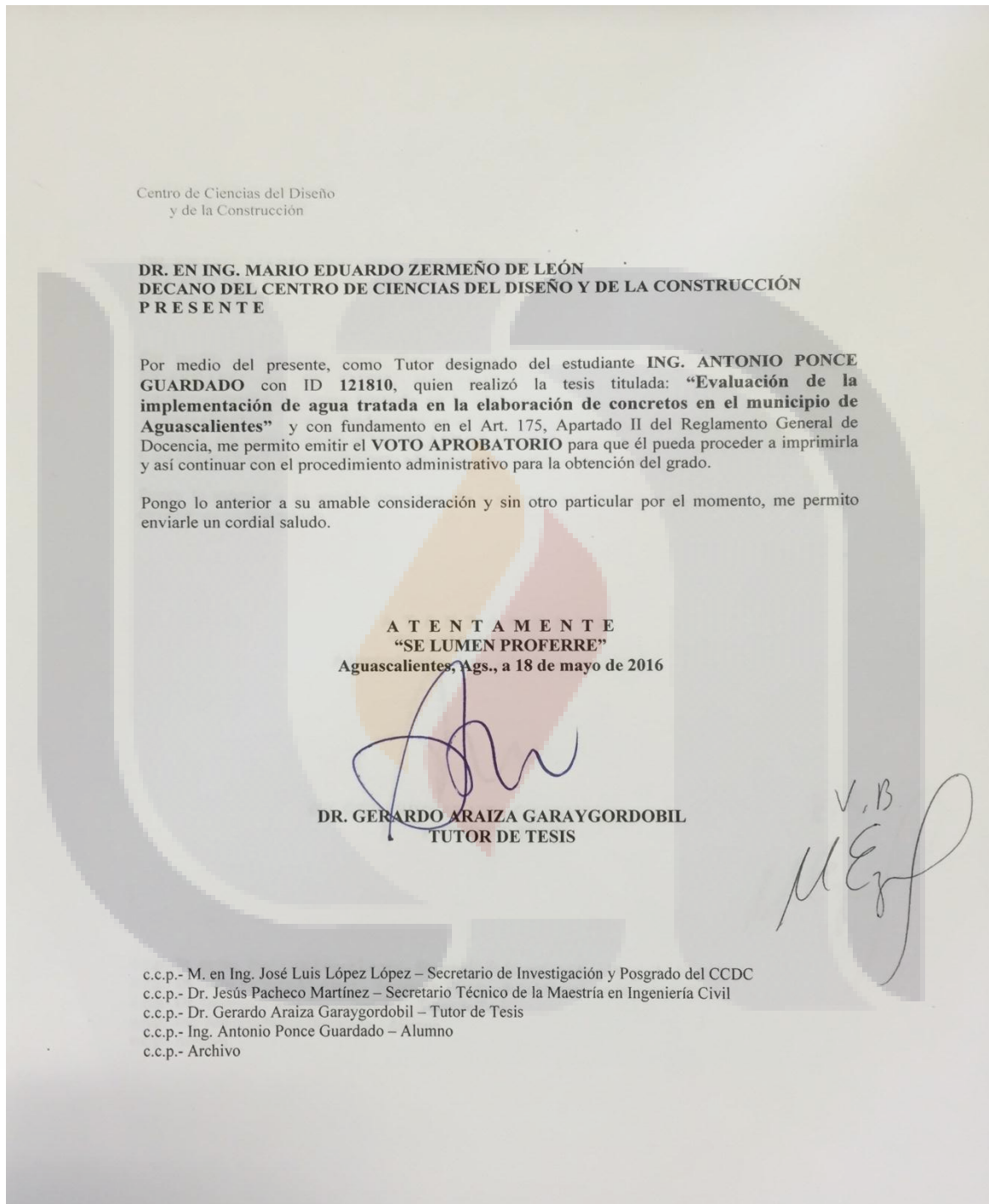
PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

TUTOR

Dr. Gerardo Araiza Garaigordobil

AGUASCALIENTES, AGS. A 20 DE MAYO DE 2015

AUTORIZACIONES





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

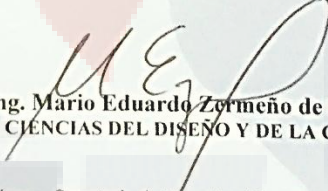
OFICIO No. CCDC-D-135-2016
ASUNTO: Conclusión de Tesis

**DRA. GUADALUPE RUIZ CUELLAR
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
PRESENTE.**

Por medio de este conducto informo que el documento final de tesis titulado: **“Evaluación de la implementación de agua tratada en la elaboración de concretos en el municipio de Aguascalientes”**. Presentado por el sustentante: **ING. ANTONIO PONCE GUARDADO** con ID **121810** egresado de la **MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL**, cumple las normas y lineamientos establecidos institucionalmente. Cabe mencionar que el autor cuenta con el voto aprobatorio correspondiente.

Para efecto de los trámites que al interesado convengan se extiende el presente, reiterándole las consideraciones que el caso amerite.

A T E N T A M E N T E
“SE LUMEN PROFERRE”
Aguascalientes, Ags., a 20 de mayo de 2016


Dr. en Ing. Mario Eduardo Zermeno de León
DECANO DEL C. DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

c.c.p.- M. en Ing. José Luis López López – Secretario de Investigación y Posgrado del CCDC.
c.c.p.- Dr. Jesús Pacheco Martínez – Secretario Técnico de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Dr. Gerardo Araiza Garaygordobil – Tutor de Tesis.
c.c.p.- Ing. Antonio Ponce Guardado – Egresado de la Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p.- Lic. Delia Guadalupe López Muñoz – Jefe Sección de Certificados y Títulos.
c.c.p.- Archivo

MEZL/rbv

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud y poner en mi camino las personas y herramientas indicadas para permitirme terminar con éxito esta etapa.

A mi Alma Mater, la Universidad Autónoma de Aguascalientes por la oportunidad que me dio de formar parte de un posgrado con la calidad educativa, institucional y humana que caracteriza a la institución y gestionar apoyos para que sea accesible la educación superior.

A mi tutor el Dr. Gerardo Araiza por su apoyo y orientación en la realización de este proyecto de investigación.

A CONACYT por el apoyo que brinda a estudiantes de maestría, haciendo posible que muchos de nosotros logremos estar en programas de maestría.

Al M.I.A. Jorge Hernández y a CCAPAMA por el apoyo y asesorías en las cuestiones químicas relacionadas con el presente trabajo.

DEDICATORIAS

A mis padres Beatriz y Enrique ya que son una fuente interminable de energía, apoyo, cariño, consejos y optimismo para sus hijos.

A mis hermanos Cristina y Enrique, cuya compañía infunde ánimo y el contacto con ellos fortalece.

A mi novia Jacqueline por su paciencia y apoyo en este proyecto, por ser la compañera que necesita un hombre para lograr lo que se propone, por compartir nuestras ilusiones y trabajar en equipo para hacerlas realidad.

A mis sobrinos; Jorge, Ana, Fátima y Victoria, ya que sé que se esforzaran por lograr todas sus metas y espero motivarlos a que lo hagan.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| ÍNDICE GENERAL..... | 5 |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | 3 |
| ÍNDICE DE GRÁFICAS | 7 |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | 9 |
| ACRÓNIMOS..... | 11 |
| RESUMEN | 12 |
| ABSTRACT | 13 |
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO | 15 |
| 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... | 16 |
| 1.2 HIPÓTESIS..... | 17 |
| 1.3 OBJETIVOS | 17 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 18 |
| 1.5 ALCANCES | 18 |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES..... | 19 |
| 2.1 DATOS Y NÚMEROS DEL AGUA EN MÉXICO..... | 20 |
| 2.1.1 ESTADO ACTUAL DE ABASTECIMIENTO | 20 |
| 2.1.2 PANORAMA HÍDRICO DE AGUASCALIENTES | 22 |
| 2.1.3 USOS DEL AGUA | 24 |
| 2.1.4 EL AGUA COMO RECURSO INDUSTRIAL..... | 25 |
| 2.1.5 INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES..... | 27 |
| 2.1.6 USOS DEL AGUA TRATADA | 29 |
| 2.2 INDUSTRIA MEXICANA DEL CEMENTO Y CONCRETO | 30 |
| 2.2.1 PRODUCCIÓN DE CEMENTO y CONCRETO EN MÉXICO | 31 |
| 2.2.2 CONCRETO EN EDIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA..... | 33 |
| 2.2.3 AGUA PARA CONCRETO..... | 36 |
| 2.2.4 CONCRETOS CON AGUAS TRATADAS | 39 |
| CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL | 42 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 43 |
| 3.2 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS..... | 43 |
| 3.2.1 GRANULOMETRÍA..... | 44 |
| 3.2.2 PESO ESPECÍFICO | 50 |

| | | |
|--|--|------------|
| 3.2.3 | PESO VOLUMÉTRICO | 52 |
| 3.2.4 | ABSORCIÓN..... | 54 |
| 3.3 | SELECCIÓN DE CEMENTO..... | 55 |
| 3.4 | AGUA TRATADA A EMPLEAR | 55 |
| 3.4.1 | PTAR MIRADORES | 55 |
| 3.4.2 | PTAR LA QUERENCIA | 57 |
| 3.5 | DISEÑO DE LA MEZCLA..... | 58 |
| 3.6 | ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES Y PRUEBAS | 61 |
| 3.6.1 | REALIZACIÓN DE LAS MEZCLAS..... | 61 |
| 3.6.2 | PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO | 63 |
| 3.6.3 | FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES..... | 68 |
| 3.6.4 | PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO | 73 |
| 3.6.5 | PRUEBAS AL AGUA DE MEZCLADO | 80 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS | | 81 |
| 4.1 | COMPRESIÓN..... | 82 |
| 4.2 | FLEXIÓN | 94 |
| 4.3 | REVENIMIENTO..... | 96 |
| 4.4 | TIEMPO DE FRAGUADO..... | 98 |
| 4.5 | ABRASIÓN..... | 101 |
| 4.6 | PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS AL AGUA DE MEZCLADO..... | 103 |
| CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN | | 105 |
| CONCLUSIONES..... | | 111 |
| GLOSARIO | | 113 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 117 |

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 USOS DEL AGUA AGRUPADOS, SEGÚN EL ORIGEN DEL TIPO DE FUENTE EN MÉXICO (CONAGUA, 2011). 25

TABLA 2 CAUDAL DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS POR ENTIDAD FEDERATIVA (BID, 2013). 28

TABLA 3 EMPRESAS PRODUCTORAS DE CEMENTO Y PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO CANACEM 2011 31

TABLA 4 PRODUCCIONES Y CONSUMOS DE CEMENTO EN 2012 (FICEM, 2013). ... 31

TABLA 5 IMPORTACIONES Y EXPORTACIONES DE CEMENTO EN MÉXICO (SECRETARIA DE ECONOMÍA, 2012). 32

TABLA 6 COMPARATIVA DE LA CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL CONTRA LA CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA (REVISTA CYT 2014). 34

TABLA 7 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE SUSTANCIAS EN EL AGUA DE MEZCLADO PARA CONCRETO (SCT, 2002). 36

TABLA 8 PRUEBAS QUE SE REALIZARON EN LA INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (IMCYC, 2001). 41

TABLA 9 PARÁMETROS A EVALUAR EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN, (UAA, 2016). 43

TABLA 10 REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO FINO (SCT, 2002). 45

TABLA 11 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN EL AGREGADO FINO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN (UAA, 2016). 47

TABLA 12 REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO GRUESO (SCT, 2002). 48

TABLA 13 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN EL AGREGADO GRUESO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN (UAA, 2016). 49

TABLA 14 EMPRESAS PRODUCTORAS DE CEMENTO Y PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO CANACEM 2011 55

TABLA 15 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS NECESARIAS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA (IMCYC, 1983). 58

TABLA 16 CANTIDAD DE AGUA NECESARIA POR M3 E CONCRETO DE ACUERDO AL REVENIMIENTO DE PROYECTO Y TMA (IMCYC, 1983). 59

| | |
|---|----|
| TABLA 17 PORCENTAJE DE AGREGADO GRUESO POR M3 DE CONCRETO DE ACUERDO A SU TAMAÑO MÁXIMO (IMCYC, 1983) | 59 |
| TABLA 18 PESOS Y VOLÚMENES DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO POR M3..... | 60 |
| TABLA 19 COMPARATIVA DE VOLÚMENES AL DISEÑAR MEZCLAS POR PESOS ESTIMADOS Y VOLÚMENES ABSOLUTOS (IMCYC, 1983). | 60 |
| TABLA 20 CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS Y EL AGUA (IMCYC, 1983). | 61 |
| TABLA 21 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² DEL PRIMER PERIODO..... | 82 |
| TABLA 22 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² DEL PRIMER PERIODO..... | 83 |
| TABLA 23 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² DEL SEGUNDO PERIODO..... | 84 |
| TABLA 24 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² DEL SEGUNDO PERIODO..... | 85 |
| TABLA 25 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² DEL TERCER PERIODO..... | 86 |
| TABLA 26 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² DEL TERCER PERIODO..... | 87 |
| TABLA 27 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² DEL CUARTO PERIODO..... | 88 |
| TABLA 28 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² DEL CUARTO PERIODO..... | 89 |
| TABLA 29 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² DEL QUINTO PERIODO..... | 90 |
| TABLA 30 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² DEL QUINTO PERIODO..... | 91 |
| TABLA 31 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM ² | 92 |
| TABLA 32 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMPRESIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM ² | 93 |

TABLA 33 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE FLEXIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM². 94

TABLA 34 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE FLEXIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM². 94

TABLA 35 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE FLEXIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM². 95

TABLA 36 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE FLEXIÓN CON MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM². 95

TABLA 37 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE REVENIMIENTO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 96

TABLA 38 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE REVENIMIENTO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 96

TABLA 39 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE REVENIMIENTO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 97

TABLA 40 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE REVENIMIENTO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 97

TABLA 41 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 98

TABLA 42 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 98

TABLA 43 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 99

TABLA 44 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 100

TABLA 45 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE ABRASIÓN DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 101

TABLA 46 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 150 KG/CM². 101

TABLA 47 RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE ABRASIÓN DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 102

TABLA 48 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE F´C= 250 KG/CM². 102

TABLA 49 CONCENTRACIONES DE SUBSTANCIAS ENUNCIADAS EN LA
NORMATIVIDAD DE AGUA PARA CONCRETO EN EL AGUA POTABLE UTILIZADA
PARA ESTA INVESTIGACIÓN. 103

TABLA 50 CONCENTRACIONES DE SUBSTANCIAS ENUNCIADAS EN LA
NORMATIVIDAD DE AGUA PARA CONCRETO EN EL AGUA TRATADA EN LA
PTAR MIRADORES UTILIZADA PARA ESTA INVESTIGACIÓN..... 103

TABLA 51 CONCENTRACIONES DE SUBSTANCIAS ENUNCIADAS EN LA
NORMATIVIDAD DE AGUA PARA CONCRETO EN EL AGUA TRATADA EN LA
PTAR LA QUERENCIA UTILIZADA PARA ESTA INVESTIGACIÓN..... 104

TABLA 52 COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y RANGO PERMITIDO EN LAS PRUEBAS
DE TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL COMPARADO CON LOS OBTENIDOS EN LA
PRESENTE INVESTIGACIÓN (UAA, 2016)..... 107

TABLA 53 COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y RANGO PERMITIDO EN LAS PRUEBAS
DE TIEMPO DE FRAGUADO FINAL COMPARADO CON LOS OBTENIDOS EN LA
PRESENTE INVESTIGACIÓN (UAA, 2016)..... 107

TABLA 54 COEFICIENTE DE VARIACIÓN Y RANGO PERMITIDO EN LAS PRUEBAS
DE ABRASIÓN COMPARADO CON LOS OBTENIDOS EN LA PRESENTE
INVESTIGACIÓN (UAA, 2016)..... 109

TABLA 55 PARÁMETROS DE AGUA TRATADA QUE CUMPLEN CON LA NORMA DE
AGUA PARA CONCRETO NMX-C-122-NMX-C-122-ONNCCE-2004 (UAA, 2016). 109

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICO 1 DISPONIBILIDAD NATURAL MEDIDA PER CÁPITA DE AGUA EN AGUASCALIENTES DE 1990 A 2005 (IMAE, 2009). 23

GRÁFICO 2 NIVEL DE ABATIMIENTO DE LOS ACUÍFEROS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES 1965-2005 (IMAE, 2009). 24

GRÁFICO 3 DESARROLLO REGIONAL Y DISPONIBILIDAD DE AGUA POTABLE (CONAGUA, 2012)..... 26

GRÁFICO 4 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN EL AGREGADO FINO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN (UAA, 2016). 47

GRÁFICO 5 RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN EL AGREGADO FINO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN (UAA, 2016). 49

GRÁFICO 6 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM² DEL PRIMER PERIODO. 82

GRÁFICO 7 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM² DEL PRIMER PERIODO. 83

GRÁFICO 8 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM² DEL SEGUNDO PERIODO. 84

GRÁFICO 9 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM² DEL SEGUNDO PERIODO. 85

GRÁFICO 10 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM² DEL TERCER PERIODO..... 86

GRÁFICO 11 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM² DEL TERCER PERIODO..... 87

GRÁFICO 12 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM² DEL CUARTO PERIODO. 88

GRÁFICO 13 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM² DEL CUARTO PERIODO. 89

GRÁFICO 14 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 150 KG/CM² DEL QUINTO PERIODO. 90

GRÁFICO 15 EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE F´C= 250 KG/CM² DEL QUINTO PERIODO. 91

GRÁFICO 16 PROMEDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE $f'c = 150 \text{ KG/CM}^2$ 92

GRÁFICO 17 PROMEDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE $f'c = 250 \text{ KG/CM}^2$ 93

GRÁFICO 18 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE $f'c = 150 \text{ KG/CM}^2$ 99

GRÁFICO 19 PROMEDIO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE TIEMPO DE FRAGUADO CON MEZCLAS DE $f'c = 250 \text{ KG/CM}^2$ 100



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIÓN 1 REGIONES HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVAS EN MÉXICO, (CONAGUA, 2012)..... | 21 |
| ILUSTRACIÓN 2 COBERTURA DE AGUA POTABLE EN MÉXICO, (CONAGUA, 2012). | 22 |
| ILUSTRACIÓN 3 AGREGADOS UTILIZADOS PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN. | 46 |
| ILUSTRACIÓN 4 PLANTA DE TRATAMIENTO MIRADORES EN AGUASCALIENTES. . | 56 |
| ILUSTRACIÓN 5 PLANTA DE TRATAMIENTO LA QUERENCIA EN AGUASCALIENTES. | 57 |
| ILUSTRACIÓN 6 MATERIALES Y EQUIPO PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO EN LABORATORIO (UAA, 2016)..... | 62 |
| ILUSTRACIÓN 7 LLENADO DE CONO DE REVENIMIENTO CON MEZCLA ELABORADA PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN (UAA, 2016) | 64 |
| ILUSTRACIÓN 8 COMPACTADO POR VARILLADO (UAA, 2016)..... | 64 |
| ILUSTRACIÓN 9 RETIRO DEL CONO PARA LA MEDICIÓN DEL REVENIMIENTO (UAA, 2016)..... | 65 |
| ILUSTRACIÓN 10 MEDICIÓN DEL REVENIMIENTO EN CENTÍMETROS (UAA, 2016). | 65 |
| ILUSTRACIÓN 11 PENETRÓMETRO JUNTO CON MUESTRA DE MORTERO (UAA, 2016)..... | 67 |
| ILUSTRACIÓN 12 ALGUNAS DE LAS MUESTRAS DONDE DE MIDÍÓ EL TIEMPO DE FRAGUADO (UAA, 2016). | 68 |
| ILUSTRACIÓN 13 CILINDRO DE LA PRIMERA MUESTRA REALIZADA PARA LA PRESENTE INVESTIGACIÓN (UAA, 2016)..... | 69 |
| ILUSTRACIÓN 14 ESPECÍMENES EN EL CUARTO DE CURADO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES (UAA, 2016). | 71 |
| ILUSTRACIÓN 15 ESPÉCIMEN ELABORADO PARA LAS PRUEBAS DE ABRASIÓN (UAA, 2016). | 72 |
| ILUSTRACIÓN 16 CILINDRO EN ENSAYE DE COMPRESIÓN (UAA, 2016)..... | 74 |
| ILUSTRACIÓN 17 MODO DE COLOCACIÓN DE LAS VIGAS PARA LA PRUEBA DE FLEXIÓN (IMCYC, 2008). | 75 |
| ILUSTRACIÓN 18 VIGA ENSAYADA A FLEXIÓN (UAA, 2016)..... | 77 |

ILUSTRACIÓN 19 VIGA DESPUÉS DEL ENSAYE A FLEXIÓN CON SU LÍNEA DE FALLA (UAA, 2016).....77

ILUSTRACIÓN 20 REALIZACIÓN DE PRUEBA DE ABRASIÓN A ESPÉCIMEN ELABORADO EN LA PRESENTE INVESTIGACIÓN (UAA, 2016).....79

ILUSTRACIÓN 21 ESPÉCIMEN DESPUÉS DE LA PRUEBA DE ABRASIÓN (UAA, 2016).79

ILUSTRACIÓN 22 MUESTRA DE AGUA TRATADA RECOLECTADA EN LA PLANTA PARA SU ANÁLISIS (UAA, 2016).....80



ACRÓNIMOS

| | |
|-----------------|---|
| CEMEX | Cementos Mexicanos |
| SCT | Secretaria de comunicaciones y transportes |
| PTAR | Planta de tratamiento de aguas residuales |
| ONU | Organización de las naciones unidas |
| CONAGUA | Comisión nacional del Agua |
| IMAE | Instituto del medio ambiente del estado de Aguascalientes |
| PIB | Producto interno bruto |
| BID | Banco interamericano de desarrollo |
| CYCNA | Cementos y concretos nacionales |
| CANACEM | Cámara nacional del cemento |
| FICEM | Federación interamericana del cemento |
| SEMARNAT | Secretaria de medio ambiente y recursos naturales |
| ACI | American concrete institute |
| IMCYC | Instituto mexicano del cemento y el concreto |
| PPM | Partes por millón |
| UAA | Universidad autónoma de Aguascalientes |
| PVSS | Peso volumétrico seco suelto |
| PVSC | Peso volumétrico seco compactado |
| CPO | Cemento portland ordinario |
| MR | Módulo de ruptura |

RESUMEN

En la actualidad tenemos una gran problemática ambiental a nivel global debido al desarrollo de las actividades del sector industrial y los hábitos de consumo social, razón por la cual estamos obligados a tener una mayor cultura ecológica y llevar a cabo las labores domésticas e industriales cuidando en lo más posible los recursos naturales y los ecosistemas que nos rodean.

Específicamente hablando del agua potable la preocupación es mayor al ser conscientes de que día a día la cantidad del vital líquido es menor y la demanda aumenta de manera proporcional al crecimiento de la población y la puesta en marcha de nuevas empresas. Ante esta situación se emprenden acciones para cuidar el uso del agua y fomentar el uso de aguas tratadas principalmente en la industria, sin embargo en la industria de la construcción no se tienen muchos avances en la materia y en específico en procesos como la fabricación de concreto con agua potable, consumiendo aproximadamente 200 litros de agua por cada metro cúbico de concreto producido.

El objetivo de la presente investigación es demostrar que el agua tratada en el municipio de Aguascalientes puede ser apta o mejorada para usarse en concretos de baja y/o mediana resistencia.

Los resultados fueron alentadores ya que denotaron un comportamiento similar entre los concretos elaborados con agua potable y los fabricados con agua procedente de una planta de tratamiento, de la misma manera al analizar la composición fisicoquímica del agua tratada utilizada se pudo observar que cumple con la mayoría de los parámetros enunciados en la normatividad, la única sustancia nociva que contiene en mayores concentraciones que los permitidos por la norma es en grasas y aceites.

Se espera que esta investigación sea un precedente de futuros trabajos experimentales para que cada vez sea más real la producción de concreto con agua tratada.

Palabras clave: Concreto, Agua Tratada, Aguascalientes, Medio Ambiente.

ABSTRACT

Nowadays we have a huge environmental issue globally known. Due to the development of the activities of the industrial sector & habits of social consumption, whereby we are bound to have a greater ecological culture performing our domestic and industrial tasks taking care as much as possible the natural resources and the ecosystems that surround us.

Specifically drinking water is the grater concern to be aware that everyday the amount of the vital liquid is less & demand increases according to the population that is growing everyday not to mention the multinational companies that are multiplying all over the world In this situation actions are undertaking so we can take care of the usage of water & promote treated water mainly in the industrial sector, however in the construction industry we have not move on in this matter For example: in the procedure of manufacturing concrete with running water approximately 200 liters of the valued liquid are needed for one cubic meter.

The goal of this research is to demonstrate that treated water in the city of Aguascalientes can be suitable or enhance for use in concrete of low or medium quality.

The results are courageous they have denoted a similar reaction in the concrete mixed-up with running water & those mixed with treated water. Therefore, the physical chemistry composition of treated water that was used, it was noticable that it fulfill with all standards regulations. The only harmful substance that water contains is major concentration of grease & oil. This research is expected to be a precedent for the future experiments, so we can be closer to a treated water production.

Keywords: Concrete, Treated Water, Aguascalientes, Environment.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día somos conscientes de la problemas ambientales que enfrentamos debido a la explotación desmedida que por décadas han sufrido los recursos naturales y la poca cultura ecológica de las sociedades, es por ello que nos hemos dado a la tarea de buscar acciones correctivas a las complicaciones actuales y preventivas a las situaciones que podrían suceder, una de las labores implementadas es la búsqueda materias primas recicladas que sean útiles en las tareas domésticas y/o industriales.

En relación con la industria de la construcción podemos decir que se han implementado algunas medidas para garantizar que las obras de edificación no impacten de manera negativa el medio ambiente como lo son los estudios de impacto previos a la obra, así mismo se realizan investigaciones para implementar el uso de materias primas y la adecuación de procesos con el fin de dañar lo menos posible la naturaleza.

En el caso específico del agua utilizada en la construcción, destaca el uso de agua potable en la fabricación de concretos, puesto que dadas las propiedades necesarias la normatividad y los manuales de construcción en México la presentan como la mejor y casi única alternativa.

Año con año se elaboran millones de metros cúbicos de concreto en nuestro país, todos con una característica en común el uso de agua potable, una situación delicada debido al escenario actual, a la par de lo anterior se tiene una mayor cobertura y calidad de plantas de tratamiento de aguas negras, es decir tenemos una mayor cantidad de agua reutilizable razón por la cual se realiza esta investigación cuyo fin es registrar y documentar el comportamiento a corto plazo de concretos que fueron fabricados con agua tratada en el municipio de Aguascalientes y con ello establecer las diferencias en calidad, durabilidad, manejabilidad y fraguado respecto a las mezclas que utilizan agua potable para su producción.



CAPÍTULO 1:
PLANTEAMIENTO

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la situación actual de los recursos hídricos y el desmedido consumo de recursos naturales en la industria y las actividades cotidianas ha surgido una creciente concientización ecológica en la sociedad en general y gran parte de las industrias han optado por incluir en sus actividades insumos provenientes del reciclaje.

Cabe destacar que la industria de la construcción no ha sido la excepción ya que se han tomado medidas con el fin de asegurar el menor impacto negativo de las obras de edificación y/o infraestructura hacia el medio ambiente, sin embargo las materias primas usadas en su mayoría carecen de componentes reciclados, en el caso particular del concreto observamos que por cada metro cúbico fabricado se utilizan aproximadamente 200 litros de agua potable (CEMEX, 2013) por lo tanto los procesos constructivos de una obra tienen un muy alto consumo del recurso hídrico, lo anterior representa un problema mundial debido a que el concreto es el segundo producto de mayor consumo en la Tierra después del agua (Alvarez, 2010).

Ahora bien, al reflexionar sobre la manera en la que podríamos disminuir el uso de agua potable en concretos aparece una idea muy simple, la de utilizar aguas tratadas en la elaboración del mismo, sin embargo no es tan sencillo como parece puesto que el concreto requiere que el agua cumpla con ciertas características particulares las cuales son mencionadas en la normatividad mexicana (SCT, 2002).

Puesto que el agua es un recurso cada día más escaso tenemos que encontrar maneras de disminuir el consumo de agua potable y aumentar el uso de aguas recicladas ya que con ello se tendría una mayor cantidad de agua apta para consumo humano al mismo tiempo que se tendrían ahorros en extracción y se evitarían problemas relacionados con la explotación desmedida de los mantos freáticos y una posible crisis en la disponibilidad del vital líquido.

1.2 HIPÓTESIS

A raíz de la problemática ambiental general que vivimos y el consumo de agua en la industria de la construcción, especialmente en la elaboración de concretos y observando el impacto negativo que representa para el medio ambiente y la calidad de tratamiento actual de aguas residuales, se postula la siguiente hipótesis:

“Los concretos de mediana y/o baja resistencia elaborados con agua tratada presentan a corto plazo un comportamiento y características similares a los elaborados con agua potable”.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la viabilidad de usar agua tratada en la elaboración de concretos de mediana resistencia sin que disminuya su calidad y/o desempeño, mediante pruebas a muestras de concreto fabricadas con agua sometida a tratamiento en plantas del municipio de Aguascalientes.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ◆ Comparar las concentraciones de las sustancias mencionadas en la Normatividad mexicana con las que se encuentran en el agua que es tratada en el municipio de Aguascalientes.
- ◆ Determinar las resistencias a compresión, flexión, abrasión y evaluar algunas características como revenimiento y tiempo de fraguado de muestras de concreto elaboradas con agua potable, agua tratada, y las diferencias entre sí.
- ◆ Evaluar si existe alguna opción de mejora de aguas que han sido sometidas a tratamiento en las plantas del municipio de Aguascalientes.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En apartados anteriores hemos hablado de la problemática ambiental que vivimos y de la insostenible explotación de los recursos naturales por las actividades domésticas e industriales, así mismo nos hemos centrado en el consumo de agua potable en la industria de la construcción.

El agua potable es un recurso vital e indispensable para la vida y una de las materias primas mayormente utilizadas en las actividades productivas, es por ello que debe ser utilizada con responsabilidad y debemos encontrar maneras de minimizar su uso en las labores desarrolladas por las sociedades, aunado a lo anterior hoy en día contamos con un creciente sistema de tratamiento de aguas residuales, mismas que por lo regular son destinadas a riego, en las últimas décadas se ha tenido un importante avance tecnológico y de control de calidad en las plantas de tratamiento de país lo cual nos abre el horizonte sobre las opciones de uso para el agua tratada, el municipio de Aguascalientes ha destacado por la calidad de su red de tratamiento y es considerado líder en este ámbito, es por ello que se realiza este estudio, usando para el mismo el agua de las dos mejores plantas municipales: PTAR Miradores y PTAR La Querencia.

El presente proyecto de investigación generará datos de interés para la gente dedicada y/o relacionada con la industria del concreto, además será un precedente teórico al alcance de todos sobre el uso de agua tratada en concretos y a partir de los resultados obtenidos surgirán nuevas líneas de investigación que a su vez enriquecerán el estado de conocimiento en la materia.

1.5 ALCANCES

Los resultados observados en este trabajo muestran el comportamiento y/o evolución de los concretos analizados con las pruebas enunciadas en la metodología, las plantas participantes en el proyecto fueron PTAR Miradores y PTAR La Querencia, los datos adquiridos son aplicables a concretos realizados con el agua tratada en dichas plantas y a la calidad de agua que muestran los análisis efectuados a las muestras obtenidas de las mismas, así mismo el periodo de análisis fue de 84 días como máximo, se desconoce si existen cambios en lapsos de tiempo mayores a los analizados.



CAPÍTULO 2:
ANTECEDENTES

2.1 DATOS Y NÚMEROS DEL AGUA EN MÉXICO

Como ya hemos mencionado en el capítulo anterior el agua es un recurso indispensable para el desarrollo de las sociedades ya que es una necesidad básica de los seres vivos y a la par una materia prima importante para el sector manufacturero, a continuación presentaremos de manera general el panorama del agua potable en el país, ya que conociendo el estado actual es como pueden surgir acciones para disminuir o terminar con el proceso de explotación actual, debido a que un mal manejo del líquido también podría complicar el acceso a este recurso inclusive en zonas sin escasez.

2.1.1 ESTADO ACTUAL DE ABASTECIMIENTO

La Organización de las Naciones Unidas (ONU), nos menciona que se determina que un país tiene insuficiencia de agua cuando se tienen menos de 1000 metros cúbicos disponibles por habitante por año (Brooks, 2004), cantidad que se supone es la necesaria para el desarrollo de las actividades de alimentación y las relacionadas con el avance en materia económica. Vistos los números anteriores podemos observar que México se encuentra entre los países con dificultades hídricas debido que en su mayoría se tienen entre 1000 y 1700 metros cúbicos por habitante por año.

