

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CURADO DE CONCRETO EN OBRA Y LABORATORIO,
EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO – 2017”**

TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Lizbeth Fiorella LOYA OLIVERA

ASESOR:

Mg. Saturnino FLORES COAGUILA

CERRO DE PASCO - PERU

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN
DEL CURADO DE CONCRETO EN OBRA Y LABORATORIO,
EN EL DISTRITO DE YANACANCHA, PASCO – 2017”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Bach. Lizbeth Fiorella LOYA OLIVERA

SUSTENTADO Y APROBADO ANTE LA COMISIÓN DE JURADOS:

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
Presidente

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO
Miembro

Ing. Pedro YARASCA CÓRDOVA
Miembro

CERRO DE PASCO - PERU

2018

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Olinda y Fernando, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron.

A mis hermanos, Ronald, Osmar, Cinthya, Freddy, Christian y Erick por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

RESUMEN

El desarrollo de la siguiente investigación es que curado del concreto es algo de lo que todos hablan, pero pocos saben exactamente qué es y cómo debe hacerse para obtener óptimos resultados. No existe foro dedicado al tema del curado como la herramienta más económica y eficaz para garantizar una obra durable, resistente y libre de grietas.

Es por este motivo que la presente investigación recopila la información más relevante disponible actualmente en la literatura sobre este tema, así como también por medio de ensayos se muestra la importancia de tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar en el que se va a aplicar el curado, en nuestro estudio la ciudad de Pasco

Por lo que se realizara una investigación de campo y laboratorio de los materiales del concreto para luego dosificar un concreto de resistencia a la compresión 210 Kg/cm² a los 28 días de edad.

Con este concreto se realizará testigos con medidas estandarizadas para después someterlos a distintas técnicas de curado, Determinando concreto que superan los 210 kg/cm² como diseño patrón llegando hasta un máximo en este estudio de 294 Kg/cm². Finalmente se determina las ventajas y desventajas que tiene cada técnica de curado y manifestando la necesidad de curar una estructura de concreto y de otras unidades estructurales que tengan como base el material de concreto.

Palabras claves: Curado del Concreto, Resistencia a la Compresión.

SUMMARY

The development of the following research is that curing concrete is something everyone talks about, but few know exactly what it is and how it should be done to obtain optimal results. There is no forum dedicated to the subject of curing as the most economic and effective tool to guarantee a durable, resistant and crack free work.

It is for this reason that the present investigation collects the most relevant information currently available in the literature on this subject, as well as through trials shows the importance of taking into account the environmental conditions of the place where the application will be applied. cured, in our studio the city of Pasco

Therefore, a field and laboratory investigation of the materials of the concrete will be carried out to then dose a concrete of resistance to the understanding 210 Kg / cm² at 28 days of age.

With this concrete will be made witnesses with standardized measurements and then subject them to different curing techniques, determining concrete that exceed 210 kg / cm² as standard design reaching a maximum in this study of 294 Kg / cm². Finally, the advantages and disadvantages of each curing technique are determined and the need to cure a concrete structure and other structural units based on concrete material.

Keywords: Concrete Curing, Resistance to Compression.

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
CAPÍTULO I	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1 <i>Problema principal</i>	13
1.2.2 <i>Problemas específicos</i>	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	13
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	13
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.5 IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.5.1 <i>Importancia</i>	15
1.5.2 <i>Alcances</i> :	15
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO	16
2.1.1. <i>Antecedentes Internacionales</i>	18
2.1.2. <i>Antecedentes Nacionales</i>	22
2.2. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS.....	23
2.2.1. <i>El Concreto</i>	23
2.2.1.1. <i>Definición</i>	23
2.2.1.2. <i>Características del concreto</i>	26
2.2.1.2.1. <i>Características mecánicas del concreto</i>	26
2.2.1.2.2. <i>Características Físicas Del Concreto</i>	27
2.2.1.2.3. <i>Fraguado Y Endurecimiento</i>	28
2.2.1.3. <i>Parámetros Básicos En El Comportamiento Del Concreto</i>	30
2.2.1.4. <i>Materiales Intervinientes En El Concreto</i>	32
2.2.1.4.1. <i>Cemento</i>	32
2.2.1.4.2. <i>Agua</i>	36
2.2.1.4.3. <i>Agregados</i>	39
2.2.1.4.4. <i>Aditivos</i>	43
2.2.1.5. <i>Clasificación del concreto</i>	42
2.2.1.5.1. <i>Por el peso específico</i>	53
2.2.1.5.2. <i>Según Su Aplicación</i>	53
2.2.1.5.3. <i>Por Su Resistencia</i>	53
2.2.1.6. <i>Criterios A Tener En Cuenta Para La Fabricación Del Concreto</i>	52
2.2.2. <i>El Curado Del Concreto</i>	64
2.2.3. <i>Resistencia A La Compresión Del Concreto</i>	76
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	78
2.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	82
2.4.1. <i>Hipótesis genéricas</i>	82

2.4.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	82
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	82
2.5.1.	<i>Variable Independiente</i>	82
2.5.2.	<i>Variable Dependiente</i>	83
2.5.3.	<i>Variable Interviniente</i>	83
CAPÍTULO III		84
	METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	84
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	84
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	85
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA	85
3.3.1.	<i>Población:</i>	85
3.3.2.	<i>Muestra:</i>	85
3.4.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	86
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	87
3.5.1.	<i>Técnicas</i>	87
3.5.2.	<i>Instrumentos</i>	88
3.6.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	88
3.7.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	88
CAPÍTULO IV		89
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
4.1.	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE CUADROS	95
4.1.1.	RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CURADO EN OBRA 95	
4.1.2.	RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CURADO EN LABORATORIO	100
4.2.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS, TABLAS, GRÁFICOS, FIGURAS, ETC.	101
4.2.1.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO CURADO EN OBRA	101
4.2.2.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO EN LABORATORIO	110
4.3.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	112
4.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	112
CONCLUSIONES		116
RECOMENDACIONES		117
BIBLIOGRAFÍA		118

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: REQUISITOS FÍSICOS OBLIGATORIOS DE LOS TIPOS DE CEMENTO (FUENTE: NTP)	35
TABLA 2: REQUISITOS QUÍMICOS OBLIGATORIOS DE LOS TIPOS DE CEMENTO FUENTE: NTP 339.009	36
TABLA 3: LÍMITES PERMISIBLES PARA EL AGUA DE MEZCLA Y CURADO SEGÚN NTP 339.088	39
TABLA 4: REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO GRUESO, FUENTE: NTP 400.037	62
TABLA 5: REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS PARA EL AGREGADO FINO	62
TABLA 6: DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO	90
TABLA 7: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON ROCIADOR DE AGUA	96
TABLA 8: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON MANTAS HÚMEDAS	97
TABLA 9: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON ADITIVO CURADOR	98
TABLA 10: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON MANTAS HÚMEDAS	99
TABLA 11: RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO SUMERGIDO	100
TABLA 12: PROMEDIOS DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON ROCIADO DE AGUA	102
TABLA 13: PROMEDIOS DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO POR INMERSIÓN O SUMERGIDO	110
TABLA 14: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE LOS CURADOS DE CONCRETO	113
TABLA 15: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE LOS CURADOS DEL CONCRETO	115