Según datos de la Comisión Nacional del Agua nuestro país recibe de manera natural aproximadamente 1,489,000 millones de metros cúbicos de agua por medio de las precipitaciones, eliminando la evapotranspiración y el escurrimiento superficial, así como las importaciones y/o exportaciones de agua con los países vecinos, México cuenta con 462,000 millones de metros cúbicos de agua renovable, por año (CONAGUA, 2012).

Además de la cantidad de agua también es bueno evaluar la calidad de la misma y de la red de distribución, dado que una mala calidad tendrá como consecuencia automáticamente una disminución en la disponibilidad real para la población.

Para efectos de control y administración del uso de recursos hídricos se han establecido en México 13 regiones hidrológico-administrativas las cuales son conformadas por agrupaciones de cuencas y sus límites respetan las fronteras municipales con el fin de facilitar el control y la emisión de informes.

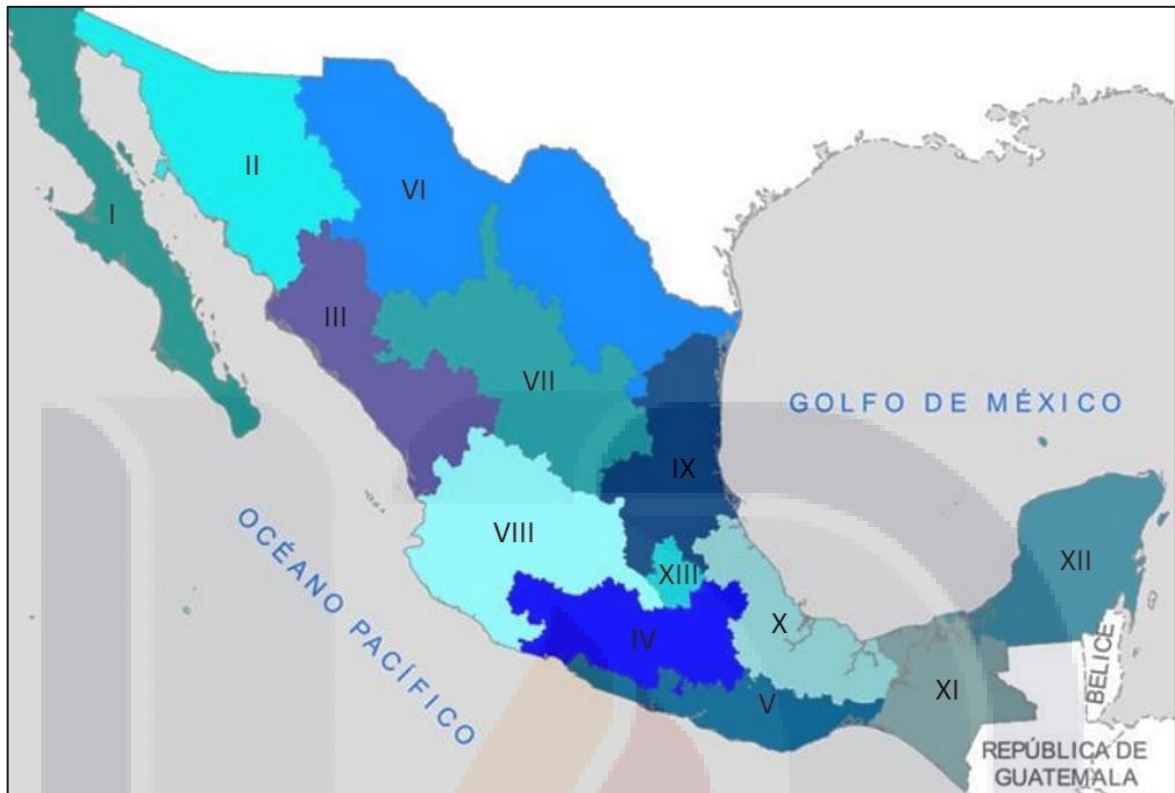


Ilustración 1 Regiones hidrológico-administrativas en México, (CONAGUA, 2012).

Como lo podemos ver en la ilustración anterior, Aguascalientes se encuentra en la región VIII, denominada Lerma Santiago Pacifico con sede en la ciudad de Guadalajara, y está conformada por 332 municipios, la disponibilidad de agua en dicha zona es de 1527 metros cúbicos por habitante por año; según el “Atlas del agua en México” de la CONAGUA, lo cual nos indica que nos encontramos en una zona con dificultades hídricas pero no con escasez de agua, del mismo modo contamos con una buena calidad del recurso es buena debido al constante análisis y mejoras efectuada con los datos que arrojan las 1,627 estaciones de revisión con las que cuenta de la red nacional de monitoreo de calidad en agua potable.

En cuanto a la cobertura de la red de distribución de agua potable tenemos que a nivel nacional el 91.6% de la población cuenta con suministro de agua potable, a nivel estatal podemos observar que 25 entidades se ubican por encima del promedio nacional y 8 por debajo, de las cuales Chiapas, Guerrero y Oaxaca tienen menos del 80% de cobertura.

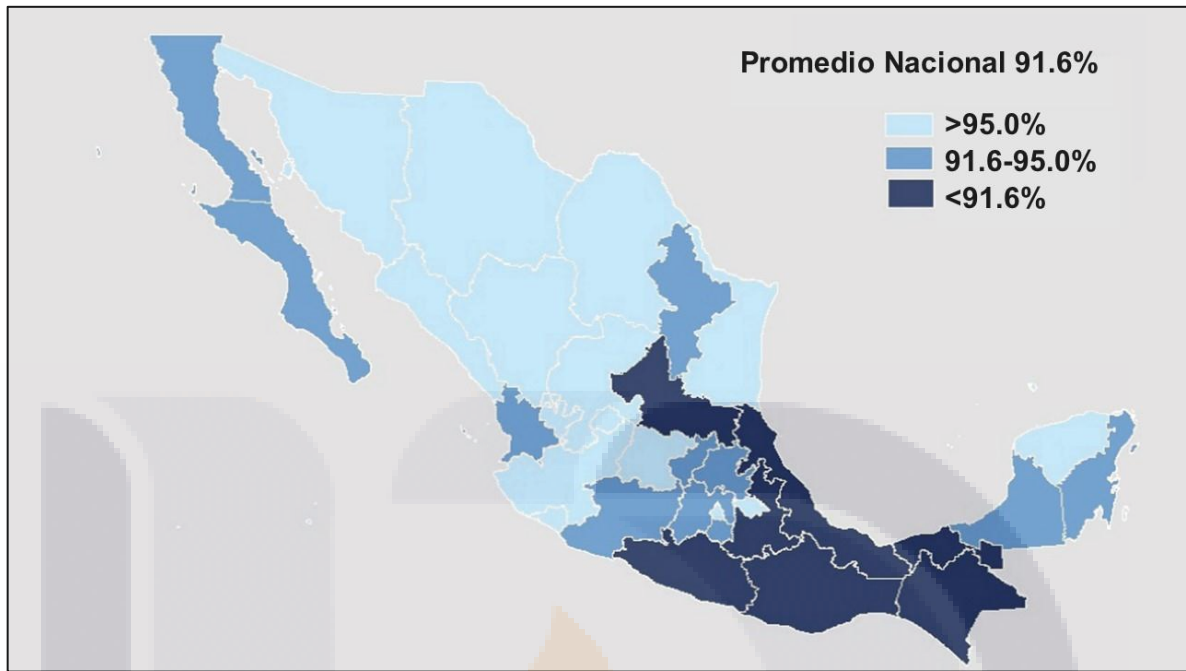


Ilustración 2 Cobertura de agua potable en México, (CONAGUA, 2012).

Como lo hemos mencionado, en nuestro país en general se tiene una buena cobertura de agua potable, en ella el agua subterránea es de gran importancia ya que es la principal fuente de abastecimiento para dos terceras partes del país, es por ello que se tiene la sobreexplotación de 100 de los 653 acuíferos registrados en el territorio nacional, un dato que nos pone a reflexionar sobre los problemas de disponibilidad que se pueden presentar en el futuro (CONAGUA, 2012).

2.1.2 PANORAMA HÍDRICO DE AGUASCALIENTES

Hablando específicamente de nuestro estado la situación es aún más crítica, puesto que tenemos cifras que claramente indican una gran disminución en la disponibilidad de agua potable.

Aguascalientes anualmente percibe 300 millones de metros cúbicos de agua potable y en el 2007 se autorizó el uso de 625 millones de metros cúbicos de agua potable lo cual nos indica que se usa el 208% de la capacidad de recarga (IMAE, 2009), este dato nos deja en claro que usamos más del agua que naturalmente está disponible, así que de manera

inmediata tenemos que establecer alternativas para abastecer algunos sectores y disminuir la explotación desmedida del agua en la entidad.

De manera semejante la cantidad de agua disponible por persona es de 281.6 metros cúbicos lo que definitivamente nos habla de un panorama complicado teniendo en cuenta que según la ONU se necesitan mínimo 1000 metros cúbicos por persona por año para un desarrollo adecuado de las actividades humanas y productivas de una sociedad.

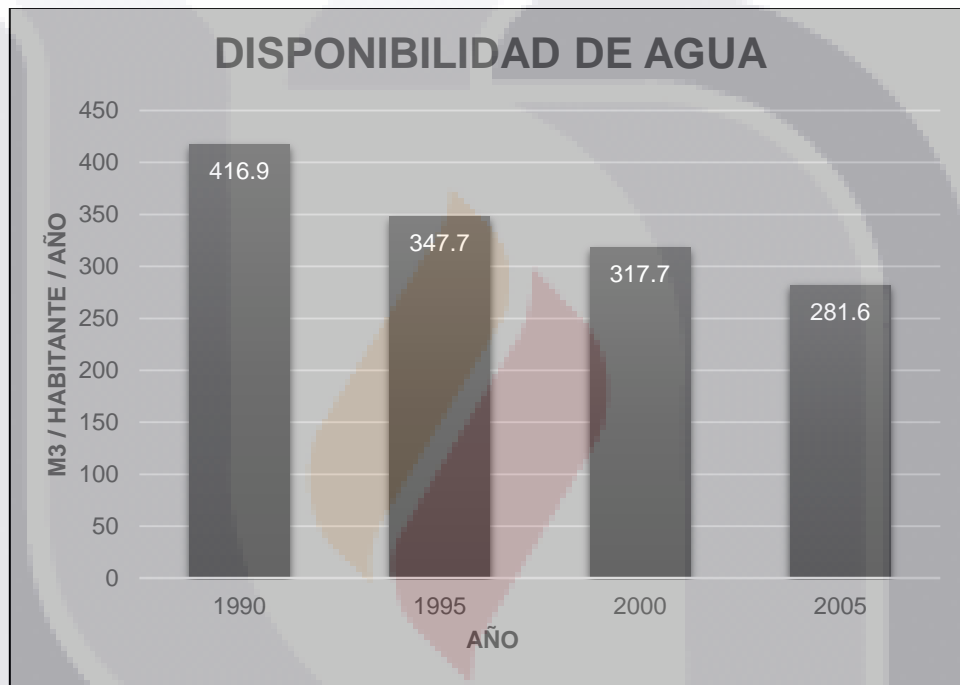


Gráfico 1 Disponibilidad natural medida per cápita de agua en Aguascalientes de 1990 a 2005 (IMAE, 2009).

Por otro lado respecto a la red de distribución Aguascalientes ocupa el quinto lugar nacional ya que cuenta con una cobertura de 97.6% (CONAGUA, 2012), y la calidad del agua suministrada es alta, en contraste con el estado actual de los acuíferos, debido a que se ha tenido un abatimiento de 2.5 metros por año.

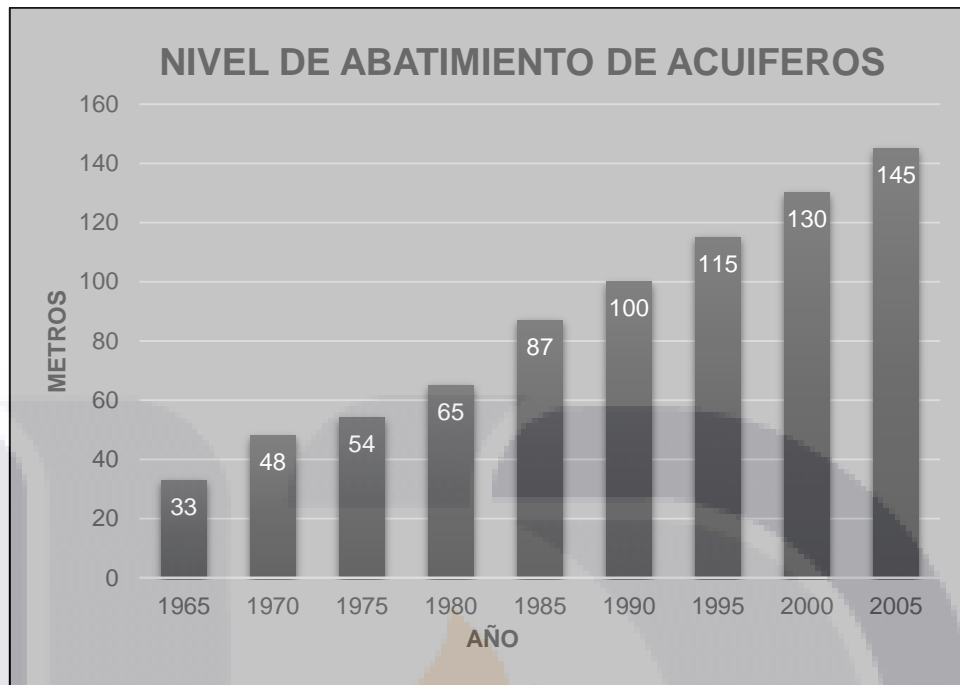


Gráfico 2 Nivel de abatimiento de los acuíferos del estado de Aguascalientes 1965-2005 (IMAE, 2009).

2.1.3 USOS DEL AGUA

La extracción y distribución del agua tiene como fin el ser utilizada de diversas maneras por el hombre desde su subsistencia, la producción de alimentos, o hasta la producción de bienes o servicios, a continuación hablaremos de los principales usos que se le da a este recurso en México, los cuales son:

- ◆ Agricultura
- ◆ Abastecimiento Público
- ◆ Industria
- ◆ Energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad).

Si queremos una descripción más exacta de la manera en la que se utiliza el agua en nuestro país podemos observar la siguiente tabla:

| USO | ORIGEN | | VOLUMEN TOTAL (Km ³) | PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN |
|---|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| | Superficial (Km ³) | Subterráneo (Km ³) | | |
| Agrícola | 40.9 | 20.9 | 61.8 | 76.70% |
| Abastecimiento público | 4.3 | 7.1 | 11.4 | 14.10% |
| Industrial | 1.6 | 1.7 | 3.3 | 4.10% |
| Energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad) | 3.6 | 0.4 | 4.1 | 5.10% |
| TOTAL | 50.5 | 30.1 | 80.6 | 100.00 |

Tabla 1 Usos del agua agrupados, según el origen del tipo de fuente en México (CONAGUA, 2011).

Con los datos anteriores podemos observar que a nivel nacional el agua en su mayoría es usada para la agricultura y sus fuentes regularmente son aguas superficiales, seguido por el abastecimiento público que en su mayoría proviene de aguas subterráneas y menos del 5% de este recurso se destina a la industria.

2.1.4 EL AGUA COMO RECURSO INDUSTRIAL

Anteriormente hemos mencionado la importancia del agua como recurso industrial, debido a su demanda en la mayoría de los procesos y el uso del personal, puesto que se usa para lavar calentar y refrigerar; como materia prima, diluyente, generador de energía eléctrica, entre otras actividades.

El volumen de agua empleado en la industria es bajo, como se ha dicho se encuentra por debajo del 10% de la extracción total, pero el impacto de la actividades de producción en el tema de agua potable no se limita a su uso y/o extracción, sino también a las aguas residuales generadas y potencial contaminante que tienen las operaciones industriales, lo anterior debido a que anualmente vierten alrededor de 300 a 500 millones de toneladas de metales pesados, disolventes, lodos tóxicos y otros residuos (ONU, 2014).

A lo largo de los últimos años la producción industrial ha ido a la alza, pero debido al aumento de la eficiencia en los procesos en los que se utiliza agua en países desarrollados el consumo de este recurso se ha estabilizado e inclusive ha iniciado a ser menor, en los países en vías de desarrollo como es el caso de México, no se tiene dicha cultura de aprovechamiento, de tal forma que la explotación de los recursos hidráulicos en la mayoría de las empresas aumenta o simplemente no disminuye.

Ante la creciente concientización y avance tecnológico debemos de saber que sí es posible tener desarrollo industrial sin la explotación desmedida de los recursos naturales, para de este modo contar con empresas que tengan un enfoque sustentable sin sacrificar la rentabilidad.

A continuación se pretende exponer el estado hídrico de la industria en México; podemos iniciar diciendo que nuestro país se puede clasificar en dos grandes zonas: la “zona norte, centro y noroeste” y la “zona sur y sureste”. En la zona norte, centro y noroeste se concentra el 76.9% de la población, se genera el 78.96% del producto interno bruto (PIB), pero únicamente ocurre el 31.74% del agua renovable. Por otro lado, en la zona sur y sureste, donde habita el 23.1% de la población, se genera el 21.04% del PIB y ocurre el 68.26% del agua renovable (CONAGUA, 2012). En el siguiente gráfico se muestra el contraste entre esas dos zonas en lo que se refiere a su población total, PIB y disponibilidad de agua renovable.

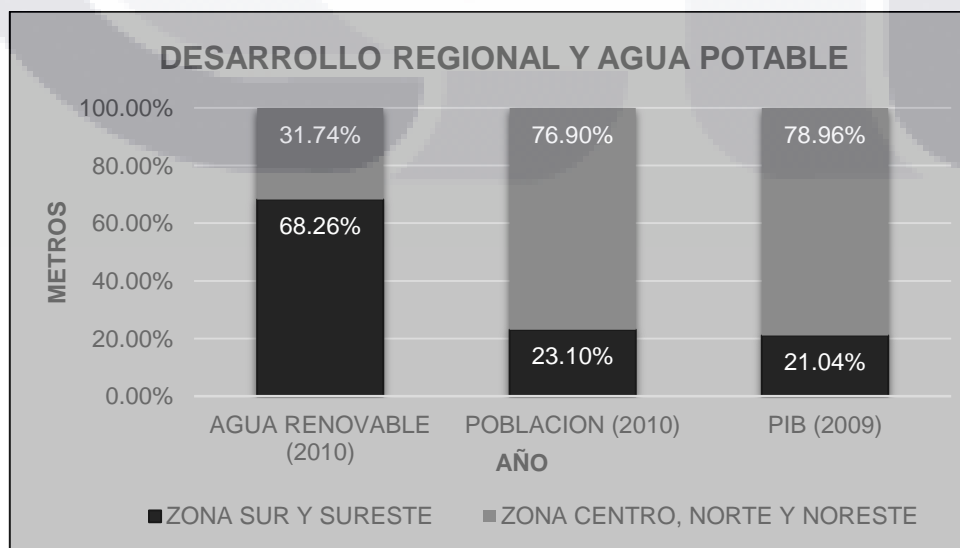


Gráfico 3 Desarrollo regional y disponibilidad de agua potable (CONAGUA, 2012).

En cuanto a Aguascalientes tenemos que el estado aporta el 1.1% al PIB nacional (GOBAGS, 2013) y cuenta con el 0.0000006 % del agua renovable nacional puesto que solo tiene una recarga de aproximadamente 300'000,000 m³ anuales (IMAE, 2009), lo anterior nos indica que el estado tiene una demanda de agua mayor a la recarga, lo que a futuro representara dificultades para el abastecimiento.

2.1.5 INFRAESTRUCTURA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Como se mencionó en los capítulos anteriores, estamos viviendo en una época en la que se tienen problemas con el abastecimiento y la disponibilidad de agua potable, contamos ya con una serie de conflictos y al no modificar nuestras actividades estamos gestando una nueva problemática que se vislumbra más fuerte que la actual, la única solución para terminar con las dificultades actuales y evitar las futuras es; ser más eficientes en nuestras labores para tener un menor consumo de agua potable y tratar la mayor cantidad posible de aguas residuales para darles nuevamente uso y disminuir con ello el consumo actual de agua dulce y limpia.

Dicho lo anterior haremos una breve síntesis de la situación actual en materia de tratamiento de aguas residuales en nuestro país y el estado de Aguascalientes, podemos iniciar hablando de que existen dos tipos de aguas residuales; las municipales y las industriales, las primeras son las que son recibidas en los sistemas de alcantarillados municipales y las segundas son aquellas que se descargan directamente en los cuerpos de agua establecidos para ello, mismos que son de propiedad nacional como sucede con la mayoría de las industrias.

En México contamos con una organizada infraestructura de tratamiento de aguas residuales misma que a su vez se encuentra en mejora continua buscando tratar un mayor porcentaje de aguas residuales generadas, en el año 2012 se tenía registro de 2,342 plantas municipales de tratamiento activas, las cuales trataban el 47.50% del agua residual generada, un año después, al cierre del 2013 disminuyó el número de plantas registradas, puesto que se tuvieron datos de 2,287 plantas, pero aumentó la capacidad instalada ya que la cobertura de tratamiento de aguas residuales aumentó a 50.2% (CONAGUA, 2013).

Ahora bien al analizar los datos por estado del país se puede observar que existe una gran variación, mientras Aguascalientes y Nuevo León tratan el 100% del agua residual generada, en Yucatán y Campeche se trata menos del 10% (BID, 2013).

En la siguiente tabla se detalla la situación general de tratamiento de aguas residuales por estado:

| Entidad Federativa | No. de plantas en operación | Capacidad instalada (m ³ /s) | Caudal tratado (m ³ /s) | Cobertura de tratamiento % |
|---------------------|-----------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|
| Aguascalientes | 132 | 4.8 | 3.4 | 100 |
| Baja California | 37 | 7.53 | 5.2 | 93 |
| Baja California Sur | 25 | 1.67 | 1.17 | 70.8 |
| Campeche | 26 | 0.17 | 0.15 | 6.8 |
| Chiapas | 40 | 1.58 | 0.9 | 23.1 |
| Chihuahua | 162 | 9.38 | 6.55 | 78 |
| Coahuila | 20 | 4.96 | 3.9 | 48.2 |
| Colima | 56 | 1.87 | 1.36 | 53.3 |
| Distrito Federal | 28 | 6.77 | 3.06 | 14 |
| Durango | 174 | 4.45 | 3.39 | 73.2 |
| Guanajuato | 64 | 6.29 | 4.63 | 54.7 |
| Guerrero | 57 | 3.89 | 3.14 | 75 |
| Hidalgo | 14 | 0.2 | 0.2 | 7.9 |
| Jalisco | 157 | 7.1 | 6.27 | 47.3 |
| México | 142 | 8.96 | 6.78 | 29.9 |
| Michoacán | 33 | 3.68 | 2.85 | 30.4 |
| Morelos | 53 | 2.86 | 1.83 | 27.5 |
| Nayarit | 66 | 2.72 | 1.81 | 90.7 |
| Nuevo León | 63 | 17.75 | 10.62 | 100 |
| Oaxaca | 69 | 1.5 | 0.99 | 39.8 |
| Puebla | 66 | 3.2 | 2.75 | 49 |
| Querétaro | 84 | 2.3 | 1.5 | 46.9 |
| Quintana Roo | 35 | 2.38 | 1.7 | 61.6 |
| San Luis Potosí | 38 | 2.5 | 2.1 | 60.5 |
| Sinaloa | 220 | 6.27 | 5.08 | 77.3 |
| Sonora | 83 | 5.1 | 3.23 | 39 |
| Tabasco | 78 | 2.1 | 1.65 | 21.5 |
| Tamaulipas | 45 | 7.78 | 5.87 | 85.6 |
| Tlaxcala | 66 | 1.23 | 0.86 | 51.3 |
| Veracruz | 108 | 7.4 | 5.6 | 41.3 |
| Yucatán | 28 | 0.49 | 0.09 | 2.7 |
| Zacatecas | 73 | 1.2 | 1.05 | 25.5 |

Tabla 2 Caudal de Aguas residuales tratadas por entidad federativa (BID, 2013).

En la tabla anterior podemos apreciar que solamente 11 estados del país alcanzan la meta de tratar al menos el 60% de las aguas residuales colectadas por la redes de alcantarillado municipales, dicha meta forma parte del *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*.

Específicamente hablando del estado de Aguascalientes, se tiene una cobertura total de tratamiento, motivo por el cual se tiene una gran cantidad de agua para ser reusada, sin embargo actualmente la mayoría del agua que recibe tratamiento en el estado se usa solo para riego, hace falta buscar nuevos usos para las aguas tratadas en nuestro estado y en el país en general.

2.1.6 USOS DEL AGUA TRATADA

Al hablar de agua tratada, es una obligación también tocar el tema de dónde se usará el agua que se trata, es decir no se debe de perder de vista el objetivo principal de su tratamiento, usarla de nuevo.

Ya hemos visto el estado actual de tratamiento de aguas residuales a nivel nacional y estatal, ahora hablaremos de en qué se usa el agua que pasa por las plantas de tratadoras.

Podemos iniciar señalando que a lo largo de la historia se ha ido haciendo más común el uso de agua tratada en actividades industriales o cotidianas de las sociedades, y con el paso del tiempo será una necesidad mayor el darle un segundo uso a el agua, ya que la disponibilidad de agua potable disminuye puesto a medida que la demanda aumenta, uno de las áreas en donde se ha tenido una mayor investigación, es en la agricultura, específicamente en la producción de alimentos, se ha determinado que es viable el uso de aguas tratadas, pero se tiene que tener una especial atención en como el uso de las mismas puede modificar las propiedades de la tierra de sembrado, lo cual podría representar un riesgo sanitario a mediano y/o largo plazo (UAL, 2010)

En México como ya lo hemos visto se cuenta con una infraestructura de tratamiento que en algunos estados es muy buena como es el caso de Aguascalientes, lo que nos da la oportunidad de buscar aumentar el número mercados potenciales a esa agua tratada disponible.

Actualmente en nuestro país el agua tratada se usa en pocas actividades las cuales podrían clasificarse en las siguientes (Mendoza-Espinosa, 2012):

- Procesos Industriales: Sistemas de enfriamiento, calderas riego de áreas verdes, lavado.
- Riego y actividades Agrícolas: Irrigación de distintos tipos de cultivos.
- Municipal: Riego de áreas verdes, lagos artificiales, limpiezas.
- Recarga de Acuíferos: Filtración inducida.

Con los datos anteriores confirmamos que en México se necesita ampliar los usos para el agua tratada, la mayoría de ella utilizada en la Agricultura, urge analizar la calidad de tratamiento y con ello revisar la viabilidad de incorporar el agua tratada a más actividades, como lo es el tema principal de esta investigación, usar el agua tratada en concretos de mediana y baja resistencia.

2.2 INDUSTRIA MEXICANA DEL CEMENTO Y CONCRETO

La historia del cemento y concreto en México tiene sus orígenes a inicios del siglo XX cuando se usó cemento por primera vez en nuestro país, era un material novedoso para la época y provenía de Inglaterra, al ser un insumo útil poco tiempo después se estableció la primer compañía cementera nacional; cementos “Tolteca” (González, 2012).

El crecimiento de esta industria ha sido constante desde 1940 ha tomado fuerza y hoy por hoy está compuesta por un grupo de empresas que son piezas claves en la economía mexicana, estas empresas también han sido participes en la edificación de la infraestructura con la que cuenta México, puesto que han fungido como los proveedores de la materia prima con la que se han construido; puentes, carreteras, proyectos habitacionales y espacios sociales de todo tipo, definitivamente el cemento una de las insumos más importantes para los países en vías de desarrollo, donde la construcción es un detonante económico y social.

En este capítulo se hablará del estado actual de la industria cementera en nuestro país, la producción que se tiene, las empresas que la componen, los productos ofertados, avances tecnológicos y el posicionamiento global de la misma.

2.2.1 PRODUCCIÓN DE CEMENTO y CONCRETO EN MÉXICO

Actualmente la industria cementera mexicana es sólida y competitiva, es por ello que México se encuentra entre los 15 productores de cemento más importantes a nivel mundial (Garza, 2011), la producción de cemento en México es realizada por 6 empresas Cementos Mexicanos (CEMEX), Cementos y Concretos Nacionales (CYCNA), Holcim Apasco, Cementos Moctezuma, Grupo Cementos de Chihuahua (GCC Cemento) y Lafarage Cementos.

Las empresas, número de plantas de producción y participación en el mercado son las siguientes:

| Empresa | Número de plantas | Participación de mercado |
|--------------------|-------------------|--------------------------|
| CEMEX México | 15 | 54 % |
| Holcim Apasco | 6 | 22 % |
| CYCNA | 4 | 14 % |
| Cementos Moctezuma | 2 | 6 % |
| GCC Cemento | 3 | 2 % |
| Lafarage Cementos | 2 | 2 % |

Tabla 3 Empresas productoras de Cemento y participación en el mercado CANACEM 2011

La producción de cemento en nuestro país es alta, y la demanda del mismo también lo es a continuación se presentan los números de producción y consumos correspondientes al año 2012 de los siguientes países (FICEM, 2013):

| País | Producción de cemento (Miles de Ton.) | Consumo de cemento (Miles de Ton.) |
|-----------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Brasil | 68,809 | 69,324 |
| México | 36,800 | 35,600 |
| Colombia | 10,925 | 10,496 |
| Argentina | 10,716 | 10,456 |
| Perú | 9,847 | 10,176 |

Tabla 4 Producciones y Consumos de cemento en 2012 (FICEM, 2013).

Con los datos de la tabla anterior observamos que México produce una gran cantidad de cemento comparado con otros países de América Latina, lo que le permite realizar exportaciones a otros países latinoamericanos (Secretaría de Economía, 2012), del mismo modo se tienen importaciones; la dinámica de exportación/importación de nuestro país es de la siguiente manera:

| EXPORTACIONES | | IMPORTACIONES | |
|-----------------|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| País de destino | Porcentaje de la exportación total | País de origen | Porcentaje de la importación total |
| Estados Unidos | 40.2 % | Estados Unidos | 67.5 % |
| Ecuador | 18.0 % | Países Bajos | 8.9 % |
| Perú | 12.4 % | China | 5.3 % |
| Guatemala | 9.0 % | Croacia | 5.5 % |
| Brasil | 5.4 % | Canadá | 0.9 % |
| Belice | 4.5 % | España | 0.7 % |
| Argentina | 2.8 % | Francia | 0.7 % |
| Otros | 7.8% | Otros | 10.6 % |

Tabla 5 Importaciones y Exportaciones de Cemento en México (Secretaría de Economía, 2012).

La industria del cemento y el concreto también ha realizado inversiones en investigación y desarrollo tecnológico, es por ello que actualmente oferta una extensa variedad de productos que facilitan los procesos constructivos, algunos de ellos son:

- Concreto hidráulico especial para pavimentos
- Concreto permeable
- Concreto de resistencia acelerada
- Concreto autocompactable

En el caso de la producción sostenible también existen acciones enfocadas a la recuperación y reforestación de las canteras, un más eficiente uso del agua y otros recursos naturales, la construcción de invernaderos, entre otras, por tal motivo algunas industrias cementeras cuentan con varios certificados, como lo es el certificado “Industria Limpia” otorgado por SEMARNAT, que reconocen la mejora continua eficiencia, así como Certificado ISO 14001 que se otorga cuando existe equilibrio entre la rentabilidad y la reducción de impactos ambientales (CEMEX, 2011)

2.2.2 CONCRETO EN EDIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA.

Como ya sabemos el concreto es uno de los principales materiales más en la industria de la construcción debido a la amplia gama de usos que se le pueden dar, en este apartado se buscara hacer una breve descripción del papel que juega este insumo en la edificación y las obras de infraestructura.

Concreto en Edificación.

Cuando hablamos de edificación podemos hablar de obras de tipo residencial, oficinas, industrial, comercial, edificios de salud, espacios deportivos, estacionamientos, etc. Como es de esperar el concreto ha ganado terreno en este tipo de construcciones ya que da solución a muchos de los procesos constructivos que conllevan, en el caso específico de espacios habitacionales vale la pena mencionar que los prefabricados de concreto cada vez son más demandados, puesto que en la actualidad se cuentan con registros, bloques, viguetas, bovedilla, placas pre coladas que facilitan y hacen más rápido el avance de dichas construcciones y del mismo modo garantizan una mayor calidad en los elementos de concreto mencionados, puesto que se tiene una producción en instalaciones fijas y adecuadas que a su vez está regulada y apegada a las normas aplicables, por lo que representan un menor riesgo mediante de la eliminación de incertidumbres y valor económico menor debido a la producción en serie de dichos insumos (Vidal, 2014).

Así mismo hoy en día la gran mayoría de los colados son realizados con concretos premezclados, con lo que de manera más fácil y siguiendo una programación adecuada se efectúan de manera rápida y sencilla, ya no es un obstáculo colar a losas altas gracias a los servicios de bombeo que ofrecen prácticamente todas las empresas de premezclado.

Aunado a lo anterior construir con elementos de concreto prefabricados o efectuar colados usando concretos premezclados nos da más ventajas de las que nos imaginamos, haciendo una recapitulación de los beneficios identificados podemos decir que van desde un control mayor de gastos y disminución de tiempos de ejecución, el aseguramiento de una calidad superior y el cumplimiento de la normatividad aplicable, además existe la posibilidad de que las piezas prefabricadas que se usan puedan ser

desmontadas en un futuro para una posible reutilización como sucedió en algunas de las obras que se realizaron para los juegos olímpicos de Londres 2012.

Para tener una mejor visión de lo anterior podemos consultar la siguiente tabla:

| CARACTERÍSTICAS | CONSTRUCCIÓN CONVENCIONAL | CONSTRUCCIÓN INDUSTRIALIZADA |
|-----------------|---|--|
| Definición | Más posibilidades de cambios a lo largo de todo el proceso, menor indefinición. | Etapas claramente definidas, empezando desde el proyecto. |
| Calidad | Elementos se manufacturan y/o ejecutan en la propia obra, mayor influencia del error humano (más rechazos) | Mayor control (cada pieza tiene su destino), menor Influencia del error humano. |
| Costo | En origen, normalmente menor. Pero mayor riesgo de imprevistos y desviaciones económicas. | Precio cerrado en proyecto. |
| Tiempo | El mayor grado de indefinición y la mayor interacción entre los distintos agentes provoca desviaciones en tiempo y, por tanto, en costos. | Mayor grado de cumplimiento en la planificación de la obra, rápida apertura de tajos para otros gremios, menor dependencia a las condiciones Climatológicas. |
| Limpieza | La obra es la fábrica al mismo tiempo. Muchos excedentes de materiales. | Menor generación de residuos. |
| Impacto | Mayor tiempo y mayor necesidad de espacio para el desarrollo de todas las tareas. | Menor impacto en las zonas aledañas (menores molestias causadas a las personas que habitan o transitan por ellas por ruido, cortes de tráfico, generación de polvo) y durante menor tiempo (ejecución más ágil). |

Tabla 6 Comparativa de la construcción convencional contra la construcción industrializada (Revista CyT 2014).

Hay que mencionar además que en la actualidad hay construcciones hechas en su totalidad de concreto, actualmente se tienen en el mercado concretos que son de alto desempeño, los cuales según la necesidad del cliente pueden presentar una excelente trabajabilidad y altas resistencias a edades tempranas, permitiendo colar casas completas y descimbrarlas a las 12 horas (CEMEX, 2014).

Concreto en Infraestructura

En nuestro país desde inicios del siglo XX se ha tenido un avance constante en materia de infraestructura, el concreto como uno de los principales materiales de construcción se comenzó a usar con la creación de las obras de irrigación e hidráulicas que se llevaron a cabo durante el periodo de gobierno del presidente Plutarco Elías Calles en 1920 (Chao, 2015). Actualmente en la construcción de puentes, carreteras, obras de drenaje, vías férreas, pavimentaciones, entre otras el concreto también es uno de los materiales más usados, la diferencia radica en las necesidades de este tipo de obras, puesto que requieren por lo regular concretos de alta y rápida resistencia, es así como en la actualidad contamos con los concretos de “alto comportamiento”, según el ACI un concreto de alto comportamiento es aquel que satisface requisitos especiales de comportamiento y uniformidad que no siempre se pueden lograr de manera rutinaria con el solo uso de componentes convencionales y de procedimientos normales de mezclado, colocación y curado (Pérez, 2004), entre las características del concreto que muestran los concretos de alto desempeño podemos mencionar las siguientes:

- Facilidad de colocación y de compactación sin segregación.
- Propiedades mecánicas a largo plazo.
- Resistencia a edades tempranas.
- Tenacidad.
- Estabilidad volumétrica.
- Impermeabilidad.
- Larga vida en ambientes extremos.

Las propiedades mencionadas anteriormente se pueden formar parte en grupo o individualmente de un concreto de alto desempeño, en nuestros días no es raro enterarse de la existencia de concretos de valores cercanos o mayores a 1000 kg/cm^2 en cuanto a la resistencia a la compresión, continuamente usados en obras de gran magnitud como el edificio Two Union Square, en Seattle, Washington, o en las Torres Gemelas “Petronas”, en Kuala Lumpur, Malasia.

Para finalizar vale la pena mencionar es el material compuesto de construcción que más se usa, las estructuras de concreto son durables y pueden brindar una vida útil de 50 años o más con poco o nulo mantenimiento, el reto actual de la industria es lograr la producción

de concretos más durables, económicos y con la menor afectación ambiental posible, conforme avanza el tiempo las estructuras que requieren las construcciones son más complejas, es por ello que se necesita mejorar y desarrollar materiales más resistentes y durables que los usados en el pasado, el concreto toma fuerza y se perfila para ser la solución a las necesidades de una sociedad que requiere de menor tiempo de ejecución en las obras, calidad y un mayor tiempo de vida útil en las mismas.

2.2.3 AGUA PARA CONCRETO.

Como ya sabemos el agua es el componente que se utiliza para crear las reacciones químicas en el caso de los cementantes del concreto hidraulico o mortero, si el agua es potable será útil para el concreto, pero tambien existen aguas no potables que debido a que fueron tratadas o a sus propiedades fisicoquímicas pueden ser usadas para la elaboración de concreto. Es importante analizar el agua que se emplea en el mezclado de los concretos ya que puede contener sustancias como azúcares, ácidos, aceites y/o materia vegetal que perjudican el proceso de hidratación (IMCYC, 2004), y con ello modificar características que disminuyen la calidad y/o durabilidad, la normatividad mexicana presenta una tabla de contenidos máximos permisibles de algunas sustancias en el agua que se use para concreto, la cuál se muestra a continuación:

| Impurezas | Límites permisibles en partes por millón (ppm) | |
|---|--|--|
| | Cementos ricos en calcio | Cementos resistentes a los sulfatos (RS) |
| Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo. | 2 000 | 2 000 |
| Sólidos en suspensión en aguas recicladas (finos de cemento y agregados), máximo. | 50 000 | 35 000 |
| Cloruros Cl | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo. | 400 | 600 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Para concretos reforzados que esten en ambientes húmedos o en contacto con metales, máximo. | 700 | 1100 |
| Sulfatos como SO ₄ , máximo. | 3 000 | 3 500 |
| Magnesio como Mg ++, máximo. | 100 | 150 |
| Carbonatos como CO ₃ , máximo. | 600 | 600 |
| Bióxido de Carbono disuelto comoCO ₂ , máximo. | 5 | 3 |
| Álcalis totales como Na+, máximo. | 300 | 450 |
| Total de impurezas en solución, máximo. | 3 500 | 4 000 |
| Grasas o aceites. | 0 | 0 |
| Materia Orgánica (oxígeno consumido en medio ácido), máximo. | 150 | 150 |
| Potencial de Hidrógeno (pH), mínimo. | 6.0 | 6.5 |

Tabla 7 Límites máximos permisibles de sustancias en el agua de mezclado para concreto (SCT, 2002).

En cuanto al almacenamiento del agua, la normatividad también señala que se deben de respetar los siguientes puntos:

- Si el agua se almacena por más de cuarenta días, previo a su utilización se revisará que sus características cumplan con lo indicado en la tabla de límites permisibles.

Almacenamiento en depósitos de concreto:

- Si antes de ser usada el agua permanece almacenada por mas de 50 días, el depósito tendra que ser lavado en cuanto se vacíe o antes de ser llenado de nuevo, el lavado se efectuará cada 60 días como máximo.
- Si el agua almacenada está en uso constante aún no vaciando el depósito en su totalidad debido a su uso, el lavado del recipiente deberá ser cada seis meses como máximo.

Almacenamiento en depósitos de metal o plástico:

- Si antes de ser usada el agua permanece almacenada por mas de 8 días, el depósito tendrá que ser lavado en cuanto se vacíe o antes de ser llenado de nuevo, el lavado se efectuará cada 6 meses como máximo.
- Si el agua almacenada esta en uso constante aún no vaciando el depósito en su totalidad debido a su uso, el lavado del recipiente deberá ser cada 20 días como máximo.

Si el agua no cumple con los parámetros mencionados, se convierte en un insumo potencialmente nocivo para el concreto, existen varios tipos de agua nociva (IMCYC, 2014), los cuales describiremos brevemente a continuación:

- **Aguas ácidas Naturales:** Son las que contienen una gran cantidad de gas carbónico libre, ácido nítrico o ácidos húmicos y cuyo pH es menor a 6.
Sus efectos negativos en el concreto es disolver rápidamente los compuestos del cemento y de los agregados calizos.
- **Aguas fuertemente salinas:** En su composición se encuentran altas concentraciones de una o varias sales.
Su efecto nocivo para el concreto es retardar la reacción de fraguado y ejercer una acción disolvente sobre los componentes cálcicos del cemento, entre otros.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- **Aguas alcalinas:** Éste tipo de aguas han disuelto sales de ácido débiles y contienen sales de potasio, litio u otros metales monovalentes del tipo alcalino. Su efecto perjudicial para el concreto por la reacción denominada hidrólisis alcalina que producen en algunos compuestos del concreto, los cuáles sufren un ataque corrosivo con aguas de estas características, puesto que los cationes alcalinos tienen una acción sobre los aluminatos cálcicos y sobre los iones de calcio.
 - **Aguas cloruradas:** Son las que contienen una mayor cantidad de cloruros de elementos alcalinos y alcalinotérreos. Sus efectos negativos en el concreto suceden debido a que la solubilidad de la cal y el yeso es mayor en ellas que en las aguas puras, pueden actuar disolviendo algunos componentes del cemento y el concreto, y sus efectos son mayores en el caso de concreto armado.
 - **Aguas de mar:** En su composición podemos observar una cantidad notable de sales disueltas, donde principalmente encontramos cloruro de magnesio, cloruro de sodio, sulfato de calcio y sulfato de magnesio. Sus efectos nocivos para el concreto se desarrollan de manera más lenta y menos agresiva, sin embargo este tipo de agua produce eflorescencias, en el concreto con reforzado o presforzado aumentan las posibilidades de que se tenga corrosión en el acero.
 - **Aguas magnesianas:** Éste tipo de aguas contienen sales solubles de magnesio, como lo son los cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Su efecto perjudicial para el concreto es que si contiene una cantidad considerable de magnesio irrumpe el fraguado, siendo más susceptibles los cementos portland con alto contenido de aluminato tricálcico.
 - **Aguas sulfatadas:** Son las que presentan altos contenidos de sulfatos alcalinos como de sodio, potasio, litio, calcio o magnesio. Son consideradas muy agresivas para el concreto ya que fomentan la formación de una sal doble fuertemente hidratada (sal de candlot), que es un sulfo-aluminato tricálcico que cuya forma es harinosa y expansiva.
 - **Aguas industriales:** Éste tipo de aguas surgen de las industrias como desecho, derivado de su procedencia pueden ser bases o ácidas, pueden tener en su composición diferentes sustancias como lo son sales, azúcares, ácidos y álcalis.

Sus efectos perjudiciales para el concreto son variables, y son nocivos para prácticamente todos los tipos de cemento, los más resistentes a este tipo de aguas son los que contienen muy poca cal libre, como los aluminosos, los puzolánicos y los de escoria de alto horno con bajos contenidos de Clinker.

- **Aguas negras:** Son las provenientes de las redes de drenaje municipales, su composición físico-química es muy diversa y depende de factores como su origen y variantes que se tienen en el recorrido por la red.

Dada la diversidad de sus componentes no se recomienda su uso para fabricar concreto, dado que los efectos en el son impredecibles, solo se podrán usar aquellas que fueron sometidas a un tratamiento adecuado y cumplen con lo señalado en la normatividad para concreto.

- **Aguas recicladas:** Se denominan aguas recicladas a las que se usan para el lavado y enjuague interior de las revolvedoras de concreto, y después se usan para la elaboración de mezclas de concreto, por lo regular este tipo de agua poseen un alto porcentaje de sólidos en suspensión, los cuales en su mayoría son finos de cemento y de los agregados.

Sus acciones nocivas para el concreto aparecen si tienen una gran concentración de sulfatos, cloruros y álcalis, así mismo si contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y estos no son tomados en cuenta, el concreto puede presentar deficiencias debidas a los excesos finos.

2.2.4 CONCRETOS CON AGUAS TRATADAS

En distintas partes del mundo se han realizado investigaciones sobre uso de agua tratada en concretos y morteros, se han registrado resultados interesantes, los cuales nos hacen pensar que en un futuro no muy lejano puede concretarse este nuevo uso para aguas recicladas, algunos de los países que han investigado sobre el tema son los siguientes:

Kuwait

En este país un profesor del departamento de Ingeniería Civil de la *Kwait University* se dió a la tarea de elaborar concretos con agua potable y agua residual sometida a diferentes tipos de tratamiento (Al-Ghusain, 2003, pág. 216), las características que evaluó fueron:

tiempo de fraguado, densidad, resistencia a la compresión y potencial corrosivo. Los resultados fueron muy parecidos entre el los concretos con mezclados con agua potable y los mezclados con agua tratada, las conclusiones de la investigación fueron las siguientes:

- La densidad no se ve afectada por el tipo de agua de mezclado.
- El tiempo de fraguado fue mayor para los concretos con agua tratada.
- La resistencia a la compresión a corto plazo fue mayor en concretos con agua tratada, sin embargo a largo plazo fue menor, pero una diferencia significativa.
- El potencial corrosivo aumenta al usar agua tratada en las mezclas de concreto, específicamente si son aguas sometidas a tratamientos mínimos, de alguna manera esto se puede mejorar aumentando el recubrimiento.

Estados Unidos de América

En este país se han efectuado varios estudios respecto al uso de agua reciclada en concreto, uno de ellos se efectuó por parte de investigadores de la Universidad de Florida en conjunto con personal de la empresa RMC (*Ready Mixed Concrete*), quienes utilizaron agua procedente del lavado de camiones donde se transportaba concreto premezclado para elaborar nuevos concretos y, de este modo ahorrar cerca de 1000 litros de agua por día. Los resultados fueron satisfactorios ya que las diferencias que se tuvieron con los concretos que contenían agua potable fueron mínimas (Mbwambo, 1996, pág. 4).

En otra investigación llevada a cabo por personal de la Universidad de Wisconsin se analizaron cubos de concreto los cuales se sometieron a pruebas de compresión a las siguientes edades; 1, 3, 7, 28, 56 y 91 días respectivamente los datos obtenidos fueron muy similares a los que arrojaron los morteros hechos con agua potable, solo que hasta la edad de 28 días los cubos de mortero que se fabricaron con agua potable presentaron una resistencia a la compresión mayor, según los investigadores esto se debió a que el agua tratada mejoraba la dispersión de las partículas de cemento (Silva, 2010, pág. 8), por lo tanto se eliminaban los grumos y la resistencia se ganaba de manera más uniforme en las muestras.

Australia

La asociación australiana del cemento, concreto y agregados, elaboró un reporte técnico que contiene información actualizada sobre la calidad del agua necesaria para elaboración de concreto (Australia, 2007, pág. 3), el reporte también contiene una descripción de las sustancias que podrían modificar las características del concreto así como las variaciones y límites permisibles, de la misma forma que indica el posible comportamiento del mismo de contener dichos componentes, con lo que presenta de manera más seria el agua tratada como una opción para el mezclado del concreto.

México

En el año 2001 un grupo de investigadores encabezados por el M. en I. Adán Vázquez Rojas pertenecientes a la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, se dieron a la tarea de realizar un estudio en el que se elaboraron concretos con aguas tratadas y a su vez se midieron y registraron las características que se enuncian a continuación:

| Concreto en estado Fresco | Concreto en estado endurecido |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Revenimiento • Contenido de aire • Peso volumétrico | <ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a la Compresión • Expansiones en barras de mortero |

Tabla 8 Pruebas que se realizaron en la investigación de la Universidad Autónoma Metropolitana (IMCYC, 2001).

Así mismo, al hacerse un análisis de los resultados se registró que en su mayoría los concretos cumplieron con las expectativas de calidad puesto que su resistencia era la esperada o su valor era mayor que el 80% de ésta, en los especímenes que no alcanzaron la resistencia de proyecto se determinó que fue por la existencia de grasas y residuos de detergentes, por lo que se recomendó que para el uso de esta agua en concreto se le diera un tratamiento adicional al recibido en la planta de tratamiento (Rojas, 2001).



CAPÍTULO 3:

**METODOLOGÍA
EXPERIMENTAL**

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Para efectuar los análisis de los concretos elaborados con agua tratada, se realizaron mezclas de dos diferentes resistencias con un $f'c$ de 150 kg/cm^2 y 250 kg/cm^2 respectivamente, a su vez con el fin de comparar sus características se elaboraron concretos con tres tipos de agua, las cuales fueron:

- Agua Potable
- Agua Tratada en PTAR “Miradores”
- Agua Tratada en PTAR “La Querencia”

Los parámetros a evaluar son los siguientes:

| PARAMETRO | PRUEBA | ELEMENTO |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Funcionamiento estructural | Resistencia a la compresión | Cilindro de 15 x 30 cm |
| | Resistencia a la flexión | Viga de 15 x 15 x 60 cm |
| Durabilidad | Resistencia a la Abrasión | Disco de 15 x 7.5 cm |
| Reactividad del Agua. | Tiempo de Fraguado | Concreto en estado fresco |
| Trabajabilidad | Revenimiento | |

Tabla 9 Parámetros a evaluar en la presente investigación, (UAA, 2016)

3.2 ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados usados para concreto son materiales naturales, de origen pétreo, sólidos e inertes, que se mezclan con un aglutinante (cemento Portland) y agua para dar como resultado un elemento de concreto hidráulico.

Al ser materiales aislados tienen propiedades físicas individuales y variables, como lo son: forma, tamaño, porosidad, peso específico, peso volumétrico, entre otras. Es importante conocer las características de cada agregado debido a que en los elementos de concreto la durabilidad y calidad está ligada a las características individuales de sus componentes, conociendo las propiedades de los agregados se podrá elaborar un diseño de mezcla adecuado, y en su momento determinar que materiales se aceptan o se rechazan para su uso.

En el concreto tenemos dos tipos de agregados:

Agregado Fino (Arenas)

Es el agregado pétreo seleccionado o resultante de un proceso de trituración y cribado, cuyas partículas son de tamaños entre 75 micrómetros (malla #200) y 4.75 milímetros (malla #4), pueden contener a su vez finos según lo establecido en la normatividad aplicada (SCT, 2002).

Agregado Grueso (Gravas)

Es el agregado pétreo seleccionado o resultante de un proceso de trituración y cribado, escorias de altos hornos o una combinación de los materiales mencionados; el tamaño de partícula del agregado grueso oscila entre 19 milímetros (3/4") y 75 milímetros (3"), puede contener a su vez fragmentos de roca y arena según lo establecido en la normatividad aplicada (SCT, 2002).

Las pruebas que se llevan a cabo a los agregados que se utilizarán en la elaboración de concreto hidráulico son con el objetivo de determinar las siguientes propiedades:

- Granulometría
- Absorción
- Peso volumétrico
- Peso específico

3.2.1 GRANULOMETRÍA

Esta característica de los agregados se refiere al tamaño de sus partículas y su distribución porcentual, es un parámetro que influye en el desempeño del concreto en su estado fresco y endurecido, esta propiedad de los agregados modifica la manejabilidad, la demanda de agua, el revenimiento e inclusive la propia resistencia a la compresión.

Los agregados deberán cumplir con una determinada granulometría para ser usados en el concreto, de acuerdo a lo siguiente:

Agregado Fino (Arenas)

La granulometría del agregado fino deberá estar comprendida entre los límites que se indican en la siguiente tabla:

| Malla | | Porcentaje retenido acumulado |
|---------------|-------------|-------------------------------|
| Abertura (mm) | Designación | |
| 9.5 | 3/8" | 0 |
| 4.75 | No. 4 | 0 – 5 |
| 2.36 | No. 8 | 0 – 20 |
| 1.18 | No. 16 | 15 – 50 |
| 0.6 | No. 30 | 40 – 75 |
| 0.3 | No. 50 | 70 – 90 |
| 0.15 | No. 100 | 90 – 98 |

Tabla 10 Requisitos granulométricos para el agregado fino (SCT, 2002).

Algunos otros criterios a cumplir serán los siguientes:

- En ninguna malla el retenido parcial deberá ser mayor de 45%
- Si el agregado fino en cuestión sea utilizado en concretos con aire incluido y con una concentración de cemento mayor a 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido y con una concentración de cemento mayor a 300 kg/m³, los porcentajes máximos indicados en la tabla para la malla No.50 y No. 100 podrán elevarse a 95% y 100% respectivamente.
- Cuando los porcentajes que pasen la malla 200 sean superiores a los expresados en la tabla se harán las pruebas de límites de consistencia, para determinar si se puede hacer uso del agregado de acuerdo a la norma NMX-C-416-0NNCCE.

Así mismo, de los resultados obtenidos calcularemos el módulo de finura de las arenas el cual será empleado en el diseño de la mezcla y se define como la sumatoria de los porcentajes acumulados retenidos, partiendo de la malla No. 4, hasta la malla No. 100, la sumatoria se divide entre 100 y es aplicable al agregado fino.

El módulo de finura es un número indicador de cuán fino es el agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será, este valor es útil para estimar proporciones de arenas y gravas en los concretos.

Procedimiento de prueba.

- 1.- Se homogeniza el agregado y se obtiene una muestra de entre 500-1000 gramos.
- 2.- Se seca la muestra totalmente y se coloca en la malla No.4 a la 100 de mayor a menor abertura.
- 3.- Se coloca en el vibrador para mallas del laboratorio y se deja ahí aproximadamente 5 minutos.
- 4.- Una vez terminado el vibrado se pesa el material retenido en cada una de las mallas.
- 5.- Se llena la tabla de porcentajes retenidos parciales y acumulados por malla y se procede a calcular el módulo de finura, el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de curvatura (Cc).



Ilustración 3 Agregados utilizados para la presente investigación.

Granulometría del agregado fino utilizado.

Peso inicial de la muestra = 1306 gramos.

| MALLA No. | ABERTURA (mm) | PESO SUELTO RETENIDO (grs.) | % Retenido | | % que pasa |
|-----------|---------------|-----------------------------|------------|-----------|------------|
| | | | Parcial | Acumulado | |
| 4 | 4.76 | 25.00 | 1.91 | 1.91 | 98.09 |
| 8 | 2.36 | 76.50 | 5.86 | 7.77 | 92.23 |
| 16 | 1.18 | 181.00 | 13.86 | 21.63 | 78.37 |
| 30 | 0.6 | 363.50 | 27.83 | 49.46 | 50.54 |
| 50 | 0.3 | 362.00 | 27.72 | 77.18 | 22.82 |
| 100 | 0.149 | 267.00 | 20.44 | 97.63 | 2.37 |
| CH | | 31.00 | 2.37 | | |
| | SUMA | 1306.00 | M.F. | 2.6 | |

Tabla 11 Resultados de granulometría en el agregado fino utilizado en esta investigación (UAA, 2016).

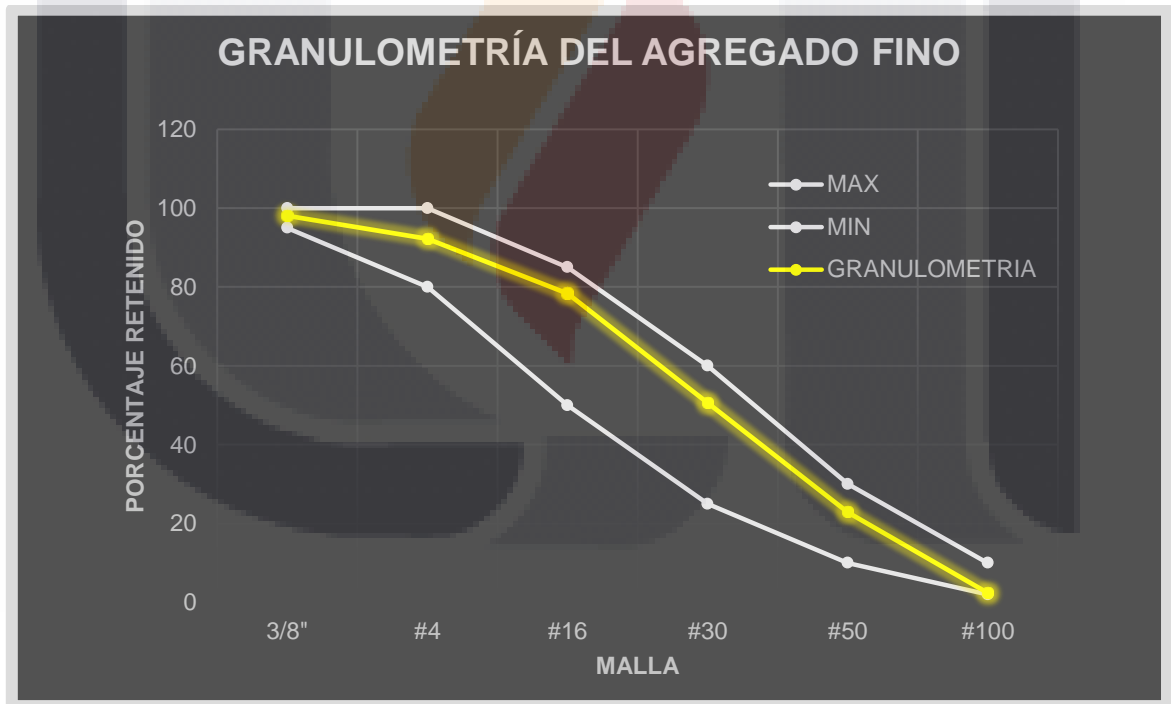


Gráfico 4 Resultados de granulometría en el agregado fino utilizado en esta investigación (UAA, 2016).

Agregado Grueso (Gravas)

La granulometría del agregado grueso deberá estar comprendida entre los límites que se indican en la siguiente tabla:

| Malla Mm (designación) | Tamaño nominal (mm) | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 94-40 | 64-40 | 50-25 | 50-5 | 40-20 | 40-5 | 25-13 | 25-10 | 20-5 | 20-10 | 20-5 | 13-5 | 10-2.5 |
| Porcentaje retenido acumulado. | | | | | | | | | | | | | |
| 101 (4") | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 89 (3 1/2") | 0-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 75 (3") | - | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 63 (2 1/2") | 75-40 | 0-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 (2") | | 30-65 | 0-10 | 0-5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 37.5 (1 1/2") | 85-100 | 85-100 | 30-65 | - | 0-10 | 0-5 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| 25 (1") | - | - | 85-100 | 30-65 | 45-80 | - | 0-10 | 0-10 | 0-5 | 0 | 0 | - | - |
| 19 (3/4") | 95-100 | 95-100 | - | - | 85-100 | 30-65 | 45-60 | 15-60 | - | 0-10 | 0-10 | 0 | - |
| 12.5 (1/2") | - | - | 95-100 | 70-90 | - | - | 90-100 | 60-90 | 40-75 | 45-60 | - | 0-10 | 0 |
| 9.5 (3/8") | - | - | - | - | 95-100 | 70-90 | 95-100 | 85-100 | - | 85-100 | 45-80 | 30-60 | 0-15 |
| 4.75 (No. 4) | - | - | - | 95-100 | - | 95-100 | - | 95-100 | 90-100 | 95-100 | 90-100 | 85-100 | 70-90 |
| 2.36 (No. 8) | - | - | - | - | - | - | - | - | 95-100 | - | 95-100 | 95-100 | 90-100 |
| 1.18 (No. 16) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 95-100 |

Tabla 12 Requisitos granulométricos para el agregado grueso (SCT, 2002).

Algunos otros criterios a cumplir serán los siguientes:

- En caso de que el agregado grueso no cumpla con lo indicado en la tabla anterior se le dará un tratamiento para que su granulometría cumpla.
- El porcentaje de material que pase la malla No. 200 en el agregado grueso será máximo el 2%, si el material fue obtenido mediante un proceso de trituración el porcentaje puede ser máximo el 3%.

Granulometría del agregado grueso utilizado.

| MALLA No. | PESO SUELTO RETENIDO (grs.) | % Retenido | | % que pasa |
|-----------|-----------------------------|------------|-----------|------------|
| | | Parcial | Acumulado | |
| 3/4" | 134.00 | 8.77 | 8.77 | 91.23 |
| 1/2" | 573.50 | 37.53 | 46.30 | 53.70 |
| 3/8" | 639.50 | 41.85 | 88.15 | 11.85 |
| No. 4 | 181.00 | 11.85 | 100.00 | 0.00 |
| SUMA | 1528.00 | | | |

Tabla 13 Resultados de granulometría en el agregado grueso utilizado en esta investigación (UAA, 2016).

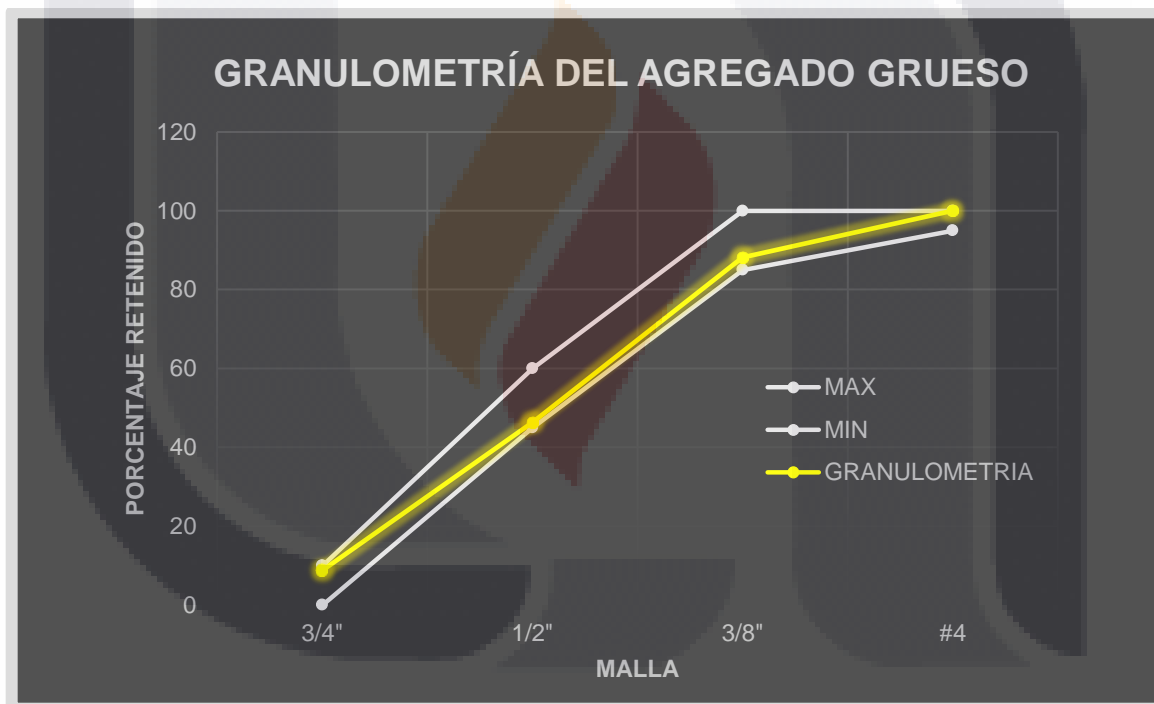


Gráfico 5 Resultados de granulometría en el agregado grueso utilizado en esta investigación (UAA, 2016).

Como se puede observar los agregados usados cumplieron con los lineamientos granulométricos de los agregados, al estar dentro de las tolerancias permitidas por las normas, el módulo de finura de la arena fue de 2.6 y el tamaño máximo de agregado fue de 3/4" o 19 mm.

3.2.2 PESO ESPECÍFICO

El peso específico de los agregados es la relación de su peso respecto al peso de un determinado volumen de agua que es desplazada por inmersión, la utilidad de este dato radica en el proporcionamiento y/o diseño de mezclas, puesto que se usa para calcular el volumen absoluto del agregado y dosificar por masa, lo que hace tener más control sobre el volumen de concreto a crear.