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ILUSTRACIÓN 1: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO-CURADO MEDIANTE ROCIADO CON AGUA	102
ILUSTRACIÓN 2: GRÁFICO N°4.2.- RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -CURADO MEDIANTE ROCIADO DE AGUA	103
ILUSTRACIÓN 3: PROMEDIOS DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON MANTAS HÚMEDAS	104
ILUSTRACIÓN 4: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO-CURADO CON MANTAS HÚMEDAS	104
ILUSTRACIÓN 5: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -CURADO CON MANTAS HÚMEDAS	105
ILUSTRACIÓN 6: PROMEDIOS DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON ADITIVO CURADOR MEMBRANIL	106
ILUSTRACIÓN 7: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO-CURADO CON ADITIVO MEMBRANIL CURADOR	107
ILUSTRACIÓN 8: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -CURADO CON ADITIVO MEMBRANIL CURADOR	107
ILUSTRACIÓN 9: PROMEDIOS DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO CURADO CON EL MEDIO AMBIENTE	108
ILUSTRACIÓN 10: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO-CURADO CON EL MEDIO AMBIENTE	108
ILUSTRACIÓN 11: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -CURADO CON EL MEDIO AMBIENTE	109
ILUSTRACIÓN 12: % DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS TIEMPO-CURADO BAJO INMERSIÓN O SUMERGIDO	111
ILUSTRACIÓN 13: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN -CURADO BAJO INMERSIÓN O SUMERGIDO	111

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la investigación relacionada con las construcciones de concreto se ha centrado en el desarrollo de nuevos tipos de concreto; como lo son: los concretos autocompactantes, los concretos autonivelantes, los concretos con fibras y los concretos de altas resistencia, ya que, de esta manera, se pueden alcanzar objetivos muy ambiciosos, aunque en todos los casos se debe tener en cuenta un factor muy importante para su ejecución como es el curado.

Por otro lado, el ACI 308R establece que el curado tiene una influencia significativa sobre las propiedades del concreto endurecido. Por lo tanto, un buen curado es necesario para tener un hormigón de buena calidad.

Para ello se ha realizado el ensayo de resistencia a la compresión en diferentes tipos de curado, llegándose así a conocerse los resultados, descrito en el capítulo de resultados.

Capítulo I: Trata sobre la descripción de la realidad problemática, enfatizando en el planteamiento del problema, la determinación del problema, formulación del problema, objetivos, justificación e importancia.

El capítulo II: Presenta el marco teórico con la relevancia de las bases y argumentos de las teorías científicas que soportan a la tesis y el marco conceptual. En ello se aborda los antecedentes, la hipótesis y las variables en estudio.

En el capítulo III: Se desarrolló: el aspecto metodológico. Del mismo modo presenta la unidad de análisis con el tipo y nivel de la investigación acompañando los procesos de datos e instrumentos pertinentes de recolección y procesamiento de datos.

En el capítulo IV: Se presenta el análisis y resultados de la investigación con la constatación de la hipótesis y su discusión de los resultados.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones adicionadas por las referencias bibliográficas pertinentes y los anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema

Hoy en día, lograr una resistencia adecuada en las obras realizadas en base al concreto constituye un aspecto de vital importancia, es por ello que las normas se hacen cada día más exigentes.

En los últimos años, las investigaciones relacionadas con las construcciones de concreto se han centrado en el desarrollo de nuevos tipos de concreto, ya que de esta manera se pueden alcanzar objetivos ambiciosos en cuanto al costo y tiempo, se debe tener en cuenta también, un factor muy importante para su ejecución como es el caso del curado.

Si bien han sido propuestos muchos métodos para mejorar el curado del concreto en obra, métodos que consisten en tratamientos húmedos y otros en tratamientos para evitar la excesiva pérdida de humedad en la superficie del concreto, en la mayoría de las obras no se utilizan, ya sea por costos, dificultad de uso, tiempo de aplicación, o simplemente por desconocimiento de profesionales y trabajadores de obra.

The National Ready Mixed Concrete Association informa que el proceso de curado debe iniciarse una vez que inicie el proceso de fraguado del concreto y debe mantenerse hasta alcanzar por lo menos el 70% de la resistencia a la compresión para el que fue diseñado. Por ejemplo, si el concreto es diseñado para una resistencia a la compresión de 210 Kg/cm², se debe realizar el proceso de curado desde el inicio de fraguado hasta que el concreto llegue por lo menos a 150 Kg/cm².

Basados en lo anterior y sabiendo que el tiempo que se le dedica a esta actividad en las obras no es el requerido, resulta claro la importancia que conlleva a estudiar y utilizar materiales con nueva tecnología que pueden ayudar a dar como resultado resistencias a la compresión idóneas.

La actual situación de Pasco nos indica que la mayoría de las construcciones vienen realizándose en base a concreto, por ello existe la necesidad de investigar y ampliar conocimientos nuevos acerca de la calidad del mismo ya que depende directamente de la forma como se realiza el curado del concreto.

La presente investigación, por ello se enfocó en Evaluar el comportamiento de Resistencia a la Compresión del curado de concreto en obra y laboratorio, así como también al término del trabajo se cuenta con datos de Laboratorio que sostienen las conclusiones y recomendaciones a las que se llegó.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Cuál es la resistencia a la compresión del curado del concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son los diferentes métodos para el curado de concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha?
- ¿Qué variación tiene los tipos de curado de concreto realizados en obra con respecto al curado realizado en el laboratorio en el distrito de Yanacancha?
- ¿Qué tipo de curado de concreto en obra es más efectivo a realizarse en el distrito de Yanacancha?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha en el año 2017.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los diferentes métodos empleados para el curado de concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha.
- Evaluar la variación que tiene los tipos de curado de concreto realizados en obra con respecto al curado realizado en el laboratorio en el distrito de Yanacancha.

- Identificar el curado de concreto en obra es más efectivo a realizarse en el distrito de Yanacancha

1.4 Justificación del Problema

Durante la Ejecución de Proyectos de diferentes especialidades ha surgido diversos enfrentamientos entre el residente de obra y el supervisor, ya que difieren en los diferentes métodos para el curado en el concreto, en tal sentido es necesario conocer los métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del concreto tanto en laboratorio como in situ (Obra) para deslindar las dudas respecto a los procedimientos de concreto.

De esta manera, se ha considerado trascendente “Evaluar la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio, en el Distrito de Yanacancha, por las siguientes razones que detallan la justificación de la investigación:

a) Permitirá evaluar la variación que tienen los tipos de curado de concreto realizados en obra con respecto al curado realizado en el laboratorio, en el Distrito de Yanacancha.

b) Proporcionará información que será útil para los propios estudiantes, profesores, directivos, población, investigadores y demás personas interesadas.

c) Contribuirá al mejoramiento de la calidad en la construcción, al tratar un tema de gran magnitud concerniente a la problemática de la calidad del concreto en nuestra ciudad.