Procedimiento de prueba

Agregado Fino (Arenas)

1.- Se satura la arena a utilizar por 24 horas, pasado este lapso se saca del agua y se seca un poco para lograr el estado saturado y superficialmente seco, éste estado se corrobora con ayuda del cono truncado, mismo que se llena con la arena en dos capas dándole 15 golpes con el pisón a la primera y 10 golpes a la segunda, se enraza y se retira el cono de manera vertical y sin movimientos laterales, si al ser retirado el cono la arena permanece con la forma del mismo, esto nos señala que la arena tiene exceso de humedad, por lo que se continúa con el secado y se repite el paso anterior, hasta que el cono que forma la arena se desmorone lentamente y quede un cono sin la capa superficial, cuando esto suceda tendremos la arena en el estado saturado y superficialmente seco.

2.- Se seleccionan y pesan 2 muestras de 200 gramos, cada una de arena (en estado saturado y superficialmente seco), se vierte agua a una probeta graduada hasta un valor determinado, se vierte una muestra de arena empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca un cartoncillo, por si se derrama algo de arena pueda ser levantado posteriormente y vaciado al recipiente.

3.- Se registra el volumen de agua desalojado.

La muestra restante se coloca en el horno para su secado total, ya que con ello se obtendrá el peso seco de la arena.

4.- Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen desalojado}}$$

Agregado Grueso (Gravas)

- 1.- Se deja el agregado grueso en saturación por 24 horas.
- 2.- Se les saca del agua y se secan superficialmente con ayuda de una franela ligeramente húmeda, se pesa una cantidad de material cercana a los 250 gramos, obteniéndose de esta forma el peso saturado y superficialmente seco del agregado.
- 3.- Se vierte la grava en el recipiente graduado y registra el volumen de agua desalojado.
La muestra restante se coloca en el horno para su secado total, ya que con ello se obtendrá el peso seco de la arena.
- 4.- Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$\text{Peso específico} = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen desalojado}}$$

Peso específico del agregado fino utilizado.

$$\text{Peso específico} = \frac{0.2 \text{ kg}}{0.00085 \text{ m}^3} = 2352.94 \text{ kg/m}^3$$

Peso específico del agregado grueso utilizado.

$$\text{Peso específico} = \frac{0.3164 \text{ kg}}{0.0001312579 \text{ m}^3} = 2410.52 \text{ kg/m}^3$$

3.2.3 PESO VOLUMÉTRICO

El peso volumétrico de un agregado se define como el peso de dicho agregado requerido para rellenar un depósito de un volumen definido, el volumen mencionado será ocupado por el agregado y los vacíos que existan entre sus partículas.

Este dato es de utilidad en el diseño de mezclas ya que es un indicador de la demanda de cemento que se requiere para esta investigación se determinaron los pesos volumétricos sueltos y compactados de los agregados.

Procedimiento de prueba (Agregado fino y grueso)

Peso Volumétrico Seco Suelto

- 1.- El agregado se seca al sol, se cuartea y se selecciona una muestra.
- 2.- Se pesa el recipiente vacío que será llenado con el material.
- 3.- Con ayuda de un cucharón se toma el agregado y se vierte en el recipiente desde una altura de 5 centímetros hasta que se llene, evitando amasar el agregado y enrasado en la superficie del recipiente.
- 4.- Se pesa el recipiente lleno del agregado y se registra su peso.
- 5.- Se calcula el peso volumétrico seco suelto con la siguiente expresión:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r}$$

Donde:

P.V.S.S.= Peso volumétrico seco suelto del material.

W_m = Peso del material. (Peso del recipiente lleno de material – peso del recipiente)

V_r = Volumen del recipiente.

Peso Volumétrico Seco Compactado

- 1.- El agregado se seca al sol, se cuartea y se selecciona una muestra.
- 2.- Se pesa el recipiente vacío que será llenado con el material.
- 3.- Con ayuda de un cucharón se toma el agregado y se vierte en el recipiente desde una altura de 5 centímetros hasta que se llene, evitando amasar el agregado y enrasado en la superficie del recipiente.
- 4.- Se pesa el recipiente lleno del agregado y se registra su peso.
- 5.- Se calcula el peso volumétrico seco suelto con la siguiente expresión:

$$P.V.S.C. = \frac{Wm}{Vr}$$

Donde:

P.V.S.C.= Peso volumétrico seco compacto del material.

Wm = Peso del material. (Peso del recipiente lleno de material – peso del recipiente)

Vr = Volumen del recipiente.

Peso Volumétrico Seco Suelto del agregado fino utilizado.

$$P.V.S.S. = \frac{7.43143 \text{ kg}}{0.0054 \text{ m}^3} = 1376.19 \text{ kg/m}^3$$

Peso Volumétrico Seco Suelto del agregado grueso utilizado.

$$P.V.S.S. = \frac{7.72308 \text{ kg}}{0.0054 \text{ m}^3} = 1430.20 \text{ kg/m}^3$$

Peso Volumétrico Seco Compactado del agregado fino utilizado.

$$P.V.S.C. = \frac{7.54699}{0.0054 \text{ m}^3} = 1397.59 \text{ kg/m}^3$$

Peso Volumétrico Seco Compactado del agregado grueso utilizado.

$$P.V.S.C. = \frac{7.90506}{0.0054 \text{ m}^3} = 1463.90 \text{ kg/m}^3$$

3.2.4 ABSORCIÓN

La absorción es una cualidad importante debido a que está directamente relacionada con la resistencia y adherencia de los materiales, la porosidad se asocia con la absorción y esta última con las correcciones que se llevan a cabo al calcular el agua en la dosificación de las mezclas.

Procedimiento de prueba (Agregado fino y grueso)

Teniendo los datos del peso saturado y superficialmente seco y el peso seco de los agregados sólo se necesita hacer un sencillo cálculo para obtener el porcentaje de absorción, se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

W_{ss} = Peso saturado y superficialmente seco

W_s = Peso seco

Absorción del agregado fino utilizado.

La absorción de la arena utilizada en las mezclas fue la siguiente:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{200 - 193.66}{193.66} \times 100 = 3.27 \%$$

Absorción del agregado grueso utilizado.

La absorción de la grava utilizada en las mezclas fue la siguiente:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{316.4 - 303.63}{303.63} \times 100 = 4.07\%$$

3.3 SELECCIÓN DE CEMENTO

La selección de cemento se hizo mediante la consulta de las marcas con mayor demanda en el mercado, en México los productos con mayor índice de consumo son los de CEMEX, es por ello que se seleccionó esta marca para desarrollar la investigación.

La participación en el mercado mexicano en el área de los cementos es de la siguiente manera:

| Empresa | Número de plantas | Participación de mercado |
|--------------------|-------------------|--------------------------|
| CEMEX México | 15 | 54 % |
| Holcim Apasco | 6 | 22 % |
| CYCNA | 4 | 14 % |
| Cementos Moctezuma | 2 | 6 % |
| GCC Cemento | 3 | 2 % |
| Lafarage Cementos | 2 | 2 % |

Tabla 14 Empresas productoras de Cemento y participación en el mercado CANACEM 2011

3.4 AGUA TRATADA A EMPLEAR

El agua tratada usada en esta investigación es proveniente de dos plantas tratadoras ubicadas en el municipio de Aguascalientes, la planta de tratamiento “Miradores” y la planta de tratamiento “La Querencia”, se eligieron estas dos plantas ya que el personal químico encargado de tomar y analizar las muestras de agua señaló que las plantas mencionadas eran las dos que mejor trataban el agua en la ciudad de Aguascalientes.

3.4.1 PTAR MIRADORES

Esta planta ubicada en el fraccionamiento Los Miradores en Aguascalientes, tiene una capacidad instalada de 40 litros/segundo, y el caudal que trata es de 12 litros/segundo, el proceso de esta planta es el de lodos activados y el uso que se le da a el agua tratada en esta planta es generalmente para riego de áreas verdes y/o ser destinada al bordo Santa Elena (CONAGUA, 2013).

El proceso de tratamiento de esta planta se detalla con el siguiente diagrama de flujo:

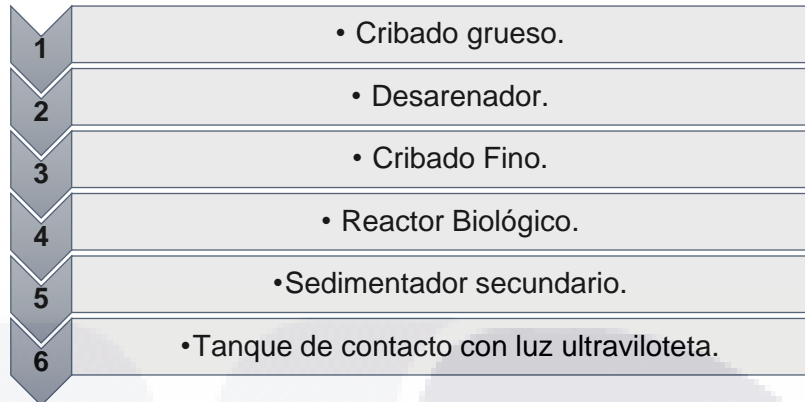


Ilustración 4 Planta de tratamiento Miradores en Aguascalientes.

3.4.2 PTAR LA QUERENCIA

Esta planta ubicada en el Pocitos en Aguascalientes, tiene una capacidad instalada de 10 litros/segundo, y el caudal que trata es de 8 litros/segundo, el proceso de esta planta es el de lodos activados y el uso que se le da a el agua tratada en esta planta es generalmente es ser destinada al colector marginal izquierdo del río San Pedro (CONAGUA, 2013).

El proceso de tratamiento de esta planta se detalla con el siguiente diagrama de flujo:

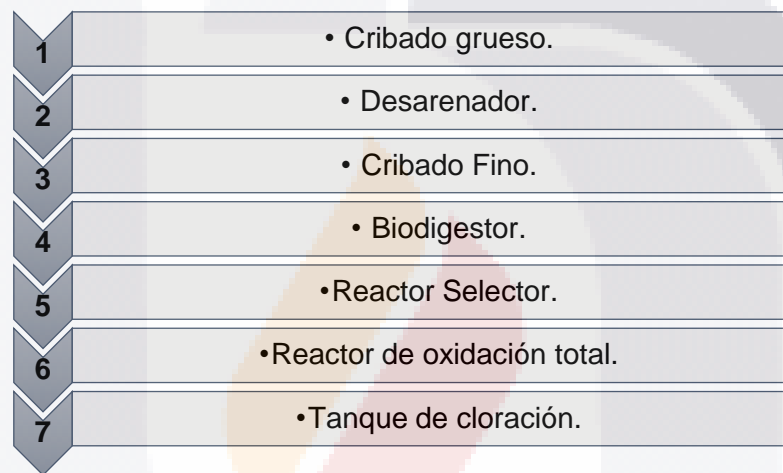


Ilustración 5 Planta de tratamiento La Querencia en Aguascalientes.

3.5 DISEÑO DE LA MEZCLA

Las mezclas se diseñaron por el método del ACI, basándonos en lo procedimiento enunciado en la publicación: “Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo”, el diseño de mezcla se realizó como se indica a continuación (Molina, 1983):

Primero que nada es necesario conocer algunas propiedades de los agregados que se van a usar en la mezcla, mismas que son determinadas por pruebas de laboratorio como se mencionó anteriormente, siguiendo las normatividad SCT y/o NMX.

Las características que necesitamos saber son las siguientes:

| | |
|--|---------------------------|
| Peso específico del cemento (densidad) | 3150 kg/m ³ |
| Módulo de finura de la arena | 2.60 |
| Peso específico de la arena | 2352.94 kg/m ³ |
| Absorción de la arena | 3.27 % |
| Humedad de la arena | 8.0 % |
| Peso específico de la grava | 2410.52 kg/m ³ |
| Tamaño máximo de la grava | 19 mm |
| Peso volumétrico de la grava | 1447.05 kg/m ³ |
| Absorción de la grava | 4.07 % |
| Humedad de la grava | 0.6 % |

Tabla 15 Características de los agregados necesarias para diseñar una mezcla (IMCYC, 1983).

Nota: La humedad de los agregados es un dato variable y se determina antes de hacer las mezclas.

Paso No. 1: Definiremos algunos parámetros para diseñar la mezcla; la resistencia será de $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días, con un revenimiento de 10 centímetros utilizando un cemento Portland ordinario (CPO).

Paso No. 2: Se establece el tamaño máximo de agregado grueso a emplear, en este caso $\frac{3}{4}$ " o 19 mm.

Paso No. 3: Con ayuda de la siguiente tabla estimamos un aproximado de agua a usar en la mezcla por m³, tomando en cuenta revenimiento y tamaño máximo de agregado.

| Revenimiento cm | Agua, Kg/m ³ concreto para TMA (mm) (Concreto sin aire incluido) | | | | | | | |
|--|--|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 9.5 | 12.5 | 19 | 25 | 38 | 50 | 75 | 150 |
| De 2.5 a 5.0 | 207 | 199 | 190 | 179 | 166 | 154 | 130 | 113 |
| De 7.5 a 10 | 228 | 216 | 205 | 193 | 181 | 169 | 145 | 124 |
| De 15 a 17.5 | 243 | 228 | 216 | 202 | 190 | 178 | 160 | --- |
| Cantidad aprox. De aire atrapado en % | 3 | 2.5 | 2 | 1.5 | 1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |

Tabla 16 Cantidad de agua necesaria por m³ e concreto de acuerdo al revenimiento de proyecto y TMA (IMCYC, 1983).

Se obtiene el valor de 205 litros por m³ y el aire atrapado aproximado en la mezcla será un 2% de la misma.

Paso 4: Se determina la relación agua cemento necesaria para la resistencia de diseño, en este caso fue de 0.61 para una resistencia de 250 kg/cm².

Paso 5: De acuerdo a los datos establecidos en los paso anteriores podemos obtener el consumo de cemento por metro cúbico despejando de la siguiente expresión; Agua/Cemento=0.61, por lo tanto Cemento = 205/0.61 = 336.07 kg/m³.

Paso 6: De la siguiente tabla calculamos un aproximado de la cantidad de grava que necesitará un metro cúbico de nuestra mezcla, lo determinamos en base al tamaño máximo del agregado grueso y al módulo de finura del agregado fino.

| Tamaño máximo de agregado (mm) | Volumen de agregado grueso varillado seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena. | | | |
|--------------------------------------|---|------|------|------|
| | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 |
| 9.5 | 0.50 | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5 | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 19 | 0.66 | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25 | 0.71 | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 37.5 | 0.75 | 0.73 | 0.71 | 0.69 |
| 50 | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 75 | 0.82 | 0.80 | 0.78 | 0.76 |
| 150 | 0.87 | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Tabla 17 Porcentaje de agregado grueso por m³ de concreto de acuerdo a su tamaño máximo (IMCYC, 1983)

El volumen de agregado grueso será 0.64 m³, si lo queremos expresar en masa podemos hacer la multiplicación por el peso volumétrico y nos queda de la siguiente manera:

$$1447.05 \times 0.64 = 926.112 \text{ kg/m}^3$$

Paso 7: Una vez definidos los consumos de agua, cemento y agregado grueso, el material que resta para completar un metro cúbico consiste en agregado fino y aire que puede quedar atrapado.

Paso 8: La cantidad de agregado fino se calcula por la diferencia restante y es posible emplear alguno de los siguientes procedimientos: el método del peso o el método del volumen absoluto, en este diseño por cuestiones de exactitud se empleara el método del volumen absoluto.

Paso 8(a): Éste método de cálculo implica conocer los volúmenes absolutos de los materiales, el agregado fino se obtiene restando la suma de los volúmenes absolutos de los demás componentes de la mezcla, haciendo la multiplicación por su peso específico se define la cantidad en kilogramos de arena.

| Materiales | Peso | Densidad | Volumen (Lts.) |
|--------------|---------|----------|----------------|
| Agua | 205.00 | 1.00 | 205.00 |
| Cemento | 336.07 | 3.15 | 106.68 |
| Grava | 926.11 | 2.41 | 384.28 |
| Vol. De Aire | ----- | ----- | 20.00 |
| Total | 1467.18 | | 715.96 |

Tabla 18 Pesos y volúmenes de los componentes del concreto por m3.

Volumen de arena = $100 - 715.96 = 284.04$ litros.

Peso de arena requerido = $0.28404 \times 2352.94 = 668.33$ kg.

Haciendo una comparativa de las cantidades que se obtienen diseñando una mezcla basándonos en peso estimado y tomando como base los volúmenes absolutos:

| Materiales | Pesos Basado en peso estimado | Volúmenes Basado en volumen absoluto |
|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| Agua | 205 | 205.00 |
| Cemento | 336.07 | 106.68 |
| Grava | 926.11 | 384.28 |
| Arena | 732.82 | 284.04 |
| Volumen de aire. | 20 | 20 |
| Total en peso | | |
| Volumen total (Lts.) | 1008 | 1000 |

Tabla 19 Comparativa de volúmenes al diseñar mezclas por pesos estimados y volúmenes absolutos (IMCYC, 1983).

Como se puede apreciar al diseñar un metro cúbico de concreto podemos tener diferencias en el volumen final si lo realizamos por el método del peso estimado, por eso se eligió el diseño basándonos en los volúmenes absolutos de los materiales.

Paso 9: Se procede a hacer una corrección por humedad y absorción de los materiales, puesto que al poseer humedad los agregados, se debe de contemplar para la cantidad de agua empleada.

| Proporción Base | | Corrección por humedad y absorción. | | | | Proporción real. |
|-----------------|---------|-------------------------------------|---------|-----------|---------|------------------|
| | | Humedad | | Absorción | | |
| | | % | kg | % | kg | |
| Cemento | 336.07 | | | | | 336.07 |
| Arena | 668.33 | 8.0 | + 53.47 | 3.27 | - 21.85 | 699.95 |
| Grava | 926.11 | 0.6 | + 5.56 | 4.07 | - 37.69 | 893.98 |
| Agua | 205 | | - 59.03 | | +59.54 | 205.51 |
| Total | 2135.51 | | | | | 2135.51 |

Tabla 20 Corrección por humedad y absorción de los agregados y el agua (IMCYC, 1983).

Las mezclas diseñadas para la presente investigación se realizaron como el ejemplo anterior, se generó una hoja de cálculo para hacer más prácticos los cálculos, modificando los datos variables como lo es la humedad de los agregados.

3.6 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES Y PRUEBAS

Los especímenes y pruebas se realizaron en el laboratorio de construcción de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, todas las actividades se llevaron a cabo de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004 denominada “Elaboración y curado de especímenes en laboratorio”.

3.6.1 REALIZACIÓN DE LAS MEZCLAS

La fabricación de las mezclas se hizo de acuerdo al diseño mencionado en el apartado anterior, para garantizar la calidad del concreto elaborado se cuidaron los siguientes aspectos:

Determinación de la humedad en los agregados.

Se determinó la humedad presente en los agregados antes de elaborar cada una de las mezclas, haciendo más exacta la cantidad de agua adicionada al concreto, de acuerdo con lo enunciado en la norma NMX-C-166- 0NNCCE-2006.

Dosificación por volumen absoluto.

La dosificación de las mezclas se hizo por tomando en cuenta los pesos y los volúmenes absolutos, lo que nos brindaba mayor exactitud en las cantidades de los componentes calculadas y con ello se eliminaron los posibles errores o diferencias en los concretos.

Proceso de mezclado.

El proceso de mezclado con el fin de garantizar la homogeneidad del concreto se hizo mediante una revolvedora eléctrica propiedad de la universidad, cuidando que las condiciones fueran las mismas para todos los concretos realizados.



Ilustración 6 Materiales y equipo para la elaboración de concreto en laboratorio (UAA, 2016)

3.6.2 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Revenimiento

Esta prueba tiene como finalidad determinar la manejabilidad y/o fluidez del concreto, misma que podemos definir como la facilidad para manipular, y compactar las mezclas de concreto antes de su fraguado (IMCYC, 2007).

Para garantizar que una mezcla tiene la manejabilidad adecuada el valor que arroje esta prueba tiene que estar dentro de un rango establecido de acuerdo con el valor de revenimiento de proyecto, a continuación se muestra un breve resumen del proceso experimental, para acceder a la información completa de la prueba se puede consultar la norma: NMX-C-472-2013.

Descripción de la prueba

Herramientas:

- Cono de revenimiento, metálico con una altura de 30 cm, un diámetro inferior de 20 cm y un diámetro superior de 10 cm.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 60 cm de largo y 16 mm de diámetro.
- Placa para prueba de revenimiento de 50 cm x 50 cm.

Procedimiento:

1. Se limpia el cono y la placa con agua, una vez limpios se coloca el cono sobre la placa misma que deberá estar a nivel, y firmemente apoyada.
2. Se obtiene la muestra de concreto fresco a la que se le hará la prueba, la cual deberá de ser representativa de la cantidad total de concreto elaborado.
3. Se deberá sujetar el cono firmemente con los pies y se procederá a su llenado con la mezcla hasta 1/3 de su altura, al tener la mezcla hasta ese nivel, se procederá a compactar con la varilla sumergiéndola 25 veces en concreto, siempre en diferentes sitios siguiendo un patrón de compactación.
4. Se llena el cono con concreto hasta 2/3 de su altura y se repite la compactación con la varilla.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
5. Después del paso anterior se llena el cono hasta que comience a desparramarse y se compacta nuevamente con la varilla.
 6. Una vez con el cono lleno se procede a enrazar la superficie de la mezcla albergada en él, se retira el excedente de concreto para que este caiga hacia los lados, todo esto sin dejar de sujetar el cono.
 7. Se levanta el cono cuidadosamente dejando al descubierto la mezcla que contenida, este movimiento se deberá hacer en un lapso de 3 a 5 segundos.
 8. Se coloca el cono al revés y se mide la diferencia de altura entre el cono y la mezcla, este dato es nuestro revenimiento, se toman varias medidas y se saca un promedio



Ilustración 7 Llenado de cono de revenimiento con mezcla elaborada para la presente investigación (UAA, 2016)



Ilustración 8 Compactado por varillado (UAA, 2016)



Ilustración 9 Retiro del cono para la medición del revenimiento (UAA, 2016).



Ilustración 10 Medición del revenimiento en centímetros (UAA, 2016).

Tiempo de Fraguado

El tiempo de fraguado de las mezclas de concreto es un parámetro que determina en cuánto tiempo el concreto pasa de estado fresco a estado endurecido, este dato es útil para la valorar los efectos de algunas variables en el concreto, como lo pueden ser el tipo de cemento, temperatura, efectos de los aditivos acelerantes y retardantes, en esta investigación se realizó esta prueba para ver de qué manera se modificaba el fraguado del concreto al usar agua tratada en su mezclado, a continuación se muestra un breve resumen el proceso experimental, para acceder a la información completa de la prueba se puede consultar la norma: NMX-C-177-1997 ONNCCE.

Descripción de la prueba

Herramientas:

- Recipiente para la mezcla
- Pipeta
- Termómetro y cronómetro
- Penetrómetro
- Varilla punta de bala

Procedimiento:

1. Se selecciona una muestra de concreto en estado fresco, misma que deberá ser representativa de la mezcla, de dicha muestra solo utilizaremos el mortero, es decir el material que pasa de la malla No. 4, por lo que cribaremos la muestra.
2. El material obtenido de la criba se vierte en un recipiente no absorbente y con volumen suficiente para llenarse del mortero hasta una altura mínima de 140 mm.
3. Se compacta el mortero mediante la varilla punta de bala, se hará una penetración por cada 6 cm² de superficie expuesta de la mezcla contenida, al terminar las penetraciones, se le dan un ligero golpeteo en las paredes del mismo con la varilla para eliminar por completo los vacíos, después de la compactación la superficie de mortero deberá quedar 10 mm por debajo del borde del recipiente, esto con el fin de que se tenga espacio para eliminar el agua de sangrado.
4. Después de transcurridas 2 o 3 horas de la realización de la mezcla, se procede a eliminar el agua de sangrado que contenga la muestra de mortero, así mismo se

coloca en el penetrómetro una aguja del grosor adecuado de acuerdo al nivel de endurecimiento que presente la muestra y se procede a hacer la penetración, cuando la aguja toque la superficie de la mezcla se inicia a aplicar la fuerza al penetrómetro de manera constante hasta que se tenga una penetración de 25 mm, todo esto en un lapso de aproximadamente 10 segundos.

5. Se registra la fuerza requerida para la penetración y el tiempo transcurrido desde que se realizó la mezcla y se hizo la medición registrada, así como la temperatura ambiental y del mortero al momento de la penetración en cuestión.
6. Se repiten los dos pasos anteriores en intervalos de tiempos definidos, cada hora por ejemplo, así mismo se modifica el diámetro de las aguja de acuerdo al endurecimiento que tenga el mortero, las penetraciones se hacen cuidando que la distancia entre ellas sea por lo menos dos veces el diámetro de la aguja con la que se penetrara, se deberán hacer por lo menos 6 penetraciones por muestra, hasta que la fuerza calculada sea mayor a 27451 kPa (280 kg/cm^2), que indica que ya se tiene el fraguado final en el mortero.
7. Con los datos obtenidos se calculan que fuerzas se necesitaron para las penetraciones en Kg/cm^2 usando para ello la lectura del penetrómetro y el diámetro de la aguja utilizada, con dichos datos se realiza una gráfica y se interpola para calcular los tiempos en los que la muestra tuvo una resistencia a la penetración de 35 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , correspondientes al fraguado inicial y final del concreto respectivamente, los tiempos obtenidos por interpolación serán los tiempos de fraguado inicial y final de la muestra.



Ilustración 11 Penetrómetro junto con muestra de mortero (UAA, 2016)



Ilustración 12 Algunas de las muestras donde se midió el tiempo de fraguado (UAA, 2016).

3.6.3 FABRICACIÓN DE ESPECÍMENES

Cilindros

Los especímenes cilíndricos elaborados para esta investigación fueron de las medidas tradicionales con un diámetro constante de 15 centímetros y una altura de 30 centímetros, estos elementos se ensayaron para determinar la resistencia a la compresión de los concreto elaborados.

Herramientas:

- Molde cilíndrico, metálico de 15 cm de diámetro y una altura de 30 cm.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 60 cm de largo y 16 mm de diámetro.
- Marro de goma.

Procedimiento:

1. Se limpian los moldes metálicos y se les coloca desmoldante en la superficie que tendrá contacto con la mezcla, para comenzar la prueba se colocan en un lugar firme y nivelado.
2. Se obtiene la muestra de concreto fresco a la que se le hará la prueba, la cual deberá de ser representativa de la cantidad total de concreto elaborado.
3. Se procederá a su llenado con la mezcla hasta 1/3 de su altura, al tener la mezcla hasta ese nivel, se compactará con la varilla sumergiéndola 25 veces en concreto, siempre en diferentes sitios siguiendo un patrón de compactación.
4. Se llena el cilindro con concreto hasta 2/3 de su altura y se repite la compactación con la varilla, del mismo modo se golpea ligeramente el molde con el marro de goma con el fin de eliminar vacíos.
5. Después del paso anterior se llena el cilindro hasta el borde del molde y se compacta nuevamente con la varilla.
6. Una vez con el cilindro lleno se procede a enrazar la superficie de la mezcla albergada en él, se retira el excedente de concreto.
7. Para finalizar se coloca algún rotulo para identificar el cilindro y se cubre la superficie con una membrana plástica para que no pierda humedad hasta el momento que sea descimbrado.
8. Pasadas las 24 horas se descimbra y se traslada al sitio donde se realizará el proceso de curado del espécimen, puede ser un cuarto de curado o una pileta.



Ilustración 13 Cilindro de la primera muestra realizada para la presente investigación (UAA, 2016).

Vigas

Los especímenes prismáticos elaborados para esta investigación (vigas) fueron de las siguientes medidas 15 centímetros de ancho, 15 centímetros de alto y 60 centímetros de largo, estos elementos se ensayaron para determinar la resistencia a la flexión de las mezclas de concreto elaboradas.

Herramientas:

- Molde metálico de sección de 15 x 15 cm y 60 cm de longitud.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 60 cm de largo y 16 mm de diámetro.
- Marro de goma.

Procedimiento:

1. Se limpian los moldes metálicos y se les coloca desmoldante en la superficie que tendrá contacto con la mezcla, para comenzar la prueba se colocan en un lugar firme y nivelado.
2. Se obtiene la muestra de concreto fresco a la que se le hará la prueba, la cual deberá de ser representativa de la cantidad total de concreto elaborado.
3. Se procederá a su llenado con la mezcla hasta 1/2 de su altura, al tener la mezcla hasta ese nivel, se compactará con la varilla sumergiéndola 25 veces en concreto, siempre en diferentes sitios siguiendo un patrón de compactación.
4. Después del paso anterior se llena el molde hasta el borde del molde y se compacta nuevamente con la varilla.
5. Una vez con el cilindro lleno se procede a enrazar la superficie de la mezcla albergada en él, se retira el excedente de concreto.
6. Para finalizar se coloca algún rótulo para identificar la viga y se cubre la superficie con una membrana plástica para que no pierda humedad hasta el momento que sea descimbrado.
7. Pasadas las 24 horas se descimbra y se traslada al sitio donde se realizará el proceso de curado del espécimen, puede ser un cuarto de curado o una pileta.



Ilustración 14 Especímenes en el cuarto de curado de la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA, 2016).

Discos para abrasión

Los especímenes denominados “discos” elaborados para esta investigación fueron cilíndricos de las siguientes medidas: un diámetro constante de 15 centímetros y una altura de 15 centímetros, estos elementos se ensayaron para determinar la resistencia a la abrasión de los concretos elaborados.

Herramientas:

- Molde plástico desechable, cilíndrico de 15 cm de diámetro y una altura de 15 cm.
- Cucharón.
- Varilla punta de bala de 60 cm de largo y 16 mm de diámetro.
- Marro de goma.

Procedimiento:

1. Se limpian los moldes plásticos y se les coloca desmoldante en la superficie que tendrá contacto con la mezcla, para comenzar la prueba se colocan en un lugar firme y nivelado.
2. Se obtiene la muestra de concreto fresco a la que se le hará la prueba, la cual deberá de ser representativa de la cantidad total de concreto elaborado.
3. Se procederá a su llenado con la mezcla hasta 1/2 de su altura, al tener la mezcla hasta ese nivel, se compactará con la varilla sumergiéndola 25 veces en concreto, siempre en diferentes sitios siguiendo un patrón de compactación.
4. Después del paso anterior se llena el molde cilíndrico hasta el borde y se compacta nuevamente con la varilla.
5. Una vez con el molde lleno se procede a enrazar la superficie de la mezcla albergada en él, se retira el excedente de concreto.
6. Para finalizar se coloca algún rotulo para identificar el espécimen y se cubre la superficie con una membrana plástica para que no pierda humedad hasta el momento que sea descimbrado.
7. Pasadas las 24 horas se descimbra y se traslada al sitio donde se realizará el proceso de curado del espécimen, puede ser un cuarto de curado o una pileta.



Ilustración 15 Espécimen elaborado para las pruebas de abrasión (UAA, 2016).

3.6.4 PRUEBAS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión es un parámetro que indica el desempeño estructural de los concretos, es sin duda una de las pruebas más comúnmente realizadas por los ingenieros, estas pruebas se realizan a los especímenes cilíndricos mencionados anteriormente.

Los resultados en este tipo de pruebas tienen varios usos, desde valorar el funcionamiento estructural, o programar actividades en obra como el descimbrado de elementos de concreto (IMCYC, 2008), a continuación se muestra un breve resumen el proceso experimental, para acceder a la información completa de la prueba se puede consultar la norma: NMX-C-083-ONNCCE 2002.

Herramientas:

- Báscula.
- Compás de punta.
- Estufa.
- Prensa hidráulica para especímenes de concreto.
- Flexómetro

Procedimiento:

1. Se dimensiona el espécimen de concreto a ensayar, se determinan el diámetro y la altura, mediante la mediante dos o más mediciones (con ayuda del compás), de dichas magnitudes las cuales se promediarán, se registran las medidas con aproximación de 1 mm.
2. Se pesa el cilindro con una aproximación de 50 gramos.
3. Se pone a calentar azufre en grano en la estufa, ya que al derretirse este material será usado para cabecear el espécimen, por ambas caras circulares, esto se hace con el fin de nivelar dichas caras y garantizar que la fuerza aplicada se distribuirá uniformemente.

4. Una vez con el cilindro cabeceado se espera que el azufre adquiera la resistencia necesaria para que se aplique la carga, cuando esto sucede se coloca el cilindro en la prensa y se aplica la carga la cual deberá ser aplicada con una velocidad constante dentro de un rango que va de 2.4 kN/s a 6.0 kN/s, hasta que el cilindro muestre la falla.
5. Cuando se observe la falla, se deja de aplicar la carga, se retira el cilindro de la prensa y se registra la carga máxima que soportó el espécimen, con este dato y el área de la cara circular se calcula la resistencia a la compresión en Kg/cm^2 .



Ilustración 16 Cilindro en ensayo de compresión (UAA, 2016).

FLEXIÓN

La resistencia a la flexión en el concreto es un indicador del funcionamiento estructural del mismo, estas pruebas se realizan a los especímenes prismáticos denominados vigas MR mencionadas anteriormente, a continuación se muestra un breve resumen el proceso experimental, para acceder a la información completa de la prueba se puede consultar la norma: NMX-C-191-ONNCCE-2004.

Herramientas:

- Báscula.
- Prensa hidráulica para especímenes de concreto, compatible con vigas.
- Flexómetro

Procedimiento:

1. Se procede a medir la viga para determinar su ancho, alto y largo, así mismo se determina su peso.
2. Se marcan en la viga las divisiones correspondientes a tres partes iguales, ya que servirán como guía para la aplicación de la carga, esta se aplicará en el tercio medio.

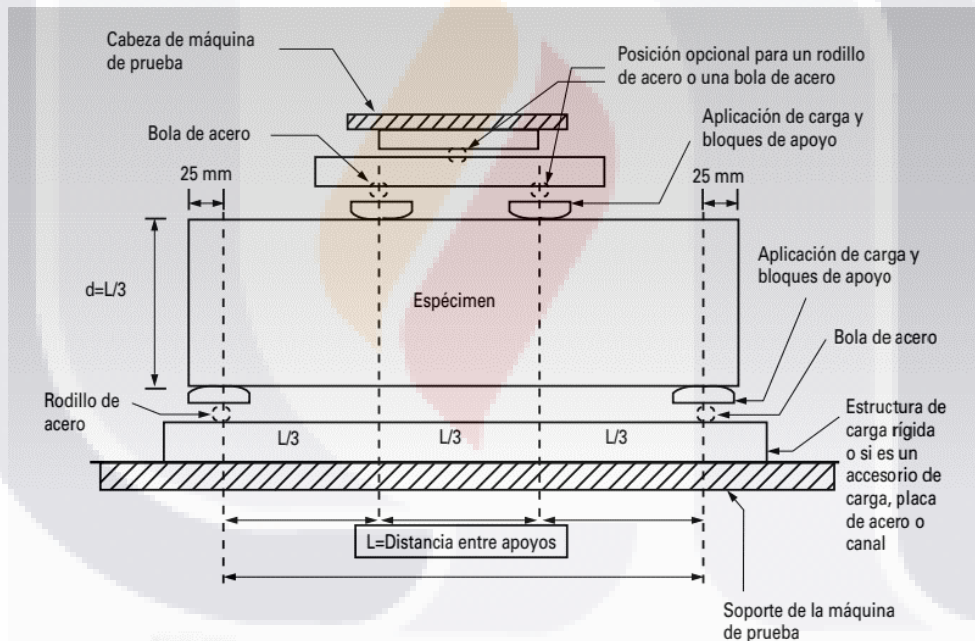


Ilustración 17 Modo de colocación de las vigas para la prueba de flexión (IMCYC, 2008).

3. Se coloca la probeta en la prensa, alineándola correctamente para la aplicación de la carga, y con una de las caras laterales hacia arriba, respecto a su posición de moldeado.
4. Se inicia la aplicación de la carga de manera uniforme y de tal manera que no exceda de 10 kPa/min o 10 kgf/cm^2 por minuto.

5. Al momento de tener la falla en la viga se registra la carga máxima soportada (P) expresada en kg.
6. Con las dimensiones del espécimen y la carga máxima aplicada se calcula el módulo de ruptura siguiendo las siguientes especificaciones:

- Si la falla se produce en el tercio medio de la viga el MR se calcula con la siguiente expresión:

$$R = (PxL) / (bd^2)$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, en kPa (kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada en N (kgf)

L = Distancia entre apoyos, en cm.

b = Ancho promedio del espécimen, en cm.

d = Peralte promedio del espécimen, en cm.

- Si la falla se produce fuera del tercio medio de la viga el MR se calcula con la siguiente fórmula:

$$R = (3Pa) / (bd^2)$$

Donde:

R = Módulo de ruptura, en kPa (kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada en N (kgf)

a = Distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano.

b = Ancho promedio del espécimen, en cm.

d = Peralte promedio del espécimen, en cm.



Ilustración 18 Viga ensayada a flexión (UAA, 2016).



Ilustración 19 Viga después del ensayo a flexión con su línea de falla (UAA, 2016).

ABRASIÓN

Los concretos utilizados en pisos están sometidos el tráfico de personas o vehículos, mismo que en menor o mayor medida produce abrasión sobre la superficie de las losas, la resistencia a la abrasión de este tipo de concretos es un factor muy importante al hablar de la durabilidad, no es una prueba de las más comunes pero es un parámetro interesante a evaluar en concretos con componentes diferentes a los tradicionales, a continuación se muestra un breve resumen el proceso experimental, para acceder a la información completa de la prueba se puede consultar la norma: ASTM-C-944-90.

Herramientas:

- Báscula.
- Máquina para abrasión.

Procedimiento:

1. Se sacan las muestras del cuarto de curado y se secan superficialmente con ayuda de una franela.
2. Se determina la masa del espécimen con una aproximación de 0.1 gr.
3. Se coloca el disco de concreto en el aparato para la prueba, se nivela para asegurar que la abrasión se aplique de manera perpendicular al mismo y se fija.
4. Se enciende la máquina y se pone el cortador rotatorio en contacto con la superficie del espécimen.
5. Se continúa con la abrasión de la muestra de manera constante durante 2 minutos.
6. Al término del tiempo indicado se apaga la máquina, se retira el disco de concreto, para pesarlo nuevamente, antes de pesarlo se retira el polvo generado por la abrasión en sus superficie, con ayuda de una brocha o compresor de aire.
7. Se determinan los gramos perdidos durante la prueba.



Ilustración 20 Realización de prueba de abrasión a espécimen elaborado en la presente investigación (UAA, 2016).



Ilustración 21 Especimen después de la prueba de abrasión (UAA, 2016).

3.6.5 PRUEBAS AL AGUA DE MEZCLADO

Para llevar a cabo la comparación de la composición físico-químicas de la agua tratada y los límites permisibles señalados en la norma de agua para concreto, se efectuaron análisis al agua tratada que se usó para realizar el mezclado de concreto, las pruebas se llevaron a cabo de acuerdo a la norma NOM-127-SSA1-1994, y se determinaron las siguientes concentraciones:

- Sólidos en suspensión.
- Cloruros.
- Sulfatos.
- Magnesio.
- Carbonatos.
- Impurezas en solución.
- Grasas o aceites.
- Materia Orgánica.
- Potencial de Hidrógeno.



Ilustración 22 Muestra de agua tratada recolectada en la planta para su análisis (UAA, 2016).



CAPÍTULO 4:
RESULTADOS

4.1 COMPRESIÓN

Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión fueron los siguientes:

Mezclas del primer periodo ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 1 | POTABLE | 150 | 67.19 | 86.13 | 100.21 | 114.63 |
| 2 | PTAR MIRADORES | | 71.01 | 83.67 | 97.00 | 106.58 |
| 3 | PTAR LA QUERENCIA | | 69.55 | 83.29 | 96.80 | 107.55 |

Tabla 21 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del primer periodo.

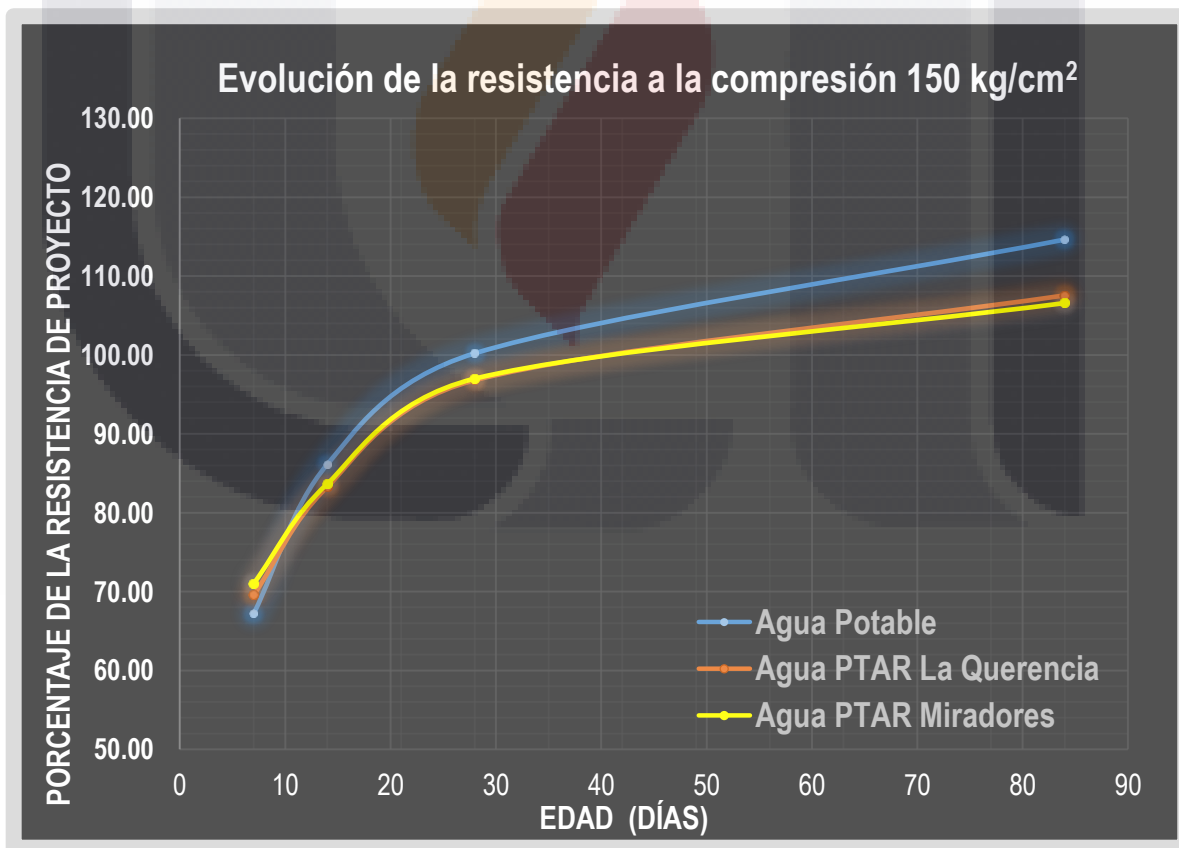


Gráfico 6 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del primer periodo.

Mezclas del primer periodo ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 1 | POTABLE | 250 | 70.57 | 81.12 | 106.23 | 112.59 |
| 2 | PTAR MIRADORES | | 74.70 | 83.15 | 100.88 | 107.66 |
| 3 | PTAR LA QUERENCIA | | 73.10 | 85.50 | 97.28 | 103.98 |

Tabla 22 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del primer periodo.

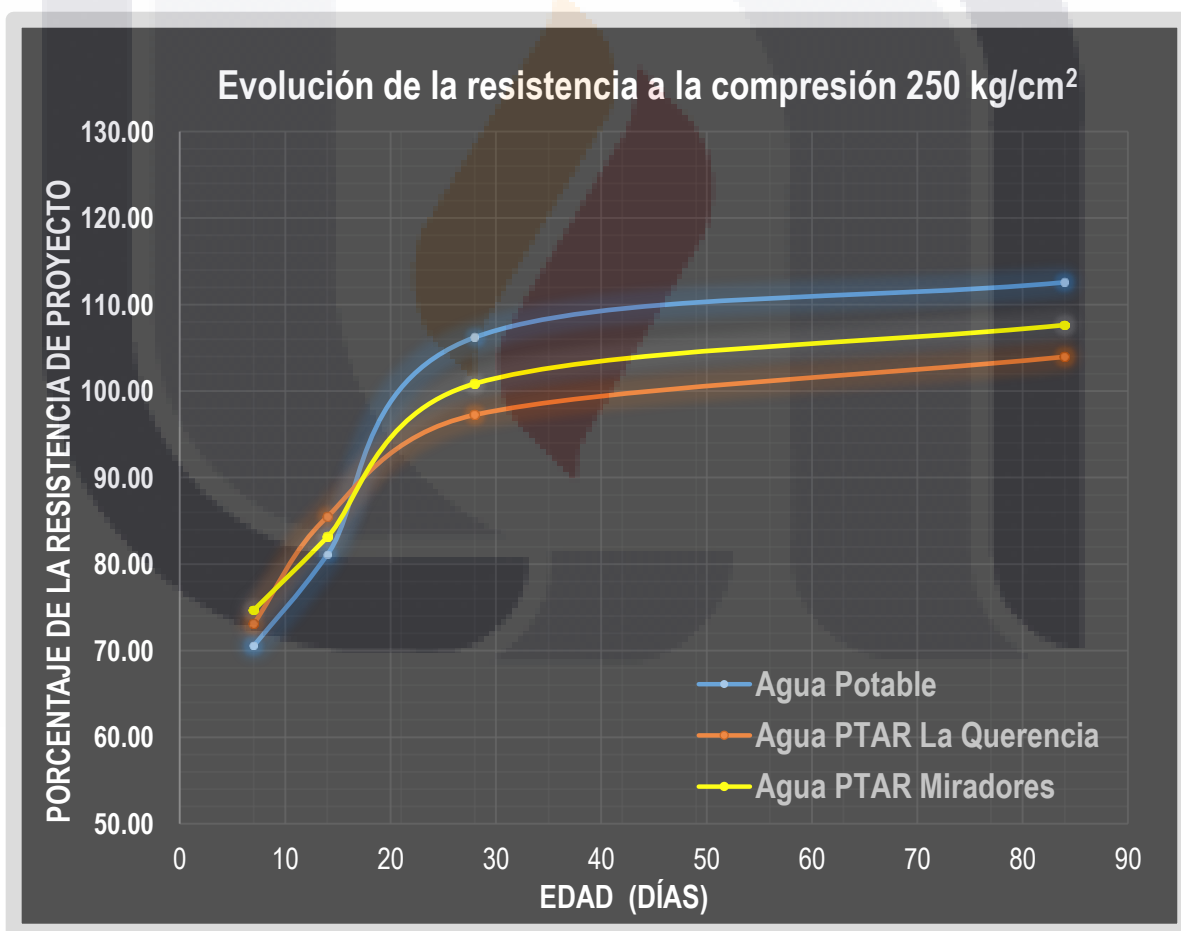


Gráfico 7 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del primer periodo.

Mezclas del segundo periodo ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 4 | POTABLE | 150 | 68.25 | 84.62 | 101.56 | 112.09 |
| 5 | PTAR MIRADORES | | 70.48 | 87.91 | 103.30 | 112.00 |
| 6 | PTAR LA QUERENCIA | | 68.10 | 86.97 | 102.60 | 105.11 |

Tabla 23 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del segundo periodo.

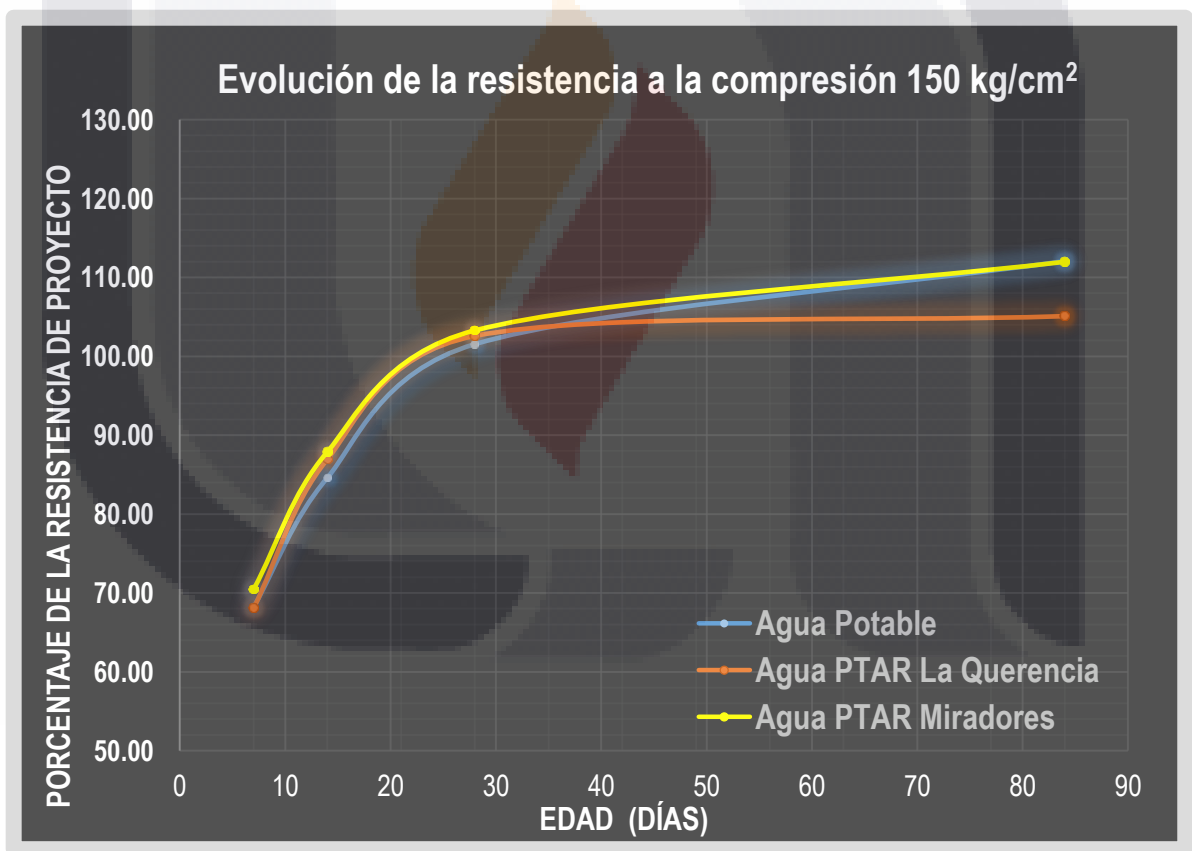


Gráfico 8 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del segundo periodo.

Mezclas del segundo periodo ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 4 | POTABLE | 250 | 67.25 | 84.25 | 103.39 | 108.23 |
| 5 | PTAR MIRADORES | | 70.60 | 81.11 | 97.64 | 101.98 |
| 6 | PTAR LA QUERENCIA | | 69.73 | 81.26 | 94.56 | 100.47 |

Tabla 24 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del segundo periodo.

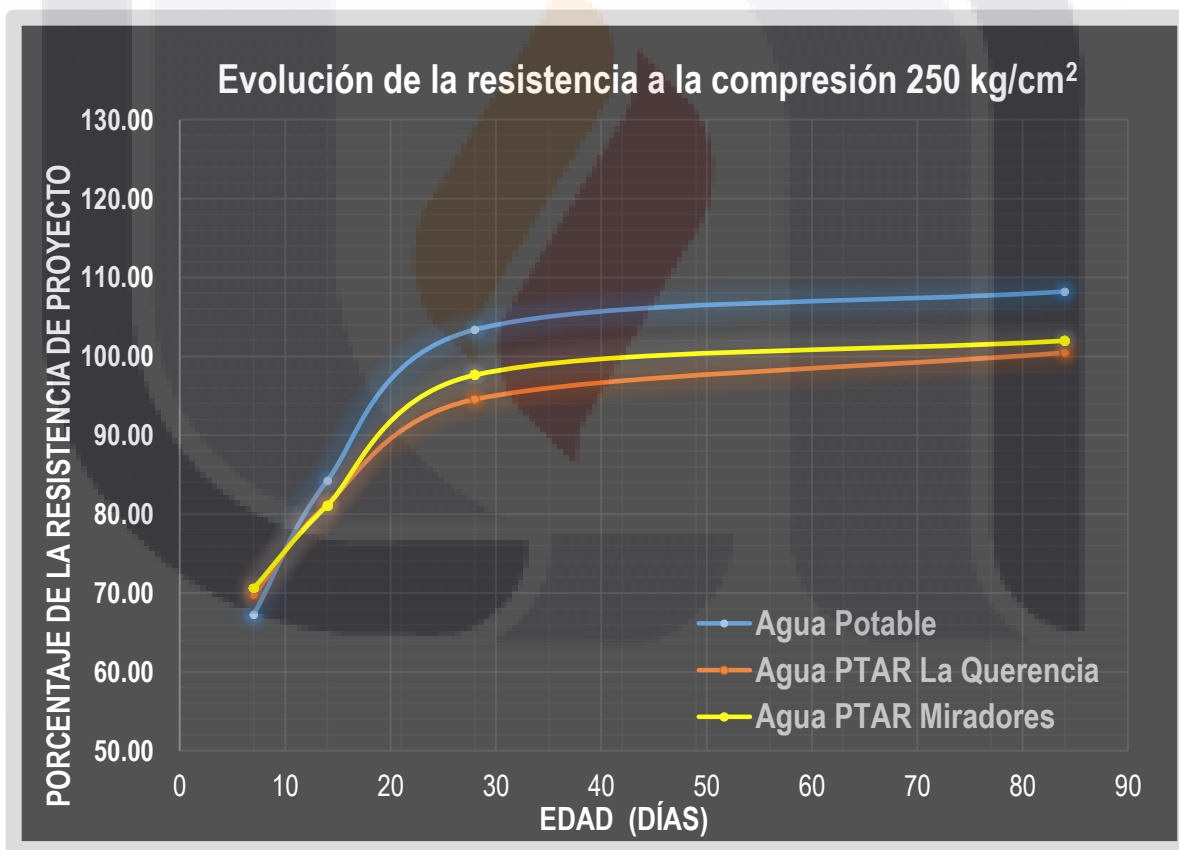


Gráfico 9 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del segundo periodo.

Mezclas del tercer periodo ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 7 | POTABLE | 150 | 69.45 | 85.89 | 103.12 | 116.32 |
| 8 | PTAR MIRADORES | | 69.62 | 83.20 | 97.08 | 111.16 |
| 9 | PTAR LA QUERENCIA | | 73.90 | 88.07 | 101.38 | 108.01 |

Tabla 25 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del tercer periodo.

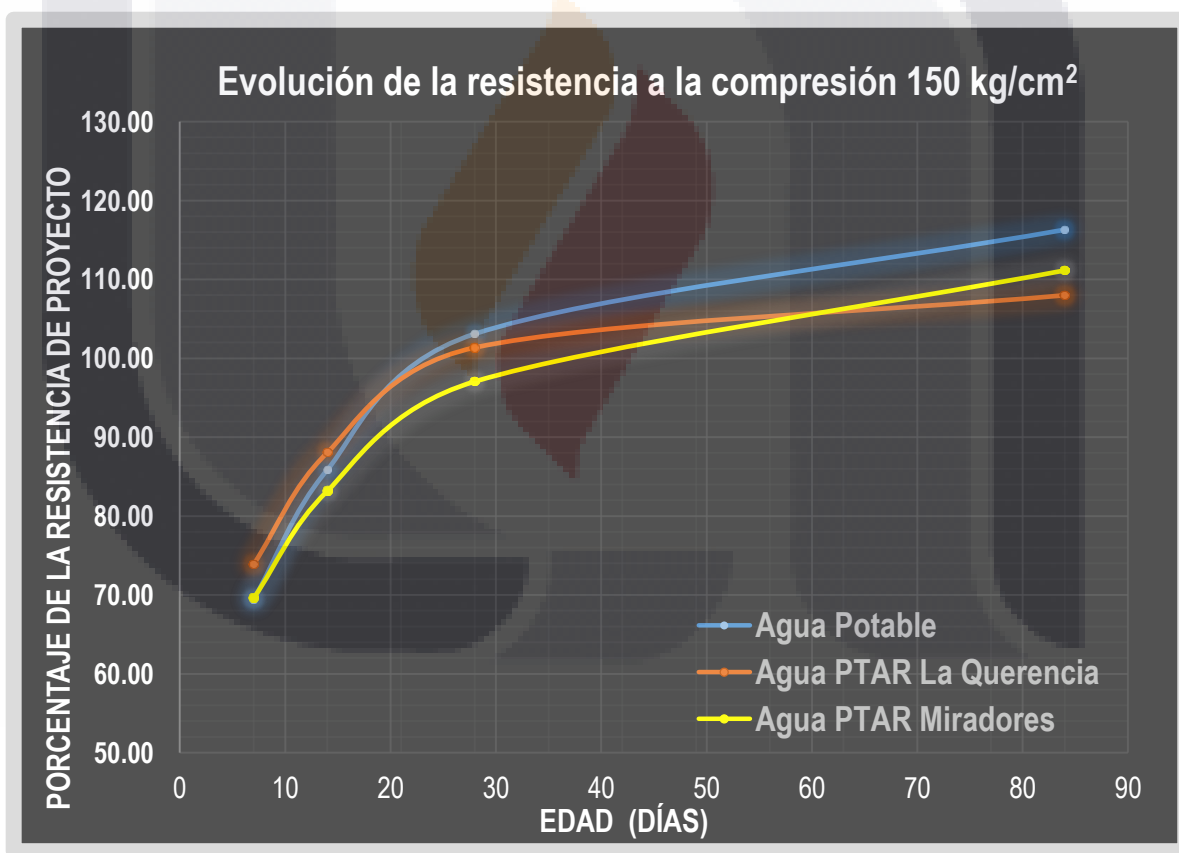


Gráfico 10 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del tercer periodo.

Mezclas del tercer periodo ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 7 | POTABLE | 250 | 71.67 | 85.99 | 103.96 | 109.10 |
| 8 | PTAR MIRADORES | | 76.21 | 86.20 | 100.93 | 106.17 |
| 9 | PTAR LA QUERENCIA | | 67.92 | 82.06 | 101.37 | 102.56 |

Tabla 26 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del tercer periodo.

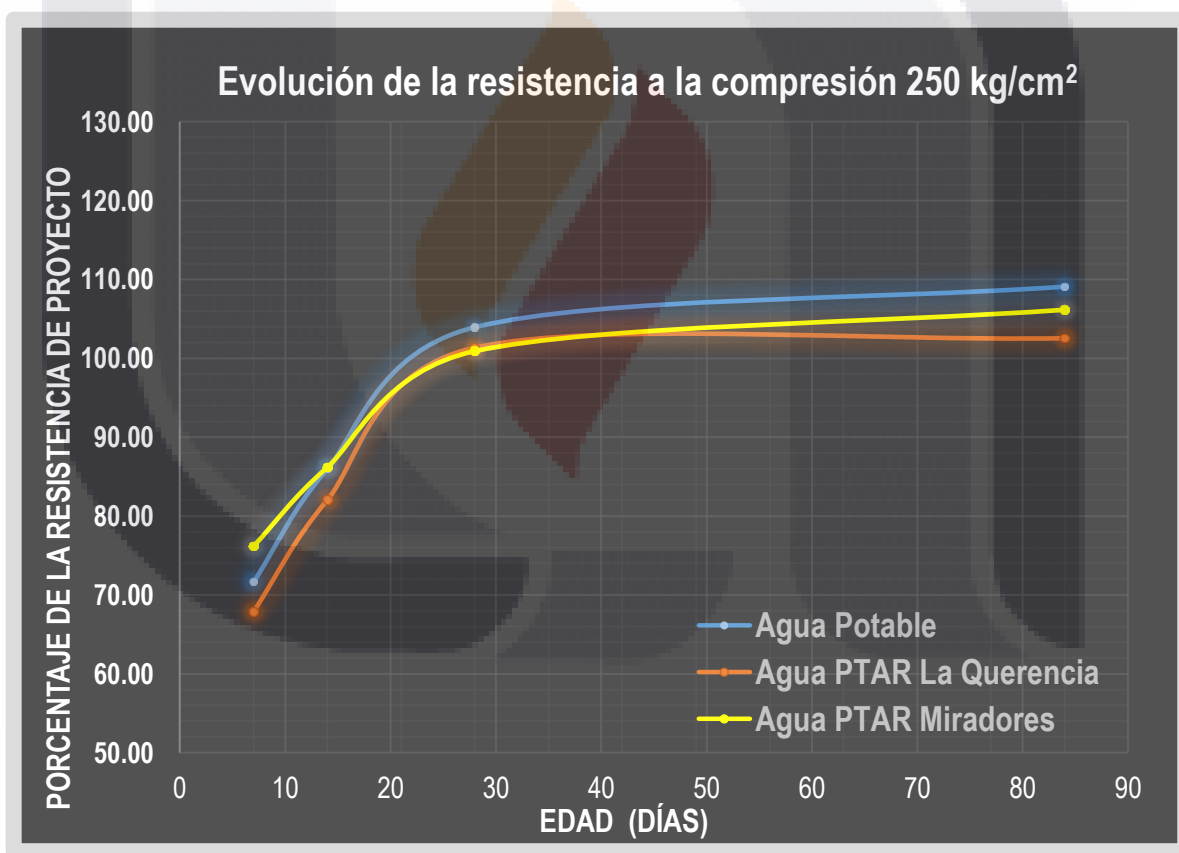


Gráfico 11 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del tercer periodo.

Mezclas del cuarto periodo ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 10 | POTABLE | 150 | 65.08 | 86.32 | 105.53 | 118.41 |
| 11 | PTAR MIRADORES | | 74.39 | 84.16 | 101.82 | 112.43 |
| 12 | PTAR LA QUERENCIA | | 70.87 | 89.96 | 102.92 | 109.72 |

Tabla 27 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del cuarto periodo.

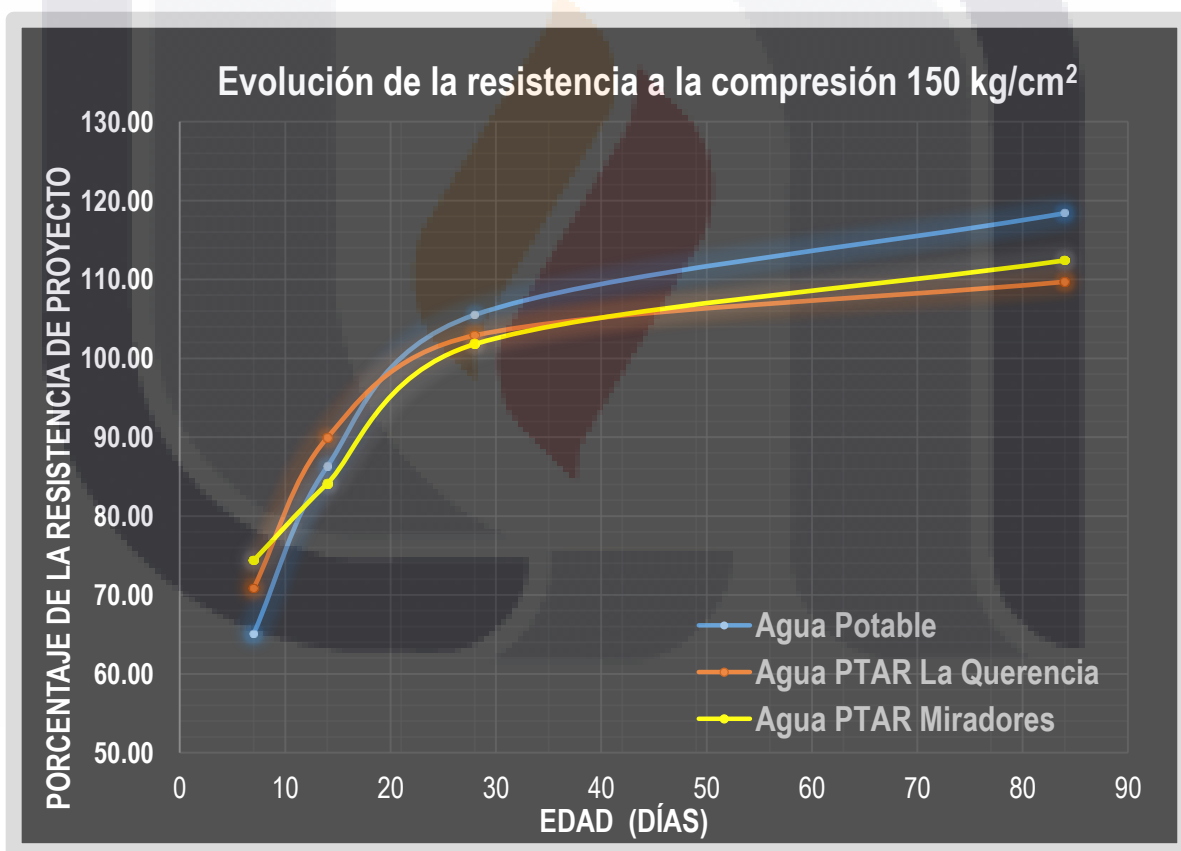


Gráfico 12 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del cuarto periodo.