1.5 Importancia y Alcances de la Investigación

1.5.1 Importancia.

Uno de los principales factores en la calidad del concreto es el curado, ya que cuando las condiciones de curado han sido bien atendidas, el concreto resulta suficientemente resistente de acuerdo a lo diseñado.

En consecuencia, la revisión y análisis de los procesos de curado se vincula con una de las problemáticas actuales de la ingeniería, que es el aseguramiento de la resistencia a la compresión adecuada del concreto.

Es por ello que la presente investigación es importante, debido a que no se tiene una consideración de la relevancia del curado del concreto, y evaluar los resultados en cuanto a la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio es una forma de demostrar su necesaria realización.

1.5.2 Alcances:

La presente investigación puede ser aplicado a:

- Obras de Concreto en Edificaciones
- Obras de Concreto en Pavimentos
- Obras de Concreto en Estructuras de Soporte
- Obras de Concreto en Puentes

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

El curado es el proceso de controlar y mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto, durante la hidratación de los materiales cementantes, para el desarrollo de las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla.

Es importante que el proceso de curado se realice inmediatamente después de haber culminado las operaciones de acabado y la superficie del concreto haya perdido el brillo del agua. Si no se procede de esta manera, se corre el riesgo de que el secado pueda eliminar el agua necesaria para que se dé la reacción química llamada hidratación, de modo que el concreto no podrá alcanzar sus propiedades potenciales.

Mantener la humedad en el elemento de concreto a través de un adecuado curado no solo evita que el sol y el viento estropee o reseque

excesivamente el concreto recién vaciado, también evita la generación de fisuras por contracción plástica las cuales se producen debido a la pérdida de agua de exudación por evaporación.

Además, es importante considerar que el concreto alcanza un porcentaje significativo de su resistencia a los siete días de vaciada la mezcla, su resistencia en ese tiempo llegará aproximadamente al 70 % del $f'c$ requerido o señalado. La resistencia adicional para llegar al 100% está relacionada a la humedad que se le proporcione al concreto para hidratar el material cementante faltante, es por eso que la superficie debe mantenerse húmeda.

Si no se efectúa el correspondiente proceso de curado, se corre el riesgo de perder hasta un 30% de la resistencia por un secado prematuro y deficiente del concreto, lo que dará como resultado un material de pésima calidad.

Para evitar este último resultado con nuestro concreto, debemos al menos realizar un curado adecuado de la superficie del concreto durante siete días.

El Objetivo final del curado entonces es garantizar un buen contenido de humedad en el concreto, para que de esta forma desarrolle las características que lo transformarán en un material de alta resistencia y excelente calidad.

Habiendo realizado las investigaciones bibliográficas a nivel Internacional, Nacional y Local; encontramos la siguiente información referente a este trabajo de investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, núm. 10 (2012)
Estudio Experimental: "INFLUENCIA DEL CURADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON" Lucia Garín Adrián Santilli y Eduardo Pejoja, dentro del articulo menciona: 1

Resumen. -Este artículo presenta una comprobación experimental sobre la influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón. El estudio consiste en ensayar a compresión probetas provenientes de una misma mezcla de hormigón, pero sometidas a condiciones de humedad de curado distintas (100% y 50% de humedad). Las comprobaciones también fueron realizadas para diferentes dosificaciones. Por ejemplo, las mayores diferencias, en la resistencia a compresión del hormigón sometido a diferentes condiciones de curado, fueron obtenidas para las menores relaciones agua/cemento.

Importancia del curado del hormigón. - El hormigón se puede considerar como una mezcla en proporciones adecuadas de: áridos, cemento, aditivos y agua. El contacto del agua con el cemento provoca una reacción de hidratación la cual genera el endurecimiento de la mezcla.

La norma española EHE 2008 establece que durante el fraguado y primer período de endurecimiento, se debe asegurar que el hormigón tenga las condiciones adecuadas para su hidratación.

Neville estableció que las propiedades mecánicas del hormigón dependen en una mayor medida de los cambios en la microestructura de la

¹ Lucia Garin - Ingeniera Civil, Universidad de Montevideo, Adrian Santilli - Doctor Ingeniero, Universidad de Montevideo y Eduardo Pejoja - Doctor Ingeniero, Universidad de Montevideo "INFLUENCIA DEL CURADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON" Estudio Experimental-Memoria de Trabajos de Difusion Cientifica y Tecnica, num. 10 (2012)

pasta de cemento, que de la composición química de los productos hidratados. Por lo tanto, el volumen de poros capilares juega un papel importante en las propiedades mecánicas del hormigón.

Fernández considera que cuando las condiciones de curado no son las adecuadas para la evolución de la hidratación, ésta se ralentiza pudiendo llegar a interrumpirse.

Una de las causas que puede provocar la detención de la reacción de hidratación es la falta de agua libre, lo que conduce a una mayor porosidad y por ende a una menor resistencia a compresión.

González realza la importancia de realizar un buen curado para poder obtener una mayor resistencia característica del hormigón, lo cual refuerza el experimento realizado por Gonnerman y Shuman del cual se deduce un aumento en la resistencia a compresión del hormigón cuando se realiza un curado húmedo del material.

Una vez que el hormigón comienza a fraguar experimenta variaciones de volumen, las cuales son deformaciones no instantáneas. El tipo y magnitud de estas variaciones se ven afectadas, en forma importante, por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura.

García y Horstmann consideran a la retracción como una de las limitaciones más importantes de los hormigones convencionales. Se trata de una variación en el volumen de la mezcla, que se produce por varias razones (contenido de cemento, cantidad de agua, temperatura, etc.), siendo una de las causas más importantes que provocan la fisuración del hormigón. Esta inestabilidad dimensional se produce en el transcurso del fraguado, así como durante el endurecimiento por secado.

Soler considera que las consecuencias de la retracción son la aparición de fisuras y grietas superficiales y la creación de tensiones en el interior de la masa, con la consiguiente disminución de sus propiedades mecánicas.

Universidad Técnica De Ambato, Ambato-Ecuador, a través de la Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica, Carrera Ingeniería Civil, en el trabajo de titulación “EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS FINALES” de Carlos David Manobanda Laicam, en la parte de resumen nos indica que.²

El problema que existe para desarrollar la siguiente investigación es que curado del hormigón es algo de lo que todos hablan, pero pocos saben exactamente qué es y cómo debe hacerse para obtener óptimos resultados. No existe foro dedicado al tema de la durabilidad y del control del agrietamiento de hormigón donde no se mencione al curado como la herramienta más económica y eficaz para garantizar una obra durable, resistente y libre de grietas.

Es por este motivo que la presente investigación recopila la información más relevante disponible actualmente en la literatura sobre éste tema, así como también por medio de ensayos se muestra la importancia de tomar en cuenta las condiciones ambientales del lugar en el que se va a aplicar el curado, en nuestro estudio la ciudad de Ambato.