Mezclas del cuarto periodo ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 10 | POTABLE | 250 | 68.65 | 79.86 | 104.58 | 110.92 |
| 11 | PTAR MIRADORES | | 71.49 | 84.50 | 96.65 | 103.46 |
| 12 | PTAR LA QUERENCIA | | 72.84 | 84.81 | 98.20 | 104.86 |

Tabla 28 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del cuarto periodo.

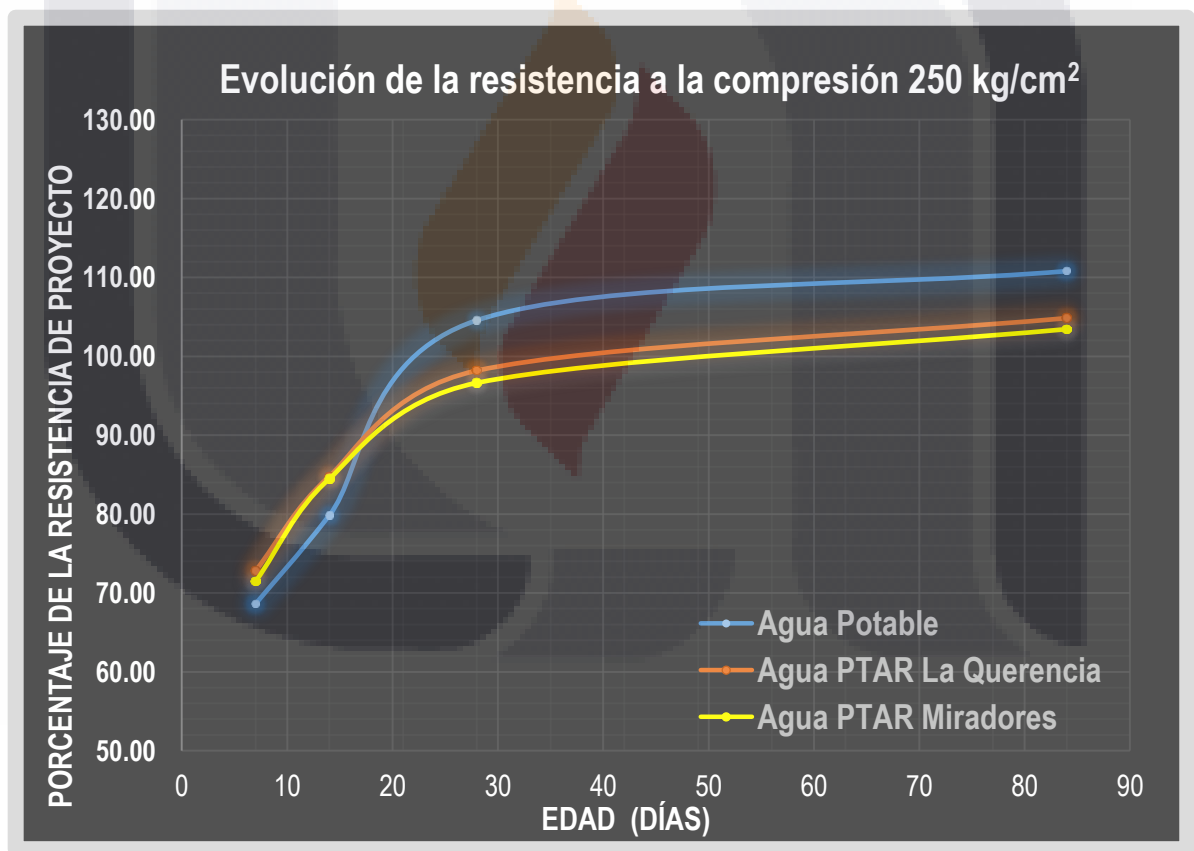


Gráfico 13 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del cuarto periodo.

Mezclas del quinto periodo ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 13 | POTABLE | 150 | 66.24 | 80.49 | 103.88 | 113.15 |
| 14 | PTAR MIRADORES | | 68.54 | 87.52 | 96.76 | 109.48 |
| 15 | PTAR LA QUERENCIA | | 68.64 | 84.53 | 96.74 | 104.79 |

Tabla 29 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del quinto periodo.

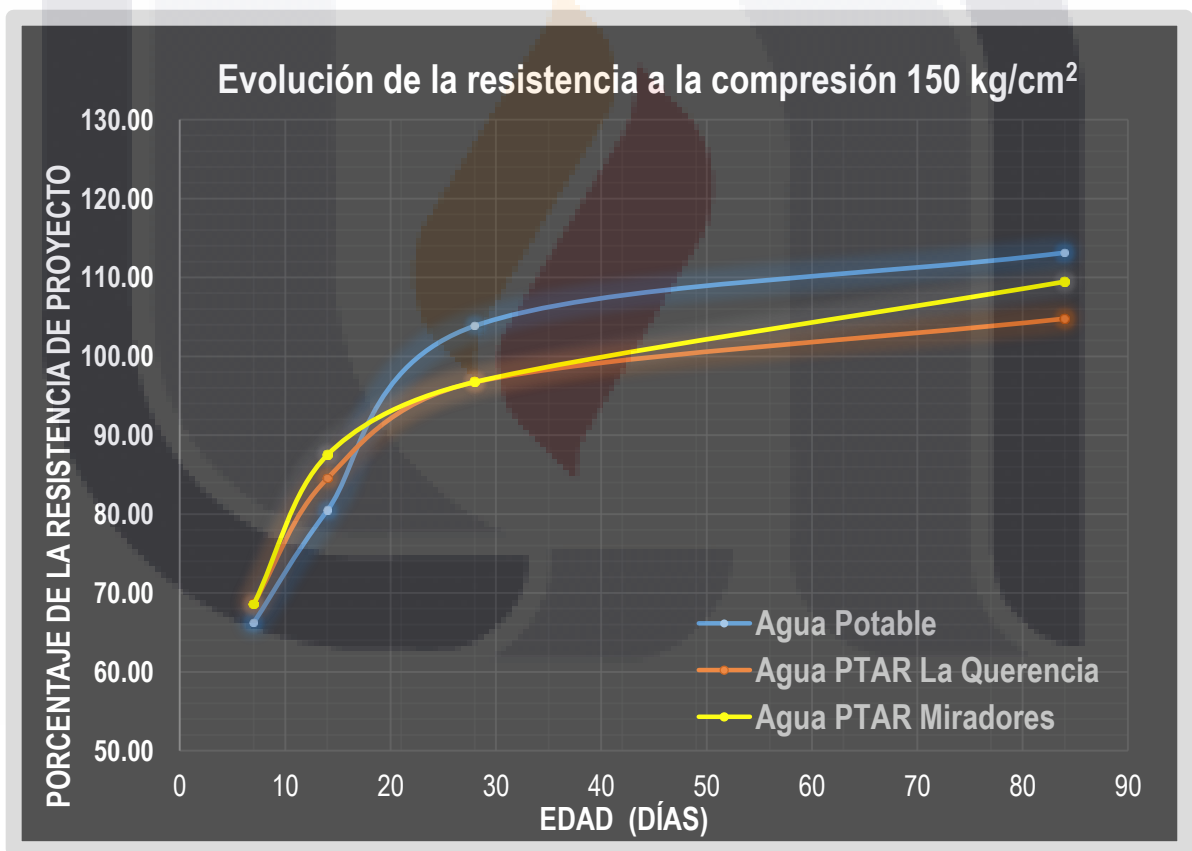


Gráfico 14 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$ del quinto periodo.

Mezclas del quinto periodo ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| 13 | POTABLE | 250 | 71.29 | 85.81 | 105.98 | 113.61 |
| 14 | PTAR MIRADORES | | 71.71 | 81.99 | 95.03 | 105.07 |
| 15 | PTAR LA QUERENCIA | | 67.20 | 80.42 | 96.71 | 101.23 |

Tabla 30 Resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del quinto periodo.

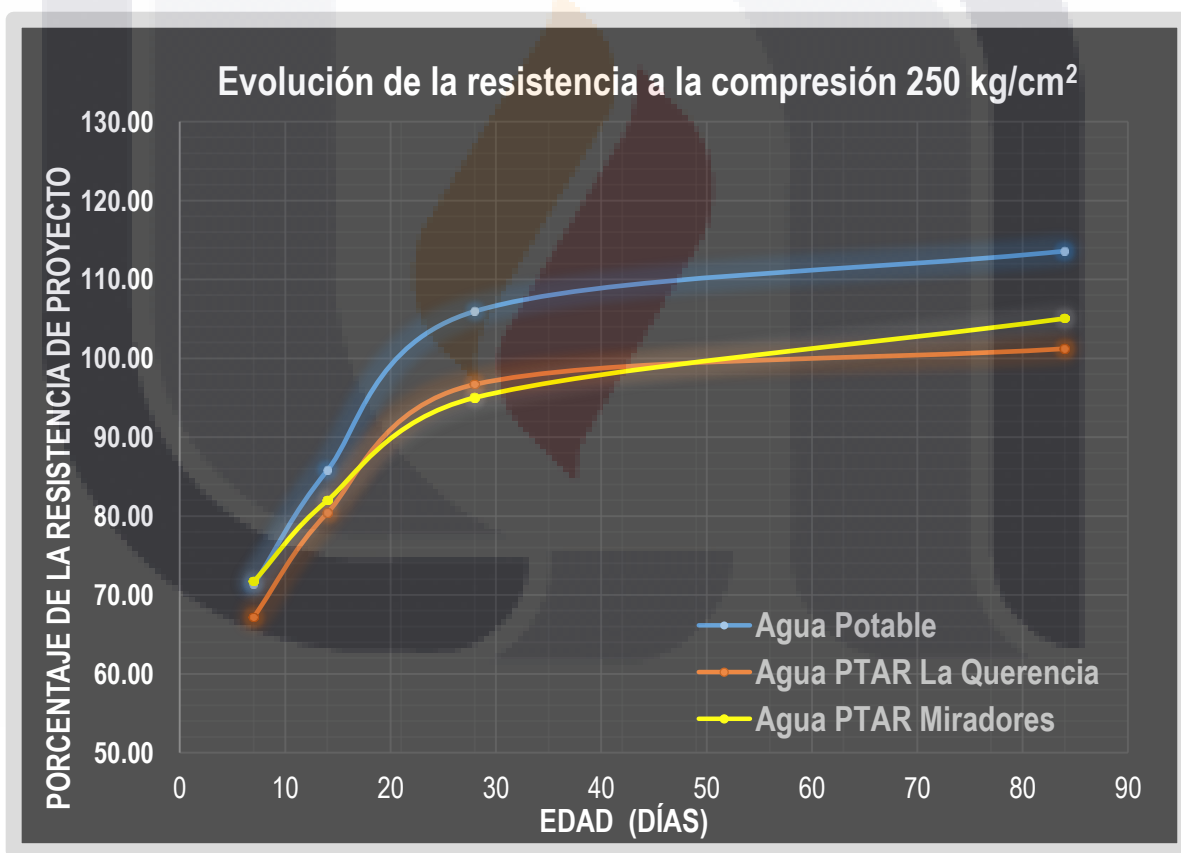


Gráfico 15 Evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$ del quinto periodo.

Promedio de los resultados ($f'c=150 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| - | POTABLE | 150 | 67.24 | 84.69 | 102.86 | 114.92 |
| - | PTAR MIRADORES | | 70.81 | 85.29 | 99.19 | 110.33 |
| - | PTAR LA QUERENCIA | | 70.21 | 86.56 | 100.09 | 107.04 |

Tabla 31 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$.

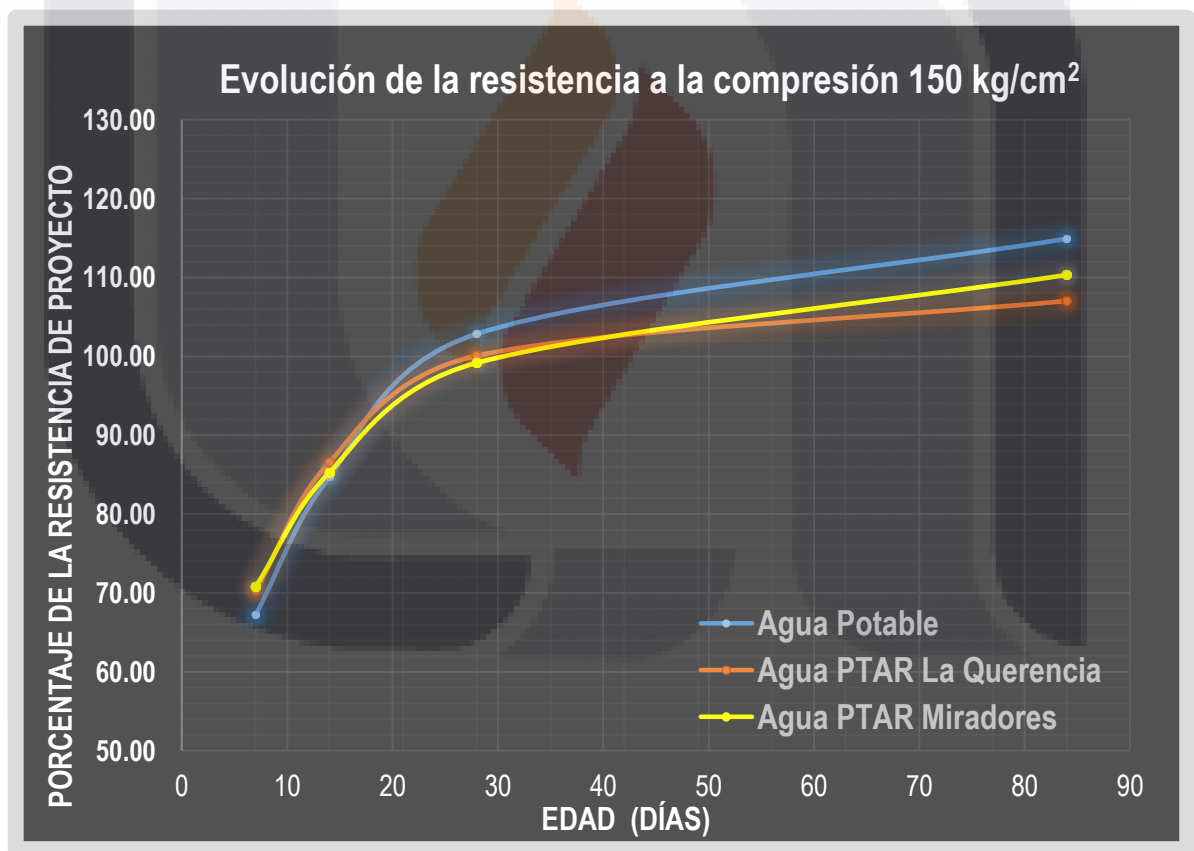


Gráfico 16 Promedio de la evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 150 \text{ kg/cm}^2$.

Promedio de los resultados ($f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$)

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | RESISTENCIA DE PROYECTO (Kg/cm^2) | EVOLUCIÓN DE LA RESISTENCIA (%) | | | |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|---------|---------|---------|
| | | | 7 DIAS | 14 DIAS | 28 DIAS | 84 DIAS |
| - | POTABLE | 250 | 69.89 | 83.41 | 104.83 | 110.87 |
| - | PTAR MIRADORES | | 72.94 | 83.39 | 98.23 | 104.87 |
| - | PTAR LA QUERENCIA | | 70.16 | 82.81 | 97.62 | 102.62 |

Tabla 32 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de compresión con muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$.

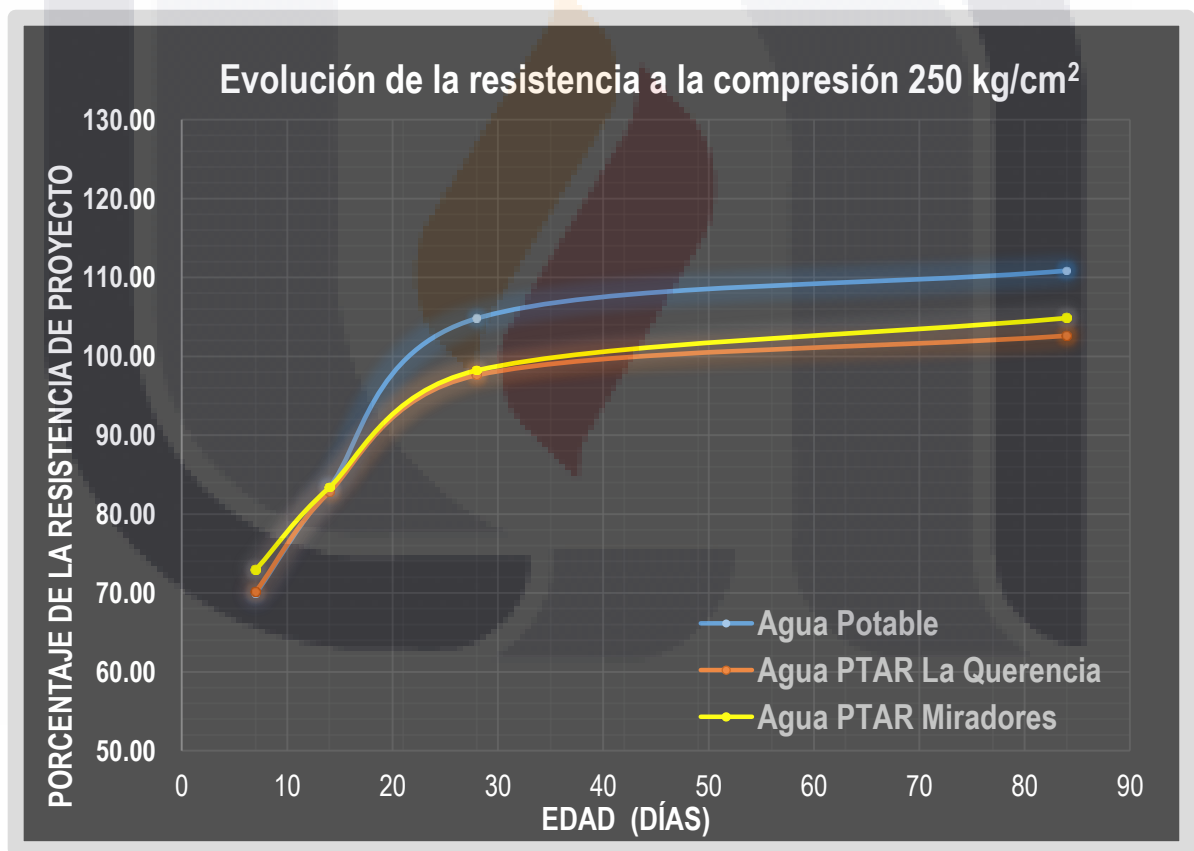


Gráfico 17 Promedio de la evolución de la resistencia a la compresión en muestras de $f'c= 250 \text{ kg/cm}^2$.

4.2 FLEXIÓN

En las pruebas de flexión se tuvieron los siguientes resultados:

Mezclas $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

| VIGA | AGUA EMPLEADA | PESO (KG) | ANCHO (MM) | ALTO (MM) | LONGITUD (MM) | CARGA (TON) | M.R. (Kg/cm ²) |
|--------|-------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-------------|----------------------------|
| 1-150 | POTABLE | 29.60 | 151 | 152 | 602 | 2.296 | 9.87 |
| 2-150 | PTAR MIRADORES | 29.55 | 153 | 152 | 600 | 2.051 | 8.70 |
| 3-150 | PTAR LA QUERENCIA | 28.80 | 150 | 151 | 600 | 2.316 | 10.16 |
| 4-150 | POTABLE | 29.40 | 152 | 150 | 601 | 2.4 | 10.53 |
| 5-150 | PTAR MIRADORES | 29.50 | 152 | 151 | 600 | 2.267 | 9.81 |
| 6-150 | PTAR LA QUERENCIA | 29.20 | 149 | 151 | 603 | 1.924 | 8.49 |
| 7-150 | POTABLE | 29.65 | 153 | 152 | 602 | 2.18 | 9.25 |
| 8-150 | PTAR MIRADORES | 28.80 | 150 | 151 | 600 | 2.01 | 8.82 |
| 11-150 | PTAR LA QUERENCIA | 28.55 | 155 | 150 | 601 | 2.334 | 10.04 |
| 9-150 | POTABLE | 29.35 | 153 | 152 | 600 | 2.005 | 9.51 |
| 10-150 | PTAR MIRADORES | 29.55 | 154 | 150 | 600 | 2.274 | 9.84 |
| 12-150 | PTAR LA QUERENCIA | 29.15 | 154 | 150 | 601 | 2.239 | 9.69 |
| 13-150 | POTABLE | 29.90 | 151 | 152 | 601 | 2.485 | 10.68 |
| 14-150 | PTAR MIRADORES | 28.85 | 150 | 151 | 600 | 2.284 | 10.02 |
| 15-150 | PTAR LA QUERENCIA | 29.10 | 152 | 150 | 600 | 2.217 | 9.72 |

Tabla 33 Resultados obtenidos en pruebas de Flexión con muestras de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | MR PROMEDIO (Kg/cm ²) |
|-------------------|-----------------------------------|
| AGUA POTABLE | 9.97 |
| PTAR MIRADORES | 9.44 |
| PTAR LA QUERENCIA | 9.62 |

Tabla 34 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de Flexión con muestras de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Mezclas $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

| VIGA | AGUA EMPLEADA | PESO (KG) | ANCHO (MM) | ALTO (MM) | LONGITUD (MM) | CARGA (TON) | M.R. (Kg/cm ²) |
|--------|-------------------|-----------|------------|-----------|---------------|-------------|----------------------------|
| 1-250 | POTABLE | 29.85 | 151 | 152 | 620 | 2.737 | 11.77 |
| 2-250 | PTAR MIRADORES | 30.30 | 153 | 151 | 600 | 2.638 | 11.34 |
| 3-250 | PTAR LA QUERENCIA | 29.65 | 153 | 150 | 601 | 2.537 | 11.05 |
| 4-250 | POTABLE | 29.95 | 151 | 152 | 600 | 2.673 | 11.49 |
| 5-250 | PTAR MIRADORES | 30 | 153 | 152 | 601 | 2.584 | 10.96 |
| 6-250 | PTAR LA QUERENCIA | 29.35 | 152 | 150 | 601 | 2.342 | 10.27 |
| 7-250 | POTABLE | 29.5 | 151 | 152 | 601 | 2.47 | 10.62 |
| 8-250 | PTAR MIRADORES | 29.65 | 153 | 150 | 601 | 2.617 | 11.40 |
| 11-250 | PTAR LA QUERENCIA | 29.1 | 152 | 151 | 600 | 2.624 | 11.36 |
| 9-250 | POTABLE | 29.5 | 152 | 152 | 601 | 2.429 | 10.37 |
| 10-250 | PTAR MIRADORES | 29.4 | 153 | 151 | 600 | 3.102 | 13.34 |
| 12-250 | PTAR LA QUERENCIA | 29.5 | 154 | 151 | 600 | 2.476 | 10.58 |
| 13-250 | POTABLE | 29.55 | 152 | 150 | 601 | 2.576 | 11.30 |
| 14-250 | PTAR MIRADORES | 30.1 | 151 | 152 | 600 | 2.593 | 11.15 |
| 15-250 | PTAR LA QUERENCIA | 29.7 | 152 | 150 | 600 | 2.489 | 10.92 |

Tabla 35 Resultados obtenidos en pruebas de Flexión con muestras de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | MR PROMEDIO (Kg/cm ²) |
|-------------------|-----------------------------------|
| AGUA POTABLE | 11.11 |
| PTAR MIRADORES | 11.76 |
| PTAR LA QUERENCIA | 10.84 |

Tabla 36 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de Flexión con muestras de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

4.3 REVENIMIENTO

El revenimiento de las mezclas se muestra a continuación:

Mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | REVENIMIENTO (CM) |
|--------|-------------------|-------------------|
| 1-150 | POTABLE | 15.0 |
| 2-150 | PTAR MIRADORES | 16.0 |
| 3-150 | PTAR LA QUERENCIA | 17.0 |
| 4-150 | POTABLE | 14.0 |
| 5-150 | PTAR MIRADORES | 16.0 |
| 6-150 | PTAR LA QUERENCIA | 15.0 |
| 7-150 | POTABLE | 14.0 |
| 8-150 | PTAR MIRADORES | 15.0 |
| 11-150 | PTAR LA QUERENCIA | 15.0 |
| 9-150 | POTABLE | 15.0 |
| 10-150 | PTAR MIRADORES | 14.0 |
| 12-150 | PTAR LA QUERENCIA | 16.0 |
| 13-150 | POTABLE | 14.0 |
| 14-150 | PTAR MIRADORES | 16.0 |
| 15-150 | PTAR LA QUERENCIA | 16.0 |

Tabla 37 Resultados obtenidos en pruebas de revenimiento con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | REVENIMIENTO (CM) |
|-------------------|-------------------|
| AGUA POTABLE | 14.40 |
| PTAR MIRADORES | 15.40 |
| PTAR LA QUERENCIA | 15.80 |

Tabla 38 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de revenimiento con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Mezclas de $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

| MEZCLA | AGUA EMPLEADA | REVENIMIENTO (CM) |
|--------|-------------------|-------------------|
| 1-250 | POTABLE | 14.0 |
| 2-250 | PTAR MIRADORES | 15.0 |
| 3-250 | PTAR LA QUERENCIA | 16.0 |
| 4-250 | POTABLE | 15.0 |
| 5-250 | PTAR MIRADORES | 15.0 |
| 6-250 | PTAR LA QUERENCIA | 15.0 |
| 7-250 | POTABLE | 12.0 |
| 8-250 | PTAR MIRADORES | 15.0 |
| 9-250 | PTAR LA QUERENCIA | 14.0 |
| 10-250 | POTABLE | 14.0 |
| 11-250 | PTAR MIRADORES | 13.0 |
| 12-250 | PTAR LA QUERENCIA | 16.0 |
| 13-250 | POTABLE | 13.0 |
| 14-250 | PTAR MIRADORES | 13.0 |
| 15-250 | PTAR LA QUERENCIA | 14.0 |

Tabla 39 Resultados obtenidos en pruebas de revenimiento con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | REVENIMIENTO (CM) |
|-------------------|-------------------|
| AGUA POTABLE | 13.60 |
| PTAR MIRADORES | 14.20 |
| PTAR LA QUERENCIA | 15.00 |

Tabla 40 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de revenimiento con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

4.4 TIEMPO DE FRAGUADO

En cuanto al fraguado de las mezclas se obtuvieron los siguientes valores:

Mezclas de $F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

| PRUEBA | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA POTABLE | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA MIRADORES | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA QUERENCIA | |
|--------|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|
| | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) |
| 1 | 295.99 | 435.35 | 276.74 | 406.45 | 264.10 | 388.78 |
| 2 | 311.30 | 433.77 | 268.16 | 375.39 | 296.44 | 408.88 |
| 3 | 309.50 | 436.26 | 319.68 | 426.84 | 295.01 | 418.82 |
| 4 | 334.74 | 426.84 | 318.03 | 416.12 | 300.99 | 412.13 |

Tabla 41 Resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Mezclas de $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

| PRUEBA | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA POTABLE | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA MIRADORES | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA QUERENCIA | |
|--------|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|
| | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) |
| 1 | 246.81 | 340.38 | 249.74 | 332.30 | 250.18 | 329.17 |
| 2 | 253.86 | 363.74 | 259.33 | 349.12 | 260.77 | 345.02 |
| 3 | 239.82 | 343.72 | 249.81 | 352.09 | 235.09 | 342.02 |
| 4 | 246.79 | 347.14 | 245.51 | 340.77 | 246.61 | 332.61 |

Tabla 42 Resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

Mezclas de $F'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

| MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA POTABLE | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA MIRADORES | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA QUERENCIA | |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|
| TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) |
| 312.88 | 433.06 | 295.65 | 406.20 | 289.14 | 407.15 |

Tabla 43 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

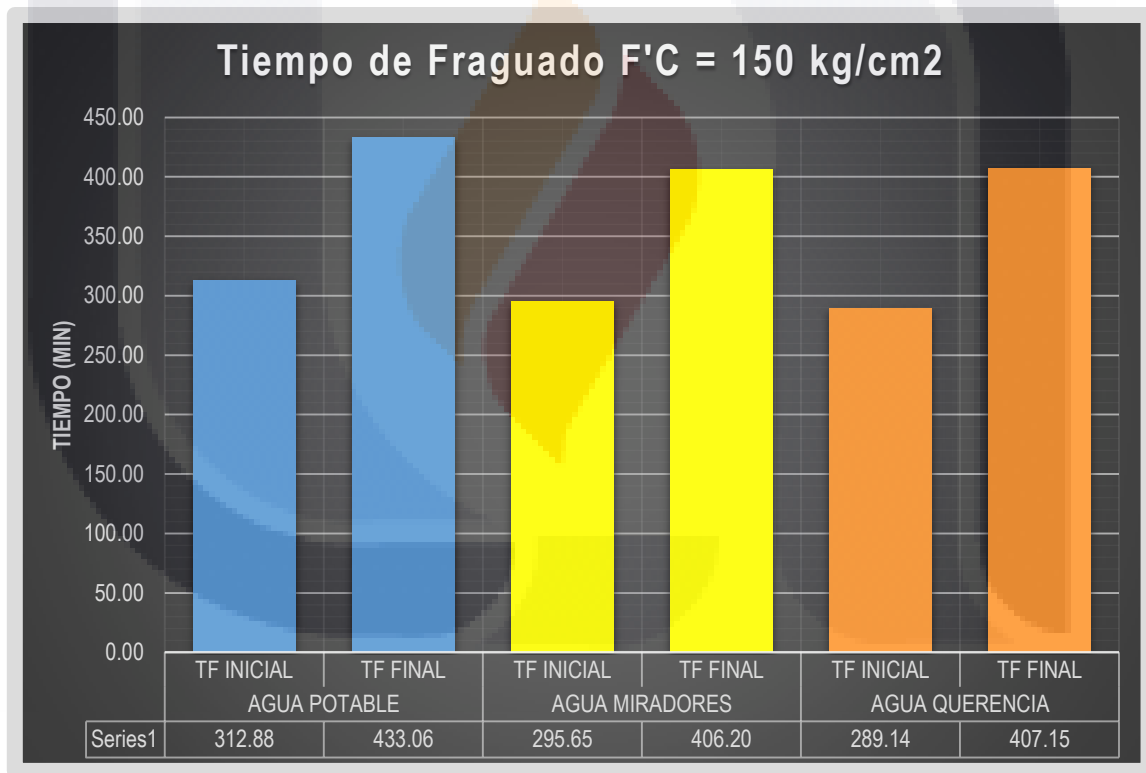


Gráfico 18 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Mezclas de $F'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

| MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA POTABLE | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA MIRADORES | | MEZCLAS ELABORADAS CON AGUA QUERENCIA | |
|-------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|---------------------------------------|----------------|
| TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) | TF INICIAL (MIN) | TF FINAL (MIN) |
| 246.82 | 348.74 | 251.10 | 343.57 | 248.16 | 337.20 |

Tabla 44 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

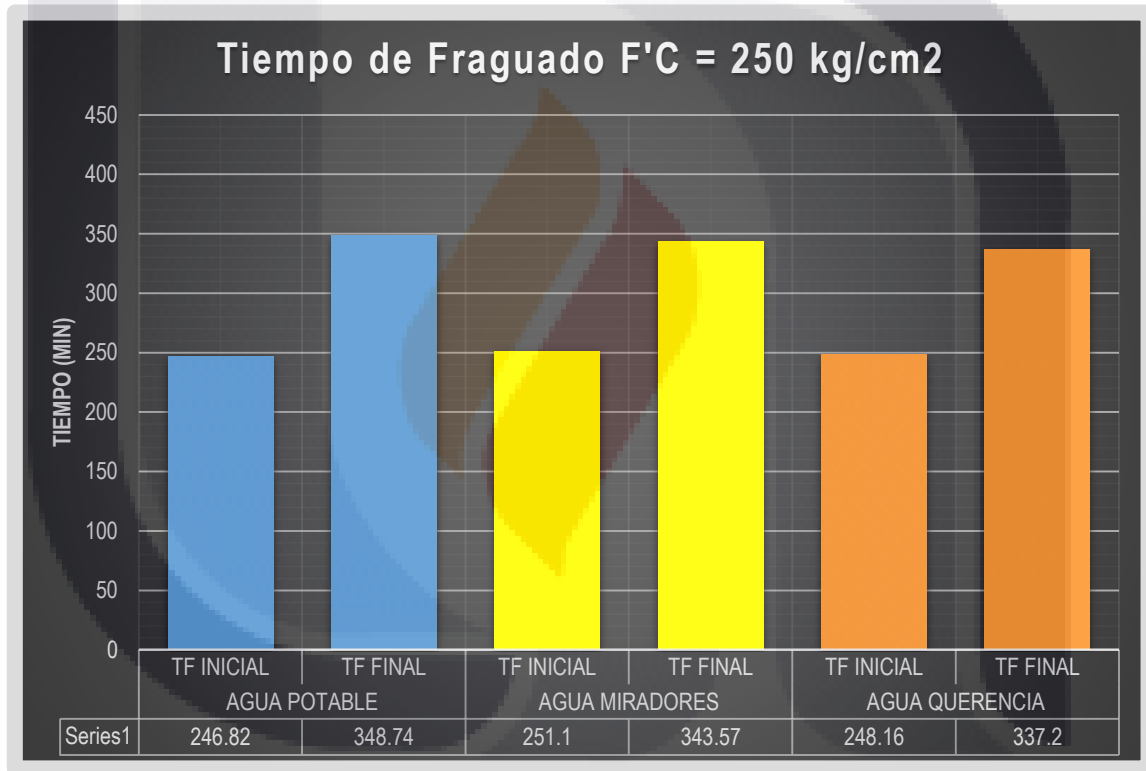


Gráfico 19 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

4.5 ABRASIÓN

Las pruebas de abrasión arrojaron los siguientes datos:

Mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$

| DISCO | AGUA EMPLEADA | GRAMOS PERDIDOS |
|--------|-------------------|-----------------|
| 1-150 | POTABLE | 24.33 |
| 2-150 | PTAR MIRADORES | 19.00 |
| 3-150 | PTAR LA QUERENCIA | 30.33 |
| 4-150 | POTABLE | 24.33 |
| 5-150 | PTAR MIRADORES | 21.67 |
| 6-150 | PTAR LA QUERENCIA | 36.67 |
| 7-150 | POTABLE | 28.67 |
| 8-150 | PTAR MIRADORES | 24.00 |
| 11-150 | PTAR LA QUERENCIA | 25.67 |
| 9-150 | POTABLE | 26.67 |
| 10-150 | PTAR MIRADORES | 29.67 |
| 12-150 | PTAR LA QUERENCIA | 25.33 |
| 13-150 | POTABLE | 30.00 |
| 14-150 | PTAR MIRADORES | 30.33 |
| 15-150 | PTAR LA QUERENCIA | 38.00 |

Tabla 45 Resultados obtenidos en pruebas de abrasión de fraguado con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | GRAMOS PERDIDOS |
|-------------------|-----------------|
| AGUA POTABLE | 26.80 |
| PTAR MIRADORES | 24.93 |
| PTAR LA QUERENCIA | 31.20 |

Tabla 46 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$

| DISCO | AGUA EMPLEADA | GRAMOS PERDIDOS |
|--------|-------------------|-----------------|
| 1-150 | POTABLE | 17.00 |
| 2-150 | PTAR MIRADORES | 21.00 |
| 3-150 | PTAR LA QUERENCIA | 23.33 |
| 4-150 | POTABLE | 18.33 |
| 5-150 | PTAR MIRADORES | 25.00 |
| 6-150 | PTAR LA QUERENCIA | 27.00 |
| 7-150 | POTABLE | 17.33 |
| 8-150 | PTAR MIRADORES | 22.00 |
| 11-150 | PTAR LA QUERENCIA | 32.67 |
| 9-150 | POTABLE | 20.67 |
| 10-150 | PTAR MIRADORES | 25.67 |
| 12-150 | PTAR LA QUERENCIA | 26.67 |
| 13-150 | POTABLE | 23.33 |
| 14-150 | PTAR MIRADORES | 23.33 |
| 15-150 | PTAR LA QUERENCIA | 19.33 |

Tabla 47 Resultados obtenidos en pruebas de abrasión de fraguado con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

Resultados promedio:

| AGUA EMPLEADA | REVENIMIENTO (CM) |
|-------------------|-------------------|
| AGUA POTABLE | 19.33 |
| PTAR MIRADORES | 23.40 |
| PTAR LA QUERENCIA | 25.80 |

Tabla 48 Promedio de los resultados obtenidos en pruebas de tiempo de fraguado con mezclas de $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$.