Por lo que se realizara una investigación bibliográfica y de campo de los agregados:

² Carlos David Manobanda Laicam,, (2013). “EL CURADO DEL HORMIGÓN Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS FINALES” (Tesis de pregrado). Carrera Ingeniería Civil.a través de la Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica De Ambato, Ambato-Ecuador,

Grueso (Ripio) y Fino (Arena) de la cantera “Planta de Trituración de Áridos Constructora Arias”; para luego dosificar un hormigón que alcanzara una resistencia de 210 Kg/cm² a los 28 días de edad y un asentamiento de 6,00 a 9,00 centímetros. Con este hormigón se realizará cilindros de prueba, para después someterlos a distintas técnicas de curado. Finalmente se determina la resistencia a la compresión de los testigos, evidenciando así las ventajas y desventajas que tiene cada técnica de curado y demostrando la necesidad de curar una estructura de hormigón.

Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo, en el artículo de investigación “INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CURADO HÚMEDO EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO EN CLIMA TROPICAL” de Rómel G. Solís-Carcaño, Eric I. Moreno y Carlos Serrano-Zebadua, en la parte de resumen nos indica que:³

El curado del concreto es uno de los principales medios para garantizar que el material alcance sus propiedades deseables. En algunas regiones existen indicios de que el concreto no reduce significativamente su resistencia aun sin curar, debido a condiciones climáticas favorables, a esto se le denomina curado natural. Sin embargo, es posible que la capa superficial del concreto sea vulnerable al efecto del intemperismo. Este estudio tuvo por objetivo determinar la influencia en el concreto del curado húmedo, tanto desde el punto de vista de su resistencia mecánica, como desde el punto de vista de su durabilidad; bajo un contexto de clima de sabana tropical y con la utilización de agregados calizos de alta absorción. Se fabricaron probetas con

³ Rómel G. Solís-Carcaño, Eric I. Moreno y Carlos Serrano-Zebadua. “INFLUENCIA DEL TIEMPO DE CURADO HÚMEDO EN LA RESISTENCIA Y DURABILIDAD DEL CONCRETO EN CLIMA TROPICAL” Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México

relación agua/cemento de 0.50 y fueron sujetas a diferentes lapsos de curado húmedo.

Los resultados mostraron poca influencia del curado en la resistencia a la compresión, y alta influencia en la permeabilidad del material, por lo que se concluyó que, en condiciones agresivas de exposición, el material debe ser siempre curado para mantenerlo durable, además de resistente.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Universidad de Ingeniería- Facultad de Ingeniería Civil – Tesis de Pregrado “INFLUENCIA DE LOS METODOS COMUNES DE CURADO EN LOS ESPECIMENES DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO” de Patricia Angélica Ruiz Enero en la parte de resumen nos indica que.⁴

La importancia del curado es cada día más evidente debido a que con los avances que existen en la tecnología del concreto, este ha dado origen a concretos que tienen una tasa de desarrollo de resistencia muy rápida. Debido a la ganancia rápida de resistencia del concreto, por ignorancia, existe la excusa de los contratistas de discontinuar el curado a una edad temprana. Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo ampliar los conocimientos acerca de los efectos que producen varias condiciones de curado en el desarrollo de las propiedades del concreto de alto desempeño. Para esto se realizó el estudio de la mezcla de concreto normal cuya relación de $a/c = 0.45$ y con asentamiento 3” - 4”, mientras que las mezclas de concreto de alto desempeño fueron generadas a partir del concreto “normal” con reducción de agua mediante la adición del aditivo superplastificante “sika

⁴ Patricia Angélica Ruiz Enero, (2006). “INFLUENCIA DE LOS METODOS COMUNES DE CURADO EN LOS ESPECIMENES DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO” (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de ingeniería-Lima-Peru,

viscocrete 20HE” en diferentes dosificaciones. Las mezclas de concreto generadas fueron sometidas a diferentes métodos de curado (curado húmedo, curado al ambiente y utilizando curador químico), y se ensayaron a los 1, 3,7 y 28 días. Para el método de curado químico se utilizó el curador “Antisol”, aplicándose solo una capa del curador sobre las probetas de concreto.

En cada uno de los ensayos del concreto al estado fresco y endurecido se realizó el análisis comparativo con respecto al concreto patrón y cuadro patrón.

El objetivo principal de la presente investigación es analizar la eficiencia de estos métodos de curado a fin de establecer su influencia en los concretos de alto desempeño (concreto con aditivo).

2.2. Bases teóricas Científicas

2.2.1. El Concreto

2.2.1.1. Definición

El concreto es un material durable y resistente, pero dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular.

El concreto de uso común, o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como una mezcla de concreto, se introduce de manera simultánea un quinto elemento representado por el aire.

La mezcla que resulta de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- a) Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida: Es decir que debe contemplarse la selección de un cementante apropiado, escogiendo el cemento según los requerimientos que implica el diseño y la exposición a la que se va a someter la estructura de concreto, así mismo se realizara el empleo de una relación agua/cemento conveniente y el uso eventual de un aditivo necesario; con todo lo cual debe resultar potencialmente asegurada la calidad de la matriz cementante.
- b) La calidad propia de los agregados: En cuanto a la calidad de los agregados, es importante adecuarla a las funciones que debe desempeñar la estructura, a fin de que no representen el punto débil en el comportamiento del concreto y en su capacidad para resistir adecuadamente y por largo tiempo los efectos consecuentes de las condiciones de exposición y servicio a que esté sometido.

c) La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto: La compatibilidad y el buen trabajo de conjunto de la matriz cementante con los agregados, depende de diversos factores tales como las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, y la forma, tamaño máximo y textura superficial de éstos.

De la esmerada atención a estos tres aspectos básicos, depende sustancialmente la capacidad potencial del concreto, como material de construcción, para responder adecuadamente a las acciones resultantes de las condiciones en que debe prestar servicio. Pero esto, sólo representa la previsión de emplear el material potencialmente adecuado, no basta para obtener estructuras resistentes y durables, pues requiere conjugarse con el cumplimiento de previsiones igualmente eficaces en cuanto al diseño, especificación, construcción y mantenimiento de las propias estructuras.

La principal característica estructural del Concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las sollicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura a compresión) sobre probetas de Concreto.

2.2.1.2. Características del concreto

2.2.1.2.1. Características mecánicas del concreto

La principal característica estructural del concreto es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas. Para determinar la resistencia se preparan ensayos mecánicos (ensayos de rotura) sobre probetas de concreto.

Para superar este inconveniente, se "arma" el concreto introduciendo barras de acero, conocido como concreto armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del concreto a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del concreto armado. Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el concreto, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado. Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del concreto de la pieza estructural, desarrollándose las

técnicas del concreto pretensado y el concreto postensado. Los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para concreto aportan múltiples mejoras en las propiedades del concreto.

Cuando se proyecta un elemento de concreto armado se establecen las dimensiones, el tipo de concreto, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento. Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del concreto un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

2.2.1.2.2. Características Físicas Del Concreto

Las principales características físicas del concreto, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a 2350 kg/m^3
- Resistencia a compresión: de 150 a 500 kg/cm^2 para el concreto ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta 2000 kg/cm^2 .
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.

- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
- De 24 a 48 horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana $3/4$ partes, y en 4 semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el concreto se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el concreto protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

2.2.1.2.3. Fraguado Y Endurecimiento

La pasta del concreto se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se caracteriza por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se observa de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie de concreto.

Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provocan el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad solo hay un único proceso de hidratación continuo.