4.6 PRUEBAS FÍSICO-QÍMICAS AL AGUA DE MEZCLADO

Agua potable:

| PARÁMETRO | LIMITE PERMISIBLE | | MUESTRA 1 (JULIO) | MUESTRA 2 (AGOSTO) | MUESTRA 3 (SEPTIEMBRE) |
|------------------------------|-------------------|------|----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Sólidos en suspensión. | máximo | 2000 | NO SE TIENEN DATOS | | |
| Cloruros. | máximo | 700 | 9.57 | 9.86 | 24.66 |
| Sulfatos. | máximo | 3000 | 41.80 | 40.89 | 45.97 |
| Magnesio. | máximo | 100 | 6.43 | 7.56 | 37.79 |
| Carbonatos. | máximo | 600 | 243.53 | 236.94 | 392.55 |
| Bióxido de carbono disuelto. | máximo | 5 | NO SE TIENEN DATOS | | |
| Álcalis totales. | máximo | 300 | NO SE TIENEN DATOS | | |
| Impurezas en solución. | máximo | 3500 | 287.00 | 269.00 | 424.00 |
| Grasas o aceites. | máximo | 0 | NO SE TIENEN DATOS | | |
| Materia orgánica. | máximo | 150 | NO SE TIENEN DATOS | | |
| Potencial de hidrogeno. | mínimo | 6 | 7.93 | 7.54 | 7.57 |

Tabla 49 Concentraciones de sustancias enunciadas en la normatividad de agua para concreto en el Agua Potable utilizada para esta investigación.

Agua PTAR Miradores:

| PARÁMETRO | LIMITE PERMISIBLE (PPM) | | PERIODO 1 | PERIODO 2 | PERIODO 3 | PERIODO 4 | PERIODO 5 |
|------------------------------|----------------------------|------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Sólidos en suspensión. | máximo | 2000 | 12.00 | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 |
| Cloruros. | máximo | 700 | 42.64 | 45.44 | 38.74 | 38.74 | 42.59 |
| Sulfatos. | máximo | 3000 | 111.40 | 84.32 | 71.17 | 67.17 | 104.1 |
| Magnesio. | máximo | 100 | 11.05 | 6.13 | 5.35 | 10.49 | 32.55 |
| Carbonatos. | máximo | 600 | 167.01 | 217.17 | 175.02 | 160.16 | 165.2 |
| Bióxido de carbono disuelto. | máximo | 5 | NO SE TIENEN DATOS | | | | |
| Álcalis totales. | máximo | 300 | NO SE TIENEN DATOS | | | | |
| Impurezas en solución. | máximo | 3500 | 402.00 | 373 | 396 | 341.00 | 385 |
| Grasas o aceites. | máximo | 0 | 3.20 | 4.11 | 4.46 | < 3.00 | < 3.00 |
| Materia orgánica. | máximo | 150 | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 | < 10.00 |
| Potencial de hidrogeno. | mínimo | 6 | 6.77 | 7.16 | 7.7 | 7.54 | 7.35 |

Tabla 50 Concentraciones de sustancias enunciadas en la normatividad de agua para concreto en el Agua Tratada en la PTAR Miradores utilizada para esta investigación.

Agua PTAR La Querencia:

| PARÁMETRO | LIMITE PERMISIBLE (PPM) | | PERIODO 1 | PERIODO 2 | PERIODO 3 | PERIODO 4 | PERIODO 5 | |
|------------------------------|-------------------------|------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|
| | máximo | 2000 | | | | | | |
| Sólidos en suspensión. | máximo | 2000 | < 10.00 | < 10.00 | <10.00 | 13.00 | < 10.00 | |
| Cloruros. | máximo | 700 | 71.54 | 67.44 | 67.92 | 65.53 | 15.69 | |
| Sulfatos. | máximo | 3000 | 158.84 | 104.37 | 78.45 | 83.49 | 39.49 | |
| Magnesio. | máximo | 100 | 5.38 | 8.94 | 11.68 | 7.61 | 6.16 | |
| Carbonatos. | máximo | 600 | 471.70 | 488.04 | 469.56 | 443.18 | 480.43 | |
| Bióxido de carbono disuelto. | máximo | 5 | NO SE TIENEN DATOS | | | | | |
| Álcalis totales. | máximo | 300 | | | | | | |
| Impurezas en solución. | máximo | 3500 | 647.00 | 619.00 | SIN DATOS | 663.00 | 576 | |
| Grasas o aceites. | máximo | 0 | < 3.00 | 4.27 | < 3.00 | < 3.00 | < 3.00 | |
| Materia orgánica. | máximo | 150 | < 10.00 | < 10.00 | 13.25 | < 10.00 | < 10.00 | |
| Potencial de hidrogeno. | mínimo | 6 | 8.39 | 7.52 | SIN DATOS | 7.91 | 7.36 | |

Tabla 51 Concentraciones de sustancias enunciadas en la normatividad de agua para concreto en el Agua Tratada en la PTAR La Querencia utilizada para esta investigación.

CAPÍTULO 5:

**DISCUSIÓN DE
RESULTADOS Y
FUTURAS LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**

REVENIMIENTO

Los resultados de revenimiento los podemos analizar de la siguiente manera:

- El revenimiento de las mezclas elaboradas con agua tratada siempre fue mayor que el de las elaboradas con agua potable, ya que seguramente dichas aguas contienen sustancias tales como grasas, aceites y residuos de detergentes.
- No se efectuó un análisis estadístico de estos resultados debido a que la normatividad no indica parámetros tales como el coeficiente de variabilidad o rango permitido.

TIEMPO DE FRAGUADO

La interpretación de los resultados en las pruebas de tiempo de fraguado es la siguiente:

- Las mezclas elaboradas con agua tratada tuvieron tiempos de fraguado muy similares generalmente por debajo de los tiempos que se tuvieron para el agua potable, lo cual nos sugiere que existe una mayor reactividad en el agua.
- Analizando estadísticamente los resultados encontramos que el coeficiente de variabilidad que se tuvo en el tiempo de fraguado inicial de todas las mezclas con resistencia estuvo dentro de la tolerancia que marca la norma, por lo cual podemos decir que en el fraguado inicial los concretos elaborados con distintos tipos de agua se comportaron como si hubieran sido todos con agua potable.
- En cuanto a los tiempos de fraguado finales los datos fueron aún más similares que en inciso anterior, por lo que del mismo modo las mezclas actuaron como si se hubiera usado un solo tipo de agua de mezclado.

Los parámetros estadísticos evaluados para el tiempo de fraguado inicial son los siguientes:

| Mezcla | Coefficiente de variación observado | Coefficiente de variación permitido | Rango observado | Rango permitido |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| F'c = 150 kg/cm2 | 7.1 % | 7.1 % | 70.63 | 68.80 |
| F'c = 250 kg/cm2 | 2.9 % | | 25.68 | 57.19 |

Tabla 52 Coeficiente de variación y rango permitido en las pruebas de tiempo de fraguado inicial comparado con los obtenidos en la presente investigación (UAA, 2016).

Los parámetros estadísticos evaluados para el tiempo de fraguado final son los siguientes:

| Mezcla | Coefficiente de variación observado | Coefficiente de variación permitido | Rango observado | Rango permitido |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| F'c = 150 kg/cm2 | 4.5 % | 4.7 % | 60.87 | 66.47 |
| F'c = 250 kg/cm2 | 2.7 % | | 34.70 | 54.90 |

Tabla 53 Coeficiente de variación y rango permitido en las pruebas de tiempo de fraguado final comparado con los obtenidos en la presente investigación (UAA, 2016).

COMPRESIÓN

En cuanto a la resistencia a la compresión podemos hacer el siguiente análisis:

- A los 7 días de edad los concretos elaborados con agua tratada tuvieron resistencias más altas, lo cual nos confirma que la reactividad del agua fue mayor, no obstante los resultados que se tuvieron a los 14 días estuvieron muy cercanos entre sí, las resistencias fueron muy similares entre los concretos con agua potable y los realizados con agua tratada, cuando se cumplió la edad de proyecto (28 días), los concretos con agua potable siempre alcanzaron la resistencia proyectada mientras que los concretos con agua tratada en ocasiones no llegaron a la resistencia de proyecto, vale la pena mencionar que cuando no alcanzaron valores de 100% tuvieron valores muy cercanos siempre por encima del 95%.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
- A los 84 días todos los concretos siguieron aumentando su resistencia, pero los concretos mezclados con agua tratada tuvieron un incremento menor en la misma, lo que se asemeja a la evolución de los concretos en los que se usan acelerantes para la resistencia, los primeros días tienen una resistencia mayor, pero con el paso del tiempo, específicamente cumpliendo la edad de proyecto, la evolución observada en su resistencia es más lenta, cabe destacar que a la edad de 84 días todos los concretos sobrepasaron el 100% de la resistencia de diseño.

FLEXIÓN

Los resultados de las pruebas de flexión los podemos analizar de la siguiente manera:

- Los resultados obtenidos de estas pruebas en general fueron más bajos de los teóricamente esperados, esto fue debido al tamaño máximo de agregado utilizado.
- El desempeño de los concretos a la flexión fue muy similar, sin embargo no se efectuó un análisis estadístico de estos resultados debido a que la normatividad no indica parámetros tales como el coeficiente de variabilidad o rango permitido.

ABRASIÓN

La interpretación de los resultados en las pruebas de abrasión es la siguiente:

- En estas pruebas a primera vista se percibía que la variación de los resultados era mayor, pero al efectuar los análisis estadísticos entre todas las mezclas los concretos de las dos resistencias se encuentran dentro de los lineamientos establecidos en la normatividad en coeficientes de variación y rango de resultados, por lo que una vez más podemos confirmar que los concretos actuaron como si se hubiera usado un solo tipo de agua de mezclado.

Los parámetros estadísticos evaluados son los siguientes:

| Mezcla | Coefficiente de variación observado | Coefficiente de variación permitido | Rango observado | Rango permitido |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| F'c = 150 kg/cm2 | 18.58 % | 21 % | 19.0 | 16.31 |
| F'c = 250 kg/cm2 | 18.41 % | | 15.67 | 13.47 |

Tabla 54 Coeficiente de variación y rango permitido en las pruebas de abrasión comparado con los obtenidos en la presente investigación (UAA, 2016).

PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS A EL AGUA DE MEZCLADO

En cuanto a los resultados de los análisis físico-químicos al agua de mezclado podemos realizar el siguiente análisis:

- Algunos de los resultados más interesantes y prometedores de la investigación fueron los que se observaron en las pruebas a el agua tratada usada para los concretos, en todos los parámetros evaluados cumple con lo establecido en la norma de agua para concreto, excepto en uno; el contenido de grasas o aceites, aunque la concentración presentada de estas sustancias es muy baja, la norma indica un contenido de 0 (cero).

| PARÁMETRO EVLUADO | CUMPLE CON LA NORMA DE AGUA PARA CONCRETO NMX-C-122-ONNCCE-2004. | NO CUMPLE CON LA NORMA DE AGUA PARA CONCRETO NMX-C-122-ONNCCE-2004. |
|-------------------------|--|---|
| Sólidos en suspensión. | ✓ | |
| Cloruros. | ✓ | |
| Sulfatos. | ✓ | |
| Magnesio. | ✓ | |
| Carbonatos. | ✓ | |
| Impurezas en solución. | ✓ | |
| Grasas o aceites. | | x |
| Materia orgánica. | ✓ | |
| Potencial de hidrógeno. | ✓ | |

Tabla 55 Parámetros de agua tratada que cumplen con la norma de agua para concreto NMX-C-122-NMX-C-122-ONNCCE-2004 (UAA, 2016).

FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Es de gran interés para complementar la presente investigación resolver algunas incógnitas que quedan pendientes como lo son:

- ◆ ¿Qué sucede con la resistencia a la compresión después de los 84 días?
- ◆ ¿De qué manera puede influir el calor generado durante el proceso de fraguado de concretos con agua tratada?
- ◆ ¿Qué tanto mejoraría el desempeño a la flexión de los concretos con agua tratada si los reforzáramos con algún elemento extra?
- ◆ ¿De qué manera reaccionarían los concretos con agua tratada al usar algún tipo de endurecedor buscando un mejor desempeño ante la abrasión?
- ◆ ¿Qué tratamiento adicional se le puede dar al agua tratada para que se eliminen los residuos de grasas y aceites?

A large, light gray watermark logo is centered on the page. It features the letters 'UN' in a bold, rounded font. Inside the 'U' and 'N' is a stylized emblem consisting of two overlapping, teardrop-like shapes, one orange and one red, separated by a white line.

CONCLUSIONES.

Con base en los resultados de las pruebas realizadas y descritas en este documento podemos sustentar las siguientes conclusiones:

- ◆ El agua tratada usada en la investigación cumplió con las concentraciones máximas enunciadas en la normativa de agua para concreto, excepto en la concentración de grasas y aceites, aunque la cantidad el contenido de dichas sustancias es baja y muy cercana a cero, impacta en el revenimiento de las mezclas, no obstante, no representa riesgos para concretos simples debido a que con la cantidad contenida de grasas y/o aceites y al mezclarse con el agua no se pueden producir emulsiones, los cuales podrían representar un vacío de magnitud considerable y por ende un punto de falla para concretos endurecidos.
- ◆ Los resultados de las pruebas realizadas a los concretos en estado fresco y/o endurecido elaborados con diferentes tipos de agua son muy similares entre sí, en algunos casos analizando estadísticamente las variaciones observadas se encuentran dentro de la variación permisible, por lo tanto se podría decir que todos los concretos fueron elaborados con los mismos componentes, es decir las características del agua empleada son las mismas.
- ◆ Una opción de mejora para el agua tratada es mezclarse con un porcentaje de agua potable y de este modo disminuir la concentración que cualquier agente nocivo para el concreto.
- ◆ A pesar de que se tuvieron resultados favorables en todas las pruebas realizadas es necesario establecer un periodo de análisis mayor a 84 días para darle un seguimiento a la evolución de los concretos a edades mayores y descartar cambios y/o afectaciones en el desempeño o durabilidad de los mismos.

En general se comprobó que el desempeño de los concretos mezclados con agua potable y el de los fabricados con agua tratada de las plantas seleccionadas es muy similar, por lo cual con la presente tesis se puede avalar que el comportamiento del concreto elaborado con agua tratada en las plantas seleccionadas o con una calidad similar no se ve afectado en los periodos de tiempo analizados.

GLOSARIO

Coefficiente de uniformidad: Número obtenido de los análisis granulométricos que indica que tan uniformes son las partículas de un suelo o agregado.

Coefficiente de curvatura: Número obtenido de los análisis granulométricos que indica un suelo o agregado está bien o mal graduado, es decir si se compone de una amplia variedad de tamaños (bien graduado), o si solo contiene pocos tamaños (mal graduado).

Cono truncado: Molde de forma cónica usado en algunas pruebas de laboratorio de materiales, el cual en lugar de terminar en un vértice, termina en un plano paralelo o no a la base.

Pisón: Instrumento pesado y grueso, generalmente de madera, en forma de cono truncado y provisto de un mango, que sirve para compactar algunos materiales.

Enrasar: Hacer que quede lisa una superficie de material contenido en un recipiente y a la altura de los bordes del mismo, empleando algún utensilio.

Saturación: La saturación de un material pétreo se define como el estado en el que contiene la mayor cantidad de agua que puede contener dicho material en sus vacíos.

Cuartear: Proceso mediante el cual un material u agregado se homogeniza y se obtiene una muestra representativa de la cantidad total.

Amasar: Mover y presionar repetidamente algún material produciendo en él un homogenización y/o compactación.

Dosificación: Regulación y determinación de la cantidad o porciones necesarias de los componentes de la mezcla para concreto para lograr la resistencia de proyecto.

Lodos activados: Proceso de tratamiento de aguas residuales que se basa en el contacto entre el agua negra y lodos biológicos activados.

Bordo: Es una pequeña presa con cortina de tierra compactada que almacena los escurrimientos superficiales provenientes de una corriente intermitente o de una área de drenaje bien definida.

Reactor biológico: Recipiente o sistema que mantiene un sistema biológicamente activo, En algunos casos, un reactor biológico es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.

Sedimentador: Recipiente donde se lleva a cabo el proceso de sedimentación.

Sedimentación: Es el proceso por el cual el las sustancias contenidas en movimiento contenidas en un líquido se depositan en el fondo del recipiente que lo contiene por la diferencia de densidades y la acción de la gravedad.

Biodigestor: Es un recinto cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (sin aire) en el que se degrada la materia orgánica disuelta en un medio acuoso.

Cloración: Es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados.

Agua de sangrado: desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie.

Tiempo de fraguado: El fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado— con los óxidos metálicos presentes en el clínker que compone el cemento.

Fraguado inicial: En el proceso general de endurecimiento del hormigón se presenta un estado de fraguado inicial en que la mezcla pierde su plasticidad.

Fraguado final: Se denomina fraguado final al estado en el cual el endurecimiento del concreto o mortero ha alcanzado un valor

Permeable: Que deja pasar agua u otro líquido a través de sus poros.

Concreto autocompactable: Concreto altamente fluido con segregación, que puede ser extendido en el sitio, llenando el recipiente donde es vaciado sin vacíos y sin necesidad de consolidación mecánica.

Bovedilla de concreto: Elemento de construcción, normalmente en forma de trapecio hueco, que se coloca entre viga y viga para cubrir espacios y colar losas de entrepiso o azoteas.

Colado: Vaciado del concreto dentro de la cimbra correspondiente para esperar su fraguado dar lugar al elemento que se quiere construir.

Interpolación: Es la obtención de nuevos puntos de una gráfica partiendo de los puntos que se conocen mediante un análisis matemático.

Desmoldante: Sustancia que se coloca en los moldes o cimbras donde serán colados elementos de concreto para facilitar su retiro una vez que se fragüe.

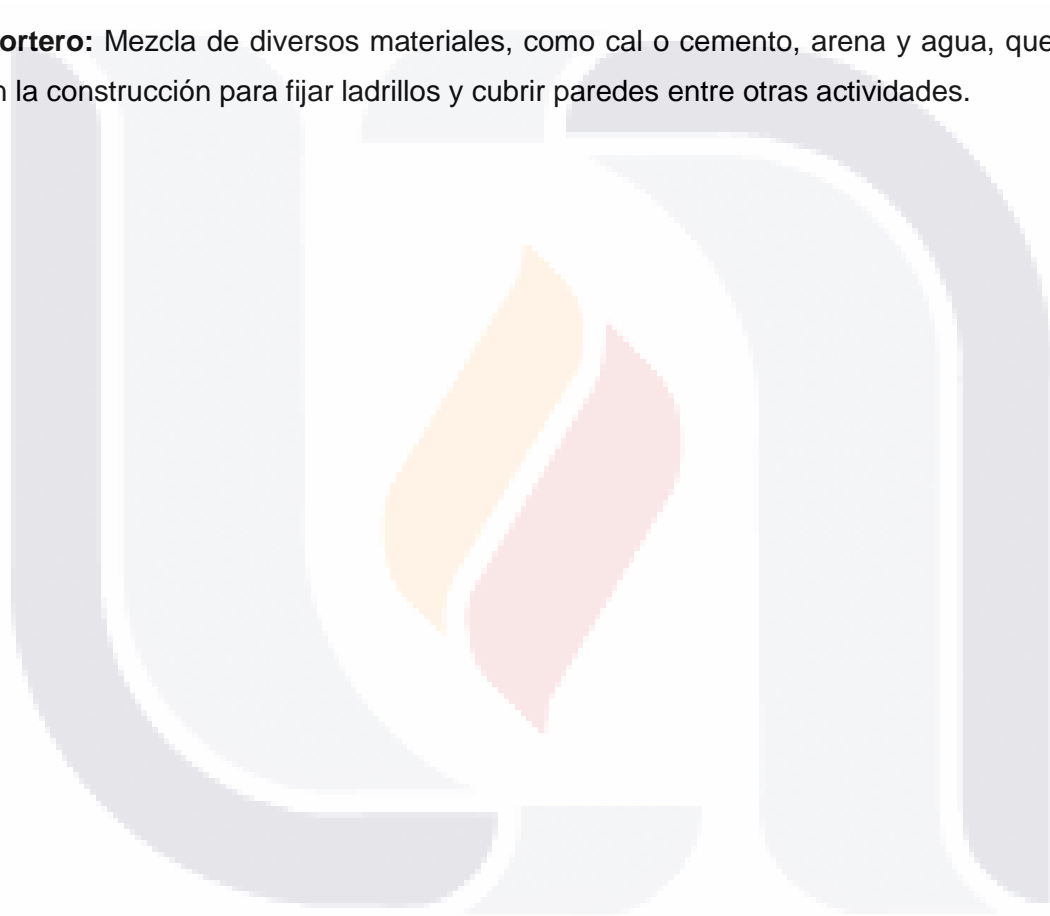
Descimbrar: Desmontar o dismantelar la cimbra o material que se utiliza para sostener y cargar algún elemento de concreto. Por lo general las cimbras son de materiales compuestas por tablas, polines y/o elementos metálicos.

Segregación: Separación de los componentes de una mezcla de concreto en estado fresco provocando que presente una distribución de sus partículas no uniforme.

Aluminato: Sal derivada del óxido de aluminio, cuando éste actúa como un ácido.

Eflorescencia: Incrustación de sales solubles, generalmente blancas, depositadas en la superficie de una piedra, yeso o mortero; a menudo causado por álcalis libres lixiviados del mortero u concreto.

Mortero: Mezcla de diversos materiales, como cal o cemento, arena y agua, que se usa en la construcción para fijar ladrillos y cubrir paredes entre otras actividades.



BIBLIOGRAFÍA

- Al-Ghusain, I. (2003). *Use of treated wastewater for concrete mixing in Kuwait*. Kuwait University.
- Alvarez, A. (2010). La apuesta española al Concreto. *Construcción y Tecnología IMCYC*, 46-49.
- Australia, C. C. (2007). *Use of Recycled Water in Concrete Production*. Sydney, Australia.
- BID. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales en México*. Banco Interamericano de Desarrollo., Sector de Infra-estructura y Medio Ambiente.
- Brooks, D. B. (2004). *Agua. Manejo a nivel local*. Ottawa, Canada: Alfa-Omega.
- CEMEX. (2011). *Informe de Desarrollo Sustentable 2011*. Monterrey, N.L.
- CEMEX. (2013). *Informe de Desarrollo Sustentable*. CEMEX, Nuevo Leon. Obtenido de <http://www.cemex.com/ES/DesarrolloSustentable/files/InformeDesarrolloSustentableCemex2013.pdf>
- CEMEX. (2014). *Concreto para la construcción acelerada de vivienda*. Obtenido de http://www.cemexmexico.com/concretos/files/fichasTecnicas/FTMX_F_UltraAcelerado.pdf
- Chao, E. (Agosto de 2015). El concreto en la construcción de la infraestructura del país. *Ciencia y Tecnología en Concreto*.
- CONAGUA. (2012). *Atlas del agua en México*. Mexico D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2012). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Mexico D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA. (2013). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Mexico, D.F.

- FICEM. (2013). *Informe Estadístico 2013*. FEDERACIÓN INTERAMERICANA DEL CEMENTO, Bogota.
- Garza, Ó. J. (2011). Análisis de la competencia en la industria cementera en México. *EconoQuantum*, 8(1).
- GOBAGS. (2013). *Estado Verde*. Obtenido de Invierte en Aguascalientes: <http://www.investinaguascalientes.gob.mx/estadoVerde.html>
- González, J. F. (2012). 50 años de grandes avances. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 54-57.
- IMAE. (2009). *Sistema de Indicadores Ambientales del Estado de Aguascalientes*. Aguascalientes, México: Gobierno del Estado de Aguascalientes.
- IMCYC. (Agosto de 2004). Las Posibilidades del concreto; Bloques/premezclados/tubos/prefabricados. *Ciencia y Tecnología en Concreto*.
- IMCYC. (Junio de 2004). Para hacer un buen concreto. *Construcción y Tecnología en Concreto*.
- IMCYC. (Noviembre de 2007). Pruebas al conereo fresco, revenimiento. *Construcción y Tecnología en Concreto*.
- IMCYC. (Noviembre de 2008). Determinación de la resistencia a la compresión de concreto, metodo de prueba. *Construcción y Tecnolgía en Concreto*.
- IMCYC. (Junio de 2014). Industria de la construcción -Agua para concreto- Especificaciones. *Construcción y Tecnología en Concreto*.
- Mbwambo, W. J. (1996). *ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SOLUTIONS FOR THE DISPOSAL OF CONCRETE WASH WATER FROM READY MIXED CONCRETE OPERATIONS*. University of Florida, Florida, USA.
- Mendoza-Espinosa, L. (2012). *Foro Científico y Tecnológico, A.C*. Obtenido de <http://www.foroconsultivo.org.mx/>
- Molina, E. (1983). *Práctica para dosificar concreto normal, concreto pesado y concreto masivo*. Mexico, D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

- ONU. (2014). *Agua e Industria en la economía verde*. Oficina de Naciones Unidas de apoyo al Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Obtenido de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/green_economy_2011/
- Pérez, M. (Junio de 2004). Concreto: Material de Construcción del siglo XXI. *Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/cyt/junio04/siglo.htm>
- Rojas, A. V. (2001). Concretos con aguas tratadas. *Construcción y Tecnología IMCYC*, S/N.
- SCT. (2002). Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico. *CMT. Características de los materiales*. México.
- SCT. (2002). Calidad del agua para concreto hidráulico. *CMT Características de los materiales*. Mexico.
- Secretaría de Economía. (2012). *Perfil del mercado de la caliza y sus derivados*. Dirección General de Desarrollo Minero, Mexico, D.F.
- Silva, M. (2010). *Sustainable Use of Resources – Recycling of Sewage Treatment Plant Water in Concrete*. University of Wisconsin.
- UAL. (2010). *Ejemplos prácticos de reutilización de agua residual tratada y regenerada para el riego de cultivos (Evaluación de Riesgo)*. Universidad de Almería. Almería: Consolider Tragua.
- Vidal, A. L. (Julio de 2014). Hacia una industrializada y Sustentable con prefabricados de Concreto. *Construcción y Tecnología en Concreto*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/julio2014/experto.pdf>

ANEXOS.

Tabla general de compresión con los datos de todos los cilindros ensayados.

| CILINDRO | | EDAD | DIAM. | h | PESO | CARGA | AREA | F°C | % |
|-----------------------------------|---|------|-------|------|--------|-------|-------|---------------|--------|
| 1-150 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.3 | 30.2 | 11.850 | 24088 | 183.9 | 131.02 | 67.19 |
| | 2 | 14 | 15.0 | 30.4 | 11.920 | 29680 | 176.7 | 167.95 | 86.13 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30.0 | 12.550 | 35928 | 183.9 | 195.42 | 100.21 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30.5 | 11.970 | 40030 | 179.1 | 223.53 | 114.63 |
| 1-250 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.1 | 29.9 | 11.530 | 31595 | 179.1 | 176.43 | 70.57 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.4 | 11.990 | 36800 | 181.5 | 202.80 | 81.12 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.1 | 12.500 | 47560 | 179.1 | 265.58 | 106.23 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.4 | 11.997 | 51077 | 181.5 | 281.48 | 112.59 |
| 2-150 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15.2 | 30 | 11.430 | 25127 | 181.5 | 138.47 | 71.01 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.3 | 11.920 | 28833 | 176.7 | 163.16 | 83.67 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30.5 | 12.400 | 34776 | 183.9 | 189.15 | 97.00 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30 | 11.740 | 37218 | 179.1 | 207.83 | 106.58 |
| 2-250 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15.1 | 30.3 | 11.760 | 33441 | 179.1 | 186.74 | 74.70 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.1 | 12.178 | 37721 | 181.5 | 207.88 | 83.15 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.4 | 12.179 | 45165 | 179.1 | 252.21 | 100.88 |
| | 4 | 84 | 15.3 | 30.5 | 12.638 | 49483 | 183.9 | 269.14 | 107.66 |
| 3-150 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.2 | 30.5 | 11.960 | 24609 | 181.5 | 135.62 | 69.55 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.1 | 11.380 | 29471 | 181.5 | 162.41 | 83.29 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.5 | 12.340 | 33803 | 179.1 | 188.76 | 96.80 |
| | 4 | 84 | 15.4 | 30.3 | 12.000 | 39065 | 186.3 | 209.73 | 107.55 |
| 3-250 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.2 | 30.5 | 12.050 | 33161 | 181.5 | 182.75 | 73.10 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.4 | 12.470 | 39298 | 183.9 | 213.75 | 85.50 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.2 | 12.340 | 43550 | 179.1 | 243.19 | 97.28 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 12.490 | 47171 | 181.5 | 259.95 | 103.98 |
| 4-150 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.3 | 30.2 | 12.220 | 18821 | 183.9 | 102.37 | 68.25 |
| | 2 | 14 | 15.4 | 30.3 | 12.180 | 23643 | 186.3 | 126.93 | 84.62 |
| | 3 | 28 | 15 | 30.1 | 12.240 | 26921 | 176.7 | 152.34 | 101.56 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 11.890 | 30509 | 181.5 | 168.13 | 112.09 |
| 4-250 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15 | 30.1 | 11.430 | 29710 | 176.7 | 168.12 | 67.25 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.5 | 11.970 | 38222 | 181.5 | 210.64 | 84.25 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.1 | 12.310 | 46901 | 181.5 | 258.47 | 103.39 |
| | 4 | 84 | 15.4 | 30.5 | 12.340 | 50398 | 186.3 | 270.57 | 108.23 |
| 5-150 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15.1 | 30.5 | 11.820 | 18932 | 179.1 | 105.72 | 70.48 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.4 | 12.300 | 24243 | 183.9 | 131.86 | 87.91 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.1 | 11.970 | 27748 | 179.1 | 154.95 | 103.30 |
| | 4 | 84 | 15 | 30.4 | 12.100 | 29688 | 176.7 | 168 | 112.00 |
| 5-250 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15.3 | 30.4 | 12.070 | 32450 | 183.9 | 176.5 | 70.60 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.5 | 12.329 | 36795 | 181.5 | 202.77 | 81.11 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.1 | 12.024 | 44292 | 181.5 | 244.09 | 97.64 |
| | 4 | 84 | 15.3 | 30.5 | 12.308 | 46873 | 183.9 | 254.95 | 101.98 |

Continuación de tabla general de compresión con los datos de todos los cilindros ensayados.

| CILINDRO | | EDAD | DIAM. | h | PESO | CARGA | AREA | F'C | % |
|-------------------------------|---|------|-------|------|--------|-------|-------|---------------|--------|
| 6-150 AGUA LA QUERENCIA | 1 | 7 | 15.1 | 29.9 | 11.353 | 18292 | 179.1 | 102.14 | 68.10 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.1 | 11.619 | 23053 | 176.7 | 130.45 | 86.97 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.3 | 11.82 | 27927 | 181.5 | 153.90 | 102.60 |
| | 4 | 84 | 15.3 | 30 | 11.93 | 28987 | 183.9 | 157.66 | 105.11 |
| 6-250 AGUA LA QUERENCIA | 1 | 7 | 15.3 | 30.1 | 11.67 | 32052 | 183.9 | 174.33 | 69.73 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.3 | 11.905 | 35900 | 176.7 | 203.15 | 81.26 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.4 | 12.154 | 42334 | 179.1 | 236.40 | 94.56 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.2 | 12.05 | 45579 | 181.5 | 251.18 | 100.47 |
| 7-150 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15 | 30.1 | 11.259 | 18410 | 176.7 | 104.18 | 69.45 |
| | 2 | 14 | 15.1 | 30.2 | 11.16 | 23072 | 179.1 | 128.84 | 85.89 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.4 | 11.553 | 27700 | 179.1 | 154.68 | 103.12 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.3 | 11.883 | 31662 | 181.5 | 174.49 | 116.32 |
| 7-250 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15 | 30.4 | 12.088 | 31662 | 176.7 | 179.17 | 71.67 |
| | 2 | 14 | 15.1 | 30.2 | 11.16 | 38498 | 179.1 | 214.98 | 85.99 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30.2 | 12.071 | 47782 | 183.9 | 259.89 | 103.96 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30.4 | 11.914 | 48844 | 179.1 | 272.75 | 109.10 |
| 8-150 AGUA MIRADORES | 1 | 7 | 15.1 | 30.4 | 11.486 | 18700 | 179.1 | 104.42 | 69.62 |
| | 2 | 14 | 15.4 | 30.3 | 12.2 | 23245 | 186.3 | 124.80 | 83.20 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30.4 | 11.998 | 26772 | 183.9 | 145.62 | 97.08 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.3 | 11.134 | 30257 | 181.5 | 166.74 | 111.16 |
| 8-250 AGUA MIRADORES | 1 | 7 | 15 | 30.1 | 11.513 | 33668 | 176.7 | 190.52 | 76.21 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 39.2 | 11.572 | 39104 | 181.5 | 215.50 | 86.20 |
| | 3 | 28 | 15 | 30.1 | 11.403 | 44588 | 176.7 | 252.32 | 100.93 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30.2 | 11.357 | 47533 | 179.1 | 265.43 | 106.17 |
| 9-150 AGUA LA QUERENCIA | 1 | 7 | 15 | 30.5 | 11.494 | 19588 | 176.7 | 110.85 | 73.90 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.2 | 11.293 | 24288 | 183.9 | 132.1 | 88.07 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.3 | 11.108 | 27233 | 179.1 | 152.07 | 101.38 |
| | 4 | 84 | 15 | 30.2 | 11.138 | 28631 | 176.7 | 162.02 | 108.01 |
| 9-250 AGUA LA QUERENCIA | 1 | 7 | 15.3 | 30.4 | 11.995 | 31218 | 183.9 | 169.8 | 67.92 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.2 | 11.347 | 36255 | 176.7 | 205.16 | 82.06 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.3 | 11.154 | 45986 | 181.5 | 253.42 | 101.37 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30 | 11.312 | 45916 | 179.1 | 256.4 | 102.56 |
| 10-150 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.1 | 30 | 11.268 | 17482 | 179.1 | 97.62 | 65.08 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.3 | 11.411 | 23495 | 181.5 | 129.48 | 86.32 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.2 | 10.833 | 28347 | 179.1 | 158.29 | 105.53 |
| | 4 | 84 | 15 | 30.1 | 11.245 | 31388 | 176.7 | 177.62 | 118.41 |
| 10-250 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.1 | 30.2 | 11.213 | 30734 | 179.1 | 171.62 | 68.65 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.2 | 11.092 | 35281 | 176.7 | 199.65 | 79.86 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.3 | 11.386 | 46821 | 179.1 | 261.45 | 104.58 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.4 | 11.291 | 50273 | 181.5 | 277.05 | 110.82 |

Continuación de tabla general de compresión con los datos de todos los cilindros ensayados.

| CILINDRO | EDAD | DIAM. | h | PESO | CARGA | AREA | F'C | % | |
|--|------|-------|------|------|--------|-------|-------|---------------|--------|
| 11-150 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15 | 30.2 | 11.221 | 19718 | 176.7 | 111.58 | 74.39 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.1 | 11.423 | 23209 | 183.9 | 126.24 | 84.16 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.4 | 11.303 | 27350 | 179.1 | 152.73 | 101.82 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 11.523 | 30602 | 181.5 | 168.64 | 112.43 |
| 11-250 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15.3 | 30.4 | 11.796 | 32859 | 183.9 | 178.72 | 71.49 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.1 | 11.265 | 37332 | 176.7 | 211.26 | 84.50 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.2 | 11.197 | 43270 | 179.1 | 241.63 | 96.65 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 11.443 | 46935 | 181.5 | 258.65 | 103.46 |
| 12-150 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.1 | 30.2 | 11.5 | 19036 | 179.1 | 106.3 | 70.87 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.1 | 11.421 | 24809 | 183.9 | 134.94 | 89.96 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.3 | 11.237 | 28013 | 181.5 | 154.38 | 102.92 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.2 | 11.602 | 29864 | 181.5 | 164.58 | 109.72 |
| 12-250 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.1 | 30 | 11.092 | 32609 | 179.1 | 182.09 | 72.84 |
| | 2 | 14 | 15.3 | 30.1 | 11.205 | 38981 | 183.9 | 212.02 | 84.81 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.2 | 11.054 | 43965 | 179.1 | 245.51 | 98.20 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 11.378 | 47569 | 181.5 | 262.15 | 104.86 |
| 13-150 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.3 | 30 | 11.549 | 18267 | 183.9 | 99.356 | 66.24 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.2 | 11.731 | 21336 | 176.7 | 120.74 | 80.49 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30.3 | 11.701 | 27904 | 179.1 | 155.82 | 103.88 |
| | 4 | 84 | 15 | 30.2 | 11.339 | 29994 | 176.7 | 169.73 | 113.15 |
| 13-250 AGUA POTABLE | 1 | 7 | 15.2 | 30.1 | 11.688 | 32340 | 181.5 | 178.22 | 71.29 |
| | 2 | 14 | 15.1 | 30.3 | 11.865 | 38416 | 179.1 | 214.52 | 85.81 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30 | 11.934 | 48711 | 183.9 | 264.94 | 105.98 |
| | 4 | 84 | 15 | 30.1 | 11.762 | 50191 | 176.7 | 284.02 | 113.61 |
| 14-150 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15 | 30 | 11.511 | 18169 | 176.7 | 102.82 | 68.54 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30 | 11.828 | 23821 | 181.5 | 131.27 | 87.52 |
| | 3 | 28 | 15.2 | 30.1 | 11.705 | 26336 | 181.5 | 145.13 | 96.76 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30.4 | 11.913 | 29408 | 179.1 | 164.22 | 109.48 |
| 14-250 AGUA MIRADORE S | 1 | 7 | 15 | 30.2 | 12.016 | 31680 | 176.7 | 179.27 | 71.71 |
| | 2 | 14 | 15.2 | 30.3 | 12.227 | 37194 | 181.5 | 204.97 | 81.99 |
| | 3 | 28 | 15.1 | 30 | 11.974 | 42545 | 179.1 | 237.58 | 95.03 |
| | 4 | 84 | 15.3 | 30.5 | 12.042 | 48293 | 183.9 | 262.67 | 105.07 |
| 15-150 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.2 | 30.2 | 11.693 | 18683 | 181.5 | 102.96 | 68.64 |
| | 2 | 14 | 15 | 30.4 | 11.954 | 22407 | 176.7 | 126.8 | 84.53 |
| | 3 | 28 | 15 | 30.1 | 12.106 | 25643 | 176.7 | 145.11 | 96.74 |
| | 4 | 84 | 15.1 | 30 | 11.893 | 28148 | 179.1 | 157.18 | 104.79 |
| 15-250 AGUA LA QUERENCI A | 1 | 7 | 15.2 | 30.3 | 11.83 | 30485 | 181.5 | 168 | 67.20 |
| | 2 | 14 | 15.1 | 30.2 | 12.092 | 36003 | 179.1 | 201.05 | 80.42 |
| | 3 | 28 | 15.3 | 30 | 11.782 | 44451 | 183.9 | 241.77 | 96.71 |
| | 4 | 84 | 15.2 | 30.1 | 11.972 | 45923 | 181.5 | 253.08 | 101.23 |

Tablas generales de abrasión con los datos de todos los discos probados.

Abrasión en discos de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua potable.

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1-150 | 4062.00 | 4044.00 | 21.00 | 24.33 |
| | 4038.00 | 4013.00 | 25.00 | |
| | 4002.00 | 3975.00 | 27.00 | |
| 4-150 | 3775.00 | 3751.00 | 24.00 | 24.33 |
| | 4106.00 | 4089.00 | 22.00 | |
| | 4023.00 | 3997.00 | 27.00 | |
| 7-150 | 4050.00 | 4014.00 | 31.00 | 28.67 |
| | 4032.00 | 4004.00 | 28.00 | |
| | 4093.00 | 4066.00 | 27.00 | |
| 10-150 | 4041.00 | 4019.00 | 24.00 | 26.67 |
| | 4073.00 | 4047.00 | 27.00 | |
| | 4062.00 | 4033.00 | 29.00 | |
| 13-150 | 3992.00 | 3959.00 | 31.00 | 30.00 |
| | 4023.00 | 3988.00 | 30.00 | |
| | 4059.00 | 4030.00 | 29.00 | |
| PROMEDIO | | | | 26.80 |

Abrasión en discos de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua potable.

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1-250 | 3973.00 | 3955 | 18.00 | 17.00 |
| | 4103.00 | 4085 | 18.00 | |
| | 4062.00 | 4047 | 15.00 | |
| 4-250 | 3927.00 | 3911 | 16.00 | 18.33 |
| | 3960.00 | 3941 | 19.00 | |
| | 4017.00 | 3997 | 20.00 | |
| 7-250 | 3972.00 | 3952 | 20.00 | 17.33 |
| | 3955.00 | 3938 | 17.00 | |
| | 3916.00 | 3902 | 15.00 | |
| 10-250 | 3989.00 | 3972 | 17.00 | 20.67 |
| | 3976.00 | 3954 | 22.00 | |
| | 4112.00 | 4089 | 23.00 | |
| 13-250 | 3963.00 | 3943 | 19.00 | 23.33 |
| | 4082.00 | 4057 | 25.00 | |
| | 4121.00 | 4095 | 26.00 | |
| PROMEDIO | | | | 19.33 |

Abrasión en discos de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua de la planta de tratamiento "Miradores".

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 2-150 | 4072.00 | 4055.00 | 17.00 | 19.00 |
| | 4022.00 | 4000.00 | 22.00 | |
| | 4101.00 | 4083.00 | 18.00 | |
| 5-150 | 4016.00 | 3996.00 | 20.00 | 21.67 |
| | 3996.00 | 3975.00 | 21.00 | |
| | 4091.00 | 4067.00 | 24.00 | |
| 8-150 | 3931.00 | 3910.00 | 21.00 | 24.00 |
| | 3798.00 | 3770.00 | 28.00 | |
| | 3862.00 | 3839.00 | 23.00 | |
| 11-150 | 3912.00 | 3888.00 | 32.00 | 29.67 |
| | 3964.00 | 3937.00 | 28.00 | |
| | 4008.00 | 3979.00 | 29.00 | |
| 14-150 | 4103.00 | 4074.00 | 29.00 | 30.33 |
| | 4086.00 | 4056.00 | 30.00 | |
| | 4037.00 | 4005.00 | 32.00 | |
| PROMEDIO | | | | 24.93 |

Abrasión en discos de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ elaborados con agua de la planta de tratamiento "Miradores".

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 2-250 | 3964.00 | 3943 | 21.00 | 21.00 |
| | 4184.00 | 4173 | 24.00 | |
| | 4076.00 | 4058 | 18.00 | |
| 5-250 | 4192.00 | 4170 | 22.00 | 25.00 |
| | 4064.00 | 4038 | 25.00 | |
| | 4007.00 | 3979 | 28.00 | |
| 8-250 | 4059.00 | 4038 | 21.00 | 22.00 |
| | 4141.00 | 4123 | 18.00 | |
| | 4109.00 | 4082 | 27.00 | |
| 11-250 | 3999.00 | 3973 | 26.00 | 25.67 |
| | 3973.00 | 3944 | 29.00 | |
| | 4052.00 | 4018 | 22.00 | |
| 14-250 | 3949.00 | 3926 | 23.00 | 23.33 |
| | 4116.00 | 4094 | 22.00 | |
| | 4023.00 | 3998 | 25.00 | |
| PROMEDIO | | | | 23.40 |

Abrasión en discos de $f'c=150$ kg/cm² elaborados con agua de la planta de tratamiento “La Querencia”.

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 3-150 | 4151.00 | 4122.00 | 29.00 | 30.33 |
| | 4306.00 | 4278.00 | 28.00 | |
| | 4203.00 | 4169.00 | 34.00 | |
| 6-150 | 4033.00 | 3997.00 | 36.00 | 36.67 |
| | 4078.00 | 4045.00 | 33.00 | |
| | 4129.00 | 4088.00 | 41.00 | |
| 9-150 | 3889.00 | 3870.00 | 26.00 | 25.67 |
| | 3805.00 | 3781.00 | 24.00 | |
| | 3983.00 | 3956.00 | 27.00 | |
| 12-150 | 4000.00 | 3976.00 | 22.00 | 25.33 |
| | 3914.00 | 3887.00 | 25.00 | |
| | 3972.00 | 3943.00 | 29.00 | |
| 15-150 | 4012.00 | 3977.00 | 35.00 | 38.00 |
| | 4121.00 | 4082.00 | 39.00 | |
| | 4082.00 | 4040.00 | 40.00 | |
| PROMEDIO | | | | 31.20 |

Abrasión en discos de $f'c=250$ kg/cm² elaborados con agua de la planta de tratamiento “La Querencia”.

| MUESTRA | PESO INICIAL | PESO FINAL | GR. PERDIDOS | PROMEDIO |
|-----------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 3-250 | 4040.00 | 4015 | 25.00 | 23.33 |
| | 3926.00 | 3903 | 23.00 | |
| | 3960.00 | 3938 | 22.00 | |
| 6-250 | 4093.00 | 4062 | 31.00 | 27.00 |
| | 3991.00 | 3967 | 24.00 | |
| | 4038.00 | 4012 | 26.00 | |
| 9-250 | 3884.00 | 3853 | 31.00 | 32.67 |
| | 3912.00 | 3877 | 35.00 | |
| | 4014.00 | 3982 | 32.00 | |
| 12-250 | 3957.00 | 3935 | 22.00 | 26.67 |
| | 3958.00 | 3931 | 27.00 | |
| | 3974.00 | 3943 | 31.00 | |
| 15-250 | 3973.00 | 3955 | 18.00 | 19.33 |
| | 3928.00 | 3909 | 19.00 | |
| | 3951.00 | 3930 | 21.00 | |
| PROMEDIO | | | | 25.80 |

Tablas generales de Flexión con los datos de todas las vigas probadas.

Flexión en vigas de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

| VIGA | PESO | ANCHO | ALTO | LONGITUD | CARGA | M.R. |
|--------------------------------|-------|-------|------|----------|-------|-------|
| 1-150 AGUA POTABLE | 29.60 | 151 | 152 | 602 | 2.296 | 9.87 |
| 2-150 AGUA MIRADORES | 29.55 | 153 | 152 | 600 | 2.051 | 8.70 |
| 3-150 AGUA LA QUERENCIA | 28.80 | 150 | 151 | 600 | 2.316 | 10.16 |
| 4-150 AGUA POTABLE | 29.40 | 152 | 150 | 601 | 2.4 | 10.53 |
| 5-150 AGUA MIRADORES | 29.50 | 152 | 151 | 600 | 2.267 | 9.81 |
| 6-150 AGUA LA QUERENCIA | 29.20 | 149 | 151 | 603 | 1.924 | 8.49 |
| 7-150 AGUA POTABLE | 29.65 | 153 | 152 | 602 | 2.18 | 9.25 |
| 8-150 AGUA MIRADORES | 28.80 | 150 | 151 | 600 | 2.01 | 8.82 |
| 11-150 AGUA LA QUERENCIA | 28.55 | 155 | 150 | 601 | 2.334 | 10.04 |
| 9-150 AGUA POTABLE | 29.35 | 153 | 152 | 600 | 2.005 | 9.51 |
| 10-150 AGUA MIRADORES | 29.55 | 154 | 150 | 600 | 2.274 | 9.84 |
| 12-150 AGUA LA QUERENCIA | 29.15 | 154 | 150 | 601 | 2.239 | 9.69 |
| 13-150 AGUA POTABLE | 29.90 | 151 | 152 | 601 | 2.485 | 10.68 |
| 14-150 AGUA MIRADORES | 28.85 | 150 | 151 | 600 | 2.284 | 10.02 |
| 15-150 AGUA LA QUERENCIA | 29.10 | 152 | 150 | 600 | 2.217 | 9.72 |

Tablas generales de Flexión con los datos de todas las vigas probadas.

Flexión en vigas de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

| VIGA | PESO | ANCHO | ALTO | LONGITUD | CARGA | M.R. |
|--------------------------------|-------|-------|------|----------|-------|-------|
| 1-250 AGUA POTABLE | 29.85 | 151 | 152 | 620 | 2.737 | 11.77 |
| 2-250 AGUA MIRADORES | 30.30 | 153 | 151 | 600 | 2.638 | 11.34 |
| 3-250 AGUA LA QUERENCIA | 29.65 | 153 | 150 | 601 | 2.537 | 11.05 |
| 4-250 AGUA POTABLE | 29.95 | 151 | 152 | 600 | 2.673 | 11.49 |
| 5-250 AGUA MIRADORES | 30 | 153 | 152 | 601 | 2.584 | 10.96 |
| 6-250 AGUA LA QUERENCIA | 29.35 | 152 | 150 | 601 | 2.342 | 10.27 |
| 7-250 AGUA POTABLE | 29.5 | 151 | 152 | 601 | 2.47 | 10.62 |
| 8-250 AGUA MIRADORES | 29.65 | 153 | 150 | 601 | 2.617 | 11.40 |
| 11-250 AGUA LA QUERENCIA | 29.1 | 152 | 151 | 600 | 2.624 | 11.36 |
| 9-250 AGUA POTABLE | 29.5 | 152 | 152 | 601 | 2.429 | 10.37 |
| 10-250 AGUA MIRADORES | 29.4 | 153 | 151 | 600 | 3.102 | 13.34 |
| 12-250 AGUA LA QUERENCIA | 29.5 | 154 | 151 | 600 | 2.476 | 10.58 |
| 13-250 AGUA POTABLE | 29.55 | 152 | 150 | 601 | 2.576 | 11.30 |
| 14-250 AGUA MIRADORES | 30.1 | 151 | 152 | 600 | 2.593 | 11.15 |
| 15-250 AGUA LA QUERENCIA | 29.7 | 152 | 150 | 600 | 2.489 | 10.92 |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Primera prueba en mezclas de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 1 (150 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|------------|-------|------|----------------|--------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 | |
| | | NO. | MM | | CM | LB-F | | KG-F |
| AGUA POTABLE | 9 : 40 | | | | | | | |
| | 12 : 40 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 6 | 2.722 | 0.84 |
| | 13 : 40 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 30 | 13.61 | 4.18 |
| | 14 : 40 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 53 | 24.04 | 37.21 |
| | 15 : 40 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 25 | 11.34 | 71.30 |
| | 16 : 40 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 91 | 41.28 | 259.54 |
| | 17 : 40 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 120 | 54.43 | 342.25 |
| | 18 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 9 : 50 | | | | | | | |
| | 12 : 50 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 15 | 6.804 | 2.09 |
| | 13 : 50 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 59 | 26.76 | 8.23 |
| | 14 : 50 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 74 | 33.57 | 51.95 |
| | 15 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 69 | 31.3 | 196.79 |
| | 16 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 107 | 48.54 | 305.17 |
| | 17 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 18 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 10 : 0 | | | | | | | |
| | 13 : 0 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 20 | 9.072 | 2.79 |
| | 14 : 0 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 64.5 | 29.26 | 9.00 |
| | 15 : 0 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 105 | 47.63 | 73.72 |
| | 16 : 0 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 73 | 33.11 | 208.20 |
| | 17 : 0 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 126 | 57.15 | 359.36 |
| | 18 : 0 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 0 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 0 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Segunda prueba en mezclas de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 2 (150 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|------------|-------|------|----------------|--------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 | |
| | | NO. | MM | | CM | LB-F | | KG-F |
| AGUA POTABLE | 9 : 10 | | | | | | | |
| | 12 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 13 : 10 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 70 | 31.75 | 9.76 |
| | 14 : 10 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 96 | 43.55 | 27.19 |
| | 15 : 10 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 49 | 22.23 | 68.66 |
| | 16 : 10 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 163 | 73.94 | 228.40 |
| | 17 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 160 | 72.58 | 456.33 |
| | 18 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 9 : 30 | | | | | | | |
| | 12 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 13 : 30 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 90 | 40.82 | 12.55 |
| | 14 : 30 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 86 | 39.01 | 60.38 |
| | 15 : 30 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 136 | 61.69 | 190.57 |
| | 16 : 30 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 190 | 86.18 | 541.89 |
| | 17 : 30 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 200 | 90.72 | 570.41 |
| | 18 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 9 : 50 | | | | | | | |
| | 12 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 13 : 50 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 44 | 19.96 | 6.14 |
| | 14 : 50 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 130 | 58.97 | 36.82 |
| | 15 : 50 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 52 | 23.59 | 72.86 |
| | 16 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 115 | 52.16 | 327.99 |
| | 17 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 167 | 75.75 | 476.29 |
| | 18 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Tercera prueba en mezclas de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 3 (150 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|------------|-------|-------|----------------|--------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 | |
| | | NO. | MM | | CM | LB-F | | KG-F |
| AGUA POTABLE | 10 : 50 | | | | | | | |
| | 13 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 14 : 50 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 19 | 8.618 | 2.65 |
| | 15 : 50 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 47 | 21.32 | 33.00 |
| | 16 : 50 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 65 | 29.48 | 45.63 |
| | 17 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 93 | 42.18 | 265.24 |
| | 18 : 50 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 113 | 51.26 | 322.28 |
| | 19 : 50 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 20 : 50 | | | 0 | 0.000 | 200 | 90.72 | |
| | 11 : 10 | | | | | | | |
| | 14 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 15 : 10 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 24 | 10.89 | 3.35 |
| | 16 : 10 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 41 | 18.6 | 28.78 |
| | 17 : 10 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 68 | 30.84 | 47.74 |
| | 18 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 95 | 43.09 | 270.94 |
| | 19 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 125 | 56.7 | 356.51 |
| AGUA LA QUERENCIA | 20 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 11 : 20 | | | | | | | |
| | 14 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 15 : 20 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 21 | 9.526 | 2.93 |
| | 16 : 20 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 54 | 24.49 | 37.91 |
| | 17 : 20 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 79 | 35.83 | 55.46 |
| | 18 : 20 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 100 | 45.36 | 285.20 |
| 19 : 20 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 165 | 74.84 | 470.59 | |
| 20 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | | |
| 21 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Cuarta prueba en mezclas de $f'c=150 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 4 (150 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|-------|------------|-------|-------|----------------|
| | FECHA: | | | | | HORA: | | |
| | HORA | DIAMETRO | | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 |
| | | NO. | MM | CM | | LB-F | KG-F | |
| AGUA POTABLE | 10 : 15 | | | | | | | |
| | 13 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 14 : 15 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 27 | 12.25 | 3.77 |
| | 15 : 15 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 89 | 40.37 | 25.21 |
| | 16 : 15 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 60 | 27.22 | 42.12 |
| | 17 : 15 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 95 | 43.09 | 270.94 |
| | 18 : 15 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 125 | 56.7 | 356.51 |
| | 19 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 15 | | | 0 | | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 10 : 35 | | | | | | | |
| | 13 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 14 : 35 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 38 | 17.24 | 5.30 |
| | 15 : 35 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 100 | 45.36 | 28.32 |
| | 16 : 35 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 72 | 32.66 | 50.55 |
| | 17 : 35 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 104 | 47.17 | 296.61 |
| | 18 : 35 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 134 | 60.78 | 382.17 |
| | 19 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 10 : 55 | | | | | | | |
| | 13 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 14 : 55 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 28 | 12.7 | 3.90 |
| | 15 : 55 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 122 | 55.34 | 34.55 |
| | 16 : 55 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 88 | 39.92 | 61.78 |
| | 17 : 55 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 110 | 49.9 | 313.73 |
| | 18 : 55 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 154 | 69.85 | 439.22 |
| | 19 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Primera prueba en mezclas de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 1 (250 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|-------|------------|-------|-------|----------------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 |
| | | NO. | MM | CM | | LB-F | KG-F | |
| AGUA POTABLE | 10 : 5 | | | | | | | |
| | 13 : 5 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 22 | 9.979 | 3.07 |
| | 14 : 5 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 83 | 37.65 | 23.51 |
| | 15 : 5 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 89 | 40.37 | 124.71 |
| | 16 : 5 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 125 | 56.7 | 356.51 |
| | 17 : 5 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 18 : 5 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 5 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 5 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 10 : 25 | | | | | | | |
| | 13 : 25 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 16 | 7.258 | 2.23 |
| | 14 : 25 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 66 | 29.94 | 18.69 |
| | 15 : 25 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 85 | 38.56 | 119.11 |
| | 16 : 25 | 5TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 147 | 66.68 | 419.25 |
| | 17 : 25 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 18 : 25 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 25 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 25 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 10 : 45 | | | | | | | |
| | 13 : 45 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 20 | 9.072 | 2.79 |
| | 14 : 45 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 72 | 32.66 | 20.39 |
| | 15 : 45 | 5TO | 6.42 | 0.642 | 0.324 | 76 | 34.47 | 106.49 |
| | 16 : 45 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 163 | 73.94 | 464.88 |
| | 17 : 45 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 18 : 45 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 45 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 45 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Segunda prueba en mezclas de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 2 (250 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|------------|-------|------|----------------|--------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 | |
| | | NO. | MM | | CM | LB-F | | KG-F |
| AGUA POTABLE | 10 : 10 | | | | | | | |
| | 13 : 10 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 14 | 6.35 | 1.95 |
| | 14 : 10 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 52 | 23.59 | 14.73 |
| | 15 : 10 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 146 | 66.23 | 102.50 |
| | 16 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 94 | 42.64 | 268.09 |
| | 17 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 165 | 74.84 | 470.59 |
| | 18 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 10 : 20 | | | | | | | |
| | 13 : 20 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 15 | 6.804 | 2.09 |
| | 14 : 20 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 48 | 21.77 | 13.59 |
| | 15 : 20 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 114 | 51.71 | 80.03 |
| | 16 : 20 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 114 | 51.71 | 325.13 |
| | 17 : 20 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 195 | 88.45 | 556.15 |
| | 18 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 10 : 30 | | | | | | | |
| | 13 : 30 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 10 | 4.536 | 1.39 |
| | 14 : 30 | 3RO | 14.28 | 1.428 | 1.602 | 42 | 19.05 | 11.90 |
| | 15 : 30 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 112 | 50.8 | 78.63 |
| | 16 : 30 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 122 | 55.34 | 347.95 |
| | 17 : 30 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 207 | 93.9 | 590.37 |
| | 18 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 30 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Tercera prueba en mezclas de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 3 (250 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|-------|------------|-------|------|----------------|--------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 | |
| | | NO. | MM | | CM | LB-F | | KG-F |
| AGUA POTABLE | 11 : 40 | | | | | | | |
| | 14 : 40 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 18 | 8.165 | 2.51 |
| | 15 : 40 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 50 | 22.68 | 35.10 |
| | 16 : 40 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 88 | 39.92 | 61.78 |
| | 17 : 40 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 127 | 57.61 | 362.21 |
| | 18 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 40 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 11 : 10 | | | | | | | |
| | 14 : 10 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 13 | 5.897 | 1.81 |
| | 15 : 10 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 42 | 19.05 | 29.49 |
| | 16 : 10 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 90 | 40.82 | 63.18 |
| | 17 : 10 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 110 | 49.9 | 313.73 |
| | 18 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 10 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 11 : 20 | | | | | | | |
| | 14 : 20 | 2DO | 20.35 | 2.035 | 3.253 | 17 | 7.711 | 2.37 |
| | 15 : 20 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 54 | 24.49 | 37.91 |
| | 16 : 20 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 100 | 45.36 | 70.20 |
| | 17 : 20 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 130 | 58.97 | 370.77 |
| | 18 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| 21 : 20 | | | 0 | 0.000 | | 0 | | |

Tablas detalladas de las pruebas de tiempo de fraguado.

Cuarta prueba en mezclas de $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$.

| MEZCLA | T F 4 (250 KG/CM2) | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|----------|------|-------|------------|-------|-------|----------------|
| | FECHA: | | | | HORA: | | | |
| | HORA | DIAMETRO | | | AREA (CM2) | CARGA | | PRESION KG/CM2 |
| | | NO. | MM | CM | | LB-F | KG-F | |
| AGUA POTABLE | 11 : 15 | | | | | | | |
| | 14 : 15 | 2DO | 20.4 | 2.04 | 3.269 | 20 | 9.072 | 2.78 |
| | 15 : 15 | 3RO | 14.3 | 1.43 | 1.606 | 96 | 43.55 | 27.11 |
| | 16 : 15 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 138 | 62.6 | 96.88 |
| | 17 : 15 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 116 | 52.62 | 330.84 |
| | 18 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 15 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA MIRADORES | 11 : 35 | | | | | | | |
| | 14 : 35 | 2DO | 20.4 | 2.04 | 3.269 | 24 | 10.89 | 3.33 |
| | 15 : 35 | 3RO | 14.3 | 1.43 | 1.606 | 100 | 45.36 | 28.24 |
| | 16 : 35 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 145 | 65.77 | 101.80 |
| | 17 : 35 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 128 | 58.06 | 365.06 |
| | 18 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 35 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| AGUA LA QUERENCIA | 11 : 55 | | | | | | | |
| | 14 : 55 | 2DO | 20.4 | 2.04 | 3.269 | 16 | 7.258 | 2.22 |
| | 15 : 55 | 3RO | 14.3 | 1.43 | 1.606 | 90 | 40.82 | 25.42 |
| | 16 : 55 | 4TO | 9.07 | 0.907 | 0.646 | 160 | 72.58 | 112.33 |
| | 17 : 55 | 6TO | 4.5 | 0.45 | 0.159 | 148 | 67.13 | 422.10 |
| | 18 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 19 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 20 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |
| | 21 : 55 | | | 0 | 0.000 | | 0 | |