En el cemento portland, el más frecuente empleado en los hormigones, el primer componente en reaccionar es el aluminato tricálcico con una duración rápida y corta (hasta 7-28 días). Después el silicato tricálcico, con una aportación inicial importante y continua durante bastante tiempo. A continuación, el silicato bicálcico con una aportación inicial débil y muy importante a partir de los 28 días.

El fenómeno físico de endurecimiento no tiene fases definidas. El cemento está en polvo y sus partículas o granos se hidratan progresivamente, inicialmente por contacto del agua con la superficie de los granos, formándose algunos compuestos cristalinos, compuestos microcristalinos asimilables a coloides que forman una película en la superficie del grano. A partir de entonces el endurecimiento continúa dominado por estas estructuras coloidales que envuelven los granos del cemento y a través de las cuales progresa la hidratación hasta el núcleo del grano.

El hecho de que pueda regularse la velocidad con que el cemento amasado pierde su fluidez y se endurece, lo hace un producto muy útil en construcción. Una reacción rápida de deshidratación y endurecimiento dificultaría su transporte y una cómoda puesta en obra rellenando todos los huecos en los encofrados. Una reacción lenta aplazaría de forma importante el desarrollo de resistencias mecánicas. En las fábricas de cemento se consigue controlando la cantidad de yeso que se añade al clinker de cemento. En la planta de concreto, donde se mezcla la pasta de cemento y agua con los áridos, también se pueden añadir productos que regulan el tiempo de fraguado.

En condiciones normales un concreto portland normal comienza a fraguar entre 30 y 45 minutos después de que ha quedado en reposo en los moldes y termina el fraguado trascurridas sobre 10 ó 12 horas. Después comienza el endurecimiento que lleva un ritmo rápido en los primeros días hasta llegar al primer mes, para después aumentar más lentamente hasta llegar al año donde prácticamente se estabiliza.

El endurecimiento del concreto depende a su vez de la lechada o pasta formada por el cemento y el agua, entre los que se desarrolla una reacción química que produce la formación de un coloide “gel”, a medida que se hidratan los componentes del cemento. La reacción de endurecimiento es muy lenta, lo cual permite la evaporación de parte del agua necesaria para la hidratación del cemento, que se traduce en una notable disminución de la resistencia final.

Es por ello que debe mantenerse húmedo el concreto recién colado, “curándolo”.

2.2.1.3. Parámetros Básicos En El Comportamiento Del Concreto

a. La trabajabilidad

Es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue). El grado de trabajabilidad apropiado para cada estructura, depende del tamaño y forma del elemento que se vaya a construir, de la disposición y tamaño del refuerzo y de los métodos de colocación y compactación. Los factores más importantes que influyen en la trabajabilidad de una mezcla son los siguientes:

- La gradación, la forma y textura de las partículas

- Las proporciones del agregado
- La cantidad del cemento
- El aire incluido
- Los aditivos y la consistencia de la mezcla.

Un método indirecto para determinar la trabajabilidad de una mezcla consiste en medir su consistencia o fluidez por medio del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams. El requisito de agua es mayor cuando los agregados son más angulares y de textura áspera (pero esta desventaja puede compensarse con las mejoras que se producen en otras características, como la adherencia con la pasta de cemento).

b. La resistencia

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto, pero otras como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste son a menudo de similar importancia.

c. Durabilidad

El concreto debe poder soportar aquellas exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio tales como congelación y deshielo, ciclos repetidos de mojado y secado, calentamiento y enfriamiento, sustancias químicas, ambiente marino y otras. La resistencia a algunas de ellas puede fomentarse mediante el uso de ingredientes especiales como:

- Cemento de bajo contenido de álcalis, puzolanas o agregados seleccionados para prevenir expansiones dañinas debido a la

reacción álcalis - agregados que ocurre en algunas zonas cuando el concreto está expuesto a un ambiente húmedo.

- Cementos o puzolanas resistentes a los sulfatos para concretos expuestos al agua de mar o en contacto con suelos que contengan sulfatos; o agregados libres de excesivas partículas suaves, cuando se requiere resistencia a la abrasión superficial.

La utilización de bajas relaciones a/c prolongara la vida útil del concreto reduciendo la penetración de líquidos agresivos.

La resistencia a condiciones severas de intemperie, particularmente a congelación y deshielo y a sales utilizadas para eliminar hielo, se mejora notablemente incorporando aire correctamente distribuido. El aire inyectado debe utilizarse en todo concreto en climas donde se presente la temperatura del punto de congelación.

2.2.1.4. Materiales Intervinientes En El Concreto

2.2.1.4.1. Cemento

El cemento es uno de los componentes más importantes para la producción del concreto. En esencia, es un material aglomerante, que con la ayuda del agua, tiene la capacidad de unir a los demás agregados del concreto y formar la pasta. Para que ello suceda, debe ocurrir un proceso conocido como hidratación, el cual se da al entrar en contacto con el agua. El cemento posee distintos compuestos, siendo los cuatro más importantes el silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico. Además de estos compuestos principales existen otros que tienen un rol menos preponderante en el proceso de hidratación.

La composición química de las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento hidráulico está compuesta por varios elementos como son:

- Óxido de calcio (CaO) aportado por la cal.
- Dióxido de silicio (SiO₂), el cual se encuentra en la arcilla junto con el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), y la adición del regulador del fraguado que es el yeso, el cual contiene trióxido de azufre (SO₃).

En la etapa de sinterización (tratamiento térmico a temperatura menor que el punto de fusión) durante la fabricación del clínker, se producen los componentes principales o potenciales que constituyen el 95% de dicho material, los cuales se conocen como mineral, debido a las impurezas de las materias primas. Al silicato tricálcico se le conoce como Alita (C₃S), al silicato dicálcico se le denomina Belita (C₂S), el ferrito aluminato tetracálcico (C₄AF) es la ferrita y celita al aluminato tricálcico (C₃A). El motivo de añadir yeso al cemento es para retardar (controlar) el fraguado, ya que si solo se muele el clínker, al mezclarlo con el agua fraguaría casi inmediatamente, y no permitiría ni su manipulación ni su instalación. La retardación de la hidratación inicial del cemento depende de la presencia de los iones SO₄.

Por otro lado, existen diversos tipos de cemento en el mercado:

Tipo I

Cemento de uso general. Es utilizado en construcción en donde no se necesiten solicitaciones específicas en el concreto. En el Perú, es el cemento con mayor demanda debido al menor costo frente a los demás tipos.

Tipo II

El cemento de tipo II presenta la propiedad de moderada resistencia a los sulfatos y se puede utilizar en las cimentaciones que se encuentren expuestas a una baja concentración de sulfatos que pueden estar contenidos en suelos o aguas subterráneas.

Tipo III

El cemento tipo III se caracteriza por desarrollar alta resistencia a tempranas edades a los 3 y 7 días. Esto se debe por el cemento obtenido durante la molienda es más fino. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar los encofrados lo más pronto posible.

Tipo IV

El cemento tipo IV es conocido por presentar bajo calor de hidratación, proceso que ocurre al entrar en contacto el agua con el cemento. Generalmente, se utiliza cuando se presentan vaciados de gran volumen.

Tipo V

EL cemento tipo V se utiliza cuando se requiere alta resistencia a los sulfatos, por lo general en construcciones cerca a las playas en donde hay presencia de estos agentes salinos. Sin embargo, actualmente, se utiliza con mayor frecuencia el cemento puzolánico o IP, el cual presenta mejores características y propiedades frente al ataque conjunto de sales como sulfatos y cloruros.

También existen cementos poco convencionales producidos en Estados Unidos: Cemento Hidráulicos de Escoria, Cemento Portland Modificado, otros cementos especiales.

Requisitos Técnicos de los cementos: Se muestran de acuerdo a las Normas Técnica Peruanas NTP 339.009, los requisitos físicos y químicos de los cementos Portland.

Requisitos físicos obligatorios.

Tabla 1: Requisitos físicos obligatorios de los tipos de cemento (Fuente: NTP)

Requisitos Físicos	Tipos					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Resistencia la Compresión mín Kg/cm ²						
3 días	120	100	80	100	130	130
7 días	190	170	150	170	200	200
28 días	280*	280*	210	280*	250	250
Tiempo de fraguado, minutos						
Inicial, mínimo	45	45	45	45	45	45
Final, máximo	375	375	375	420	420	420
Expansión en autoclave, % máximo	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Resistencia a los Sulfatos % máximo de expansión	--	--	0.04* 14 días	0.10 6meses	0.10* 6meses	--
Calor de Hidratación, máx, KJ/Kg						
7 días	--	290*	--	--	290*	--
28 días	--	--	--	--	330*	--

Tabla 2: Requisitos químicos obligatorios de los tipos de cemento Fuente:

NTP 339.009

Requisitos Químicos	Tipo					
	I	II	V	MS	IP	ICo
Óxido de Magnesio (MgO), máx, %	6.0	6.0	6.0	--	6.0	6.0
Trióxido de Azufre (SO ₃), máx, %	3.5	3.0	2.3	--	4.0	4.0
Pérdida por Ignición, máx, %	3.0	3.0	3.0	--	5.0	8.0
Residuo Insoluble, máx, %	0.75	0.75	0.75	--	--	--
Aluminato tricálcico (C ₃ A), máx, %	--	8	5	--	--	--
Álcalis equivalentes (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O), máx, %	0.6*	0.6*	0.6*	--	--	--

2.2.1.4.2. Agua

Al unirse el agua con el cemento, como se ha explicado anteriormente, ocurre la hidratación produciéndose así la pasta. Por otro lado, el agua utilizada en la producción del concreto debe ser potable, es decir, que no tenga alto contenido de sales, ácidos, álcalis y materias orgánicas. Además de su función como hidratante, ayuda a la mejora de la trabajabilidad de la mezcla.

Las aguas potables y aquellas que no tengan sabores u olores pueden ser utilizadas para preparar concreto, sin embargo algunas aguas no potables también pueden ser usadas si cumplen con algunos requisitos, en nuestro país es frecuente trabajar con aguas no potables sobre todo cuando se tratan de obras en las afueras de las ciudades.

El estudio de las características del agua a utilizar en la mezcla del concreto adquiere gran importancia ya que este material interviene en la reacción química con el material cementante (cemento) para lograr:

En estado fresco:

Faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.

En estado endurecido:

La conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas. Es importante conocer la velocidad de reacción entre el cemento y el agua porque esta velocidad determinara el tiempo de fraguado y de endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que conceda tiempo al transporte y colocación del concreto. Sin embargo, una vez que el concreto ha sido colocado y terminado, es deseable tener un endurecimiento rápido. El yeso, que es adicionado en el molino de cemento durante la molienda del Clinker, actúa como regulador de la velocidad inicial de hidratación del cemento Portland. Otros factores que influyen en la velocidad de hidratación incluyen la finura de la molienda, los aditivos, la cantidad de agua adicionada y la temperatura de los materiales en el momento del mezclado.

Curado del concreto:

El aumento de resistencia continuará con la edad mientras se encuentre cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca

Favorablemente la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto sea aproximadamente del 80% o la temperatura

del concreto descienda por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene.

Si se vuelve a saturar el concreto luego de un periodo de secado, la hidratación se reanuda y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo lo mejor es aplicar el curado húmedo al concreto de manera continua desde el momento en que se ha colocado hasta cuando haya alcanzado la calidad deseada debido a que el concreto es difícil de restaurar.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto.

Debe recordarse, que no todas las aguas inadecuadas para beber son inconvenientes para preparar concreto. En general, dentro de las limitaciones, el agua de mezclado deberá estar libre de sustancias colorantes, aceites y azúcares.

El agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en éste.

Previamente a su empleo, será necesario investigar y asegurarse que la fuente de provisión no está sometida a influencias que puedan modificar su composición y características con respecto a las conocidas que permitieron su empleo con resultados satisfactorios.

Requisitos de calidad

El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia

potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse.

La Norma Peruana NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas aguas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites:

Tabla 3: Límites permisibles para el agua de mezcla y curado según NTP 339.088

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE		
Sólidos en suspensión (residuo insoluble)	5,000	ppm	Máximo
Materia Orgánica	3	ppm	Máximo
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000	ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO ₄)	600	ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl ⁻)	1,000	ppm	Máximo
pH	5 a 8		Máximo

Recomendaciones Adicionales:

- El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.
- Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua, determinada por análisis de Laboratorio, deberá ser aprobada por la Supervisión.
- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los que se ha utilizado en la preparación del concreto el agua de la fuente elegida.

2.2.1.4.3. Agregados

La norma técnica peruana de concreto armado E 0.60, define a los agregados de la siguiente manera:

“Agregado: Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la norma ITINTEC 400.037.” (Ministerio de Viviendo, Construcción y Saneamiento 2006:242)

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011.

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

Clasificación

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

- El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

- El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

Por el Origen, Forma y Textura Superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angulosidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Cuyos bordes están bien definidos y formado por la intersección de sus caras (planas) además de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencian algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes desgastados casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

- Lisa
- Áspera
- Granular
- Vítrea

- Cristalina

La textura superficial depende de la dureza, tamaño del grano y las características de la roca original. La forma y la textura del material pueden influir altamente en la resistencia a la flexión del concreto estas características se deben controlar obligatoriamente en los concretos de alta resistencia. También se puede afirmar que la forma y textura de las arenas influyen en los requerimientos de agua en el concreto.

Por el Tamaño del Agregado

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

- Agregados finos (arenas) y
- Agregados gruesos (piedras).

Funciones del agregado

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

2.2.1.4.4. Aditivos

Los aditivos son los componentes que tienen como función principal la mejora de las propiedades del concreto. Se clasifican en:

- Acelerantes. - se encargan de acortar el tiempo de fragua del concreto:
- Retardadores. - Alargan el tiempo de fragua del concreto
- Incorporadores de Aire. - aditivo que se encarga de agregar burbujas de aire al concreto, esto generalmente se utiliza en zonas donde se presentan heladas.
- Plastificantes. - aditivos que disminuyen el contenido de agua en el concreto y aumentan considerablemente la facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco.

2.2.1.5. Propiedades Físicas del Concreto

a. Trabajabilidad

La trabajabilidad se puede definir como la propiedad del concreto o mortero en estado fresco la cual determina la facilidad y homogeneidad con la cual puede ser mezclado, colocado, compactado y terminado.

b. Consistencia

Es la capacidad del hormigón fresco de deformarse. Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

c. Temperatura

La temperatura del concreto fresco no debería ser demasiado baja, de modo que el hormigón adquiriera con suficiente rapidez la resistencia necesaria y no pueda sufrir daño por las heladas en una fase temprana.

- La temperatura del hormigón fresco no debería caer por debajo de $+5^{\circ}\text{C}$ durante su colocación e instalación.
- El hormigón recién colocado debería protegerse de la acción de las heladas.
- La resistencia al hielo se logra cuando la resistencia a compresión alcanza un valor aproximado de 10N/mm^2

Por otro lado, unas temperaturas demasiado altas en el hormigón pueden originar problemas de colocación y la disminución en ciertas propiedades del hormigón endurecido. Para evitarlo, la temperatura del hormigón fresco no debería sobrepasar los 30°C durante su colocación e instalación.

d. Peso Unitario Fresco

El peso unitario fresco, es decir el peso que tiene un volumen determinado, tiene gran importancia para el cálculo del rendimiento del concreto, así como para las correcciones por volumen en los diseños de mezcla.

e. Peso Unitario Endurecido

El peso unitario, es decir el peso que tiene un volumen determinado, tiene gran importancia al momento de diseñar una estructura, pues es éste el que determinará el peso final de la estructura. En el caso del concreto de uso convencional (para pavimentos, edificios y en otras estructuras), se estima que tiene un peso unitario en el rango de 2,240 y 2,400 kg/m

El peso unitario del concreto puede variar, dependiendo de las cantidades y de la densidad relativa de los agregados, así como de la cantidad del aire contenido (atrapado o incluido intencionalmente), y de los contenidos de agua y de cemento, los que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado a utilizar. Para el diseño de estructuras de concreto, generalmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo (concreto reforzado), tiene un peso unitario de 2400 kg/m³.

f. Tiempo De Fraguado

El tiempo de fraguado es lo que demora el concreto en llegar a su estado endurecido.

g. Exudación

Este mecanismo es una forma especial de segregación, donde parte del agua de amasado tiende a ascender hacia la superficie del hormigón recién colocado, por ser el componente de menor

densidad de la mezcla y a la poca capacidad de la estructura granular para retenerla.

Se puede considerar a la exudación como un caso particular de sedimentación. Como consecuencia de la exudación la parte superior del concreto tiene una relación a/c mayor, es porosa, débil al desgaste y al efecto de congelación. Debajo de las partículas de agregado grueso se acumula agua debilitando la interfaz "pasta-agregado". También, este efecto se produce debajo de las armaduras, disminuyendo la adherencia entre el concreto y el acero. El agua deja tras de sí estructuras capilares, orientados en una misma dirección, que aumenta la permeabilidad y facilita el ataque de agentes agresivos (cloruros, sulfatos). En el caso de estructuras de poco espesor, pavimentos, losas, cuando la velocidad de evaporación es mayor que la de exudación se producen fisuras de contracción plástica.

h. Segregación

Separación de los componentes por una incorrecta dosificación o excesiva compactación.

i. Contracción

Es el fenómeno de acortamiento del concreto debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación.

Retracción significa contracción o disminución del volumen del concreto. El proceso y el nivel de deformación por retracción están influenciados principalmente por el inicio del secado, las condiciones ambientales y la composición del concreto.

j. Homogeneidad

Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de hormigón fresco separadas entre sí.

k. Contenido De Aire

Durante el mezclado de los materiales queda aire naturalmente atrapado en la mezcla y para esto los comités A.C.I. indican las cantidades aproximadas de aire atrapado que pueden ser esperadas en un concreto sin aire incluido.

Adicional al aire natural atrapado se puede incluir aire al mismo por razones de durabilidad del concreto en mención.

l. Permeabilidad

Es el grado en que un concreto es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el concreto (a/c).

Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el concreto a potenciales agresiones.

2.2.1.6. Propiedades Mecánicas del Concreto

a. Resistencia a La Abrasión

Las superficies de hormigón están expuestas a tensiones por rodadura, por desgaste y/o por impacto. La matriz del cemento, los áridos y su unión se ven atacados por estas tensiones siendo este ataque por tanto principalmente mecánico.

La resistencia a la abrasión del cemento hidratado es menor que la de los áridos, particularmente con una matriz del cemento porosa (alto contenido en agua). Dicha porosidad disminuye proporcionalmente con la reducción del factor agua/cemento aumentando la cohesión con los áridos

- Un factor $a/c < 0.45$ es ideal.
- Mejorar la impermeabilidad de la matriz del cemento hidratado y la cohesión de los áridos y el cemento hidratado
- Elegir una curva granulométrica apropiada utilizando áridos de tamaños especiales si es necesario y realizando un curado cuidadoso.
- Esparcido sobre la superficie de un material duro (polvo de cuarzo).

b. Resistencia A La Compresión

La resistencia a la compresión del concreto normalmente se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto, aunque en estructuras especiales como túneles y presas, o cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días.

En túneles es bastante frecuente utilizar la resistencia a los 7 días o menos, mientras en presas se suele utilizar como referencia la resistencia a los 56 días o más.

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm. de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas.

c. Resistencia A La Tracción

El concreto posee muy baja resistencia a la tensión y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por disminución de la temperatura. Los concretos preparados con agregados livianos, se encogen considerablemente más que los normales y por lo tanto la resistencia a la tensión puede ser tenida en cuenta en el diseño de la estructura correspondiente. La resistencia a la tensión es difícil de medir por medio de ensayos directos, debido

a las dificultades para montar las muestras y las incertidumbres que existen sobre los esfuerzos secundarios inducidos por los implementos que sujetan las muestras.

d. Resistencia A La Flexión

Generalmente su valor corresponde a 10% de la resistencia en compresión del concreto de un determinado f'_c , esta propiedad nos sirve para diseñar estructuras que estarán cargadas y en el que es muy importante conocer esta propiedad. La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Este parámetro es aplicado en estructuras tales como pavimentos rígidos; debido a que los esfuerzos de compresión que resultan en la superficie de contacto entre las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual en el peor de los casos puede llegar a ser de 5 o 6 kg/cm; este esfuerzo sobre un pavimento de concreto hidráulico resulta sumamente bajo con relación a la resistencia a la compresión del concreto que normalmente varía entre 150 y 350 kg/cm² en nuestro medio.

Por lo tanto, no es la resistencia a la compresión el factor determinante de la calidad del concreto para pavimentos, sino la resistencia a la flexión, por el paso de los vehículos y por diferencias de temperatura un lado de la losa estará sometida a

tensión y el otro lado a compresión, siendo cambiables estos esfuerzos. Los esfuerzos de flexión podrían ser atendidos por medio de refuerzo, pero esto sería antieconómico debido a que se tendría que utilizar refuerzo en dos capas. En la práctica lo que se hace es diseñar el espesor del pavimento en forma tal que los esfuerzos de flexión, causados por el paso de los vehículos y la diferencia de temperatura, sean inferiores a la capacidad máxima a flexión de las placas. Es claro entonces que para el diseño de pavimentos de concreto la característica importante es la resistencia a la flexión del concreto o también llamada “módulo de rotura”.

e. Módulo de elasticidad

Es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente. El concreto no es un material elástico, no tiene un comportamiento lineal en ningún tramo de su Diagrama Carga vs. Deformación en compresión, sin embargo convencionalmente se acostumbra definir un Módulo de Elasticidad Estático del concreto, mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama o una recta secante que une el origen del diagrama con un punto establecido, que normalmente es un porcentaje de la tensión última. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 280000 a 350000 Kg/cm² Y están en relación directa con la resistencia en compresión del concreto y a la relación agua/cemento. En concepto las mezclas más ricas

tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación.

f. Adherencia

Debido a la baja resistencia del concreto para soportar esfuerzos de tracción, se colocan en su interior barras de acero, el material así obtenido se denomina concreto armado. Desde el punto de vista de la resistencia lo que hace posible que el concreto y el acero se comporten como un sólido único, es la adherencia. El módulo de elasticidad del hormigón es muy variable oscilando entre 15000 y 40000 MPa, mientras que en el acero este valor es de 210000 MPa y resulta ser constante. La adherencia se produce principalmente por fricción y se aumenta con las nervaduras y filetes que poseen las barras de acero.

g. Durabilidad

Se define como durabilidad a la habilidad del material para resistir la acción de la intemperie, los ataques químicos, abrasivos y cualquier otro proceso de deterioro. Es indispensable que el concreto mantenga su forma original, su calidad y serviciabilidad cuando está expuesto al medio ambiente, tal cual ha sido proyectado. Cuando esto ocurre se afirma que el concreto es durable. Los factores que alteran esta propiedad pueden ser externos o internos. Las primeras causas pueden ser originadas por condiciones atmosféricas

desfavorables, temperaturas extremas, abrasión, ataques por líquidos o gases. Las causas internas son la reacción álcali-agregado, cambios volumétricos y, sobre todo, la permeabilidad del concreto. Este factor determina en gran medida la vulnerabilidad del concreto a los agentes externos y, por ello, un concreto durable deberá ser relativamente impermeable.

2.2.1.7. Clasificación del concreto

2.2.1.7.1. Por el peso específico

- Liger, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 1200 – 2000 Kg/m³.
- Normal, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 2000 – 2800 Kg/m³.
- Pesado, cuyo Peso Unitario se encuentre entre >2800 Kg/m³.

2.2.1.7.2. Según Su Aplicación

- Simple: Concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- Armado: Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- Pretensado: Resistencia a tracción: viguetas.
- Post tensado: Resistencia a tracción: se introducen fundas.

2.2.1.7.3. Por Su Resistencia

- Convencional: 10% agua, 15% cemento, 35% arena, 40% grava.
- De alta resistencia: 5% agua, 20% cemento, 28% arena, 41% grava, 2% adiciones, 2% aditivos.

2.2.1.8. Propiedades Físicas de los Agregados para el Diseño de Mezcla del Concreto

Para el cálculo del diseño de mezcla es necesario obtener resultados de diversas propiedades físicas de los agregados, por lo que a continuación se detallan las propiedades físicas de los agregados a realizarse.

a. Agregado Grueso:

Granulometría:

La Granulometría se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de los agregados. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. Las mallas utilizadas para determinar la granulometría de los agregados se designan por el tamaño de la abertura cuadrada en pulgadas.

La NTP 400 037 especifica la granulometría de los agregados gruesos en 10 series, los cuales son similares a las normalizadas por la ASTM. La elección de la granulometría debe efectuarse con el tamaño máximo del agregado, asegurando una adecuada trabajabilidad, de manera que el concreto pueda ser utilizado sin demasiado esfuerzo mecánico, es por ello la necesidad de la determinación del tamaño máximo y del módulo de finura del agregado grueso.

- **Tamaño Máximo**

El tamaño Máximo se utiliza para seleccionar el agregado según las condiciones de geometría de encofrado y el

esfuerzo de acero. Corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso. Tamaño Nominal Máximo: Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada, que produce el primer retenido.

- **Módulo De Finura**

Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra, se usa para controlar la uniformidad de los agregados. Se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 dividido entre 100.

Peso Unitario

El Peso Unitario o Peso Aparente del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en Kg/m³.

Los valores para agregados normales varían entre 1500 y 1700 Kg/m³. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados, y en caso de proporcionarse el concreto por volumen.

Para el cálculo del diseño de mezcla se determina el peso unitario suelto y el peso unitario compacto del agregado grueso el cual está especificado en la NTP 400 017 y en la norma ASTM C29.

Peso Específico

El Peso Específico, es la relación a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario del material, a la masa del mismo volumen del agua destilada, libre de gas. La diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. Además, el peso específico es un indicador de la calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

La obtención del peso específico del agregado grueso se encuentra especificado en la NTP 400 021 y en la norma ASTM C127.

Contenido De Humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado grueso. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje) la cantidad de agua en el concreto varía.

Esta propiedad física esta especificada en la NTP 339 185 y en la norma ASTM C566.

Absorción

Es la capacidad del agregado grueso de absorber el agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua / cemento en el concreto.

Esta propiedad física esta especificada en la NTP 400 021 y en la norma ASTM C121.

b. Agregado Fino:

Granulometría

Se refiere a la distribución de las partículas de arena. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados.

La Norma Técnica Peruana 400 037 establece las especificaciones granulométricas.

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas de arena. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. Los tamaños de tamices utilizados son: N°4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200, con ello se puede determinar el módulo de finura del agregado fino, el cual es necesario para el cálculo del diseño de mezcla de concreto.

- **Módulo De Finura**

Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de arena, se usa para controlar la uniformidad de los agregados. La norma establece que la arena debe tener un Módulo de Finura no menor que 2.35 ni mayor que 3.15 Se calcula como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividido entre 100.

En la apreciación del Módulo de Finura, se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reduce segregación, y que las que se encuentran entre 2.8 y 3.2 son las más favorables para los concretos de alta resistencia.

Peso Unitario

El Peso Unitario o Peso Aparente del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en Kg/m³.

El Peso Unitario depende de ciertas condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría, así como el contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación impuesto, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc.

Para el cálculo del diseño de mezcla se determina el peso unitario suelto y el peso unitario compacto del agregado grueso el cual está especificado en la NTP 400 017 y en la norma ASTM C29.

Peso Específico

El Peso Específico, es la relación entre el peso del material y su volumen, su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. Es necesario tener este valor para realizar la dosificación de la mezcla

y también para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.

La obtención del peso específico del agregado grueso se encuentra especificado en la NTP 400 022 y en la norma ASTM C128.

Contenido De Humedad

Es la cantidad de agua que contiene el agregado fino. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje), la cantidad de agua en el concreto varia.

Esta propiedad física esta especificada en la NTP 339 185 y en la norma ASTM C566.

Absorción

Es la capacidad del agregado fino de absorber el agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/cemento en el concreto.

Esta propiedad física esta especificada en la NTP 400 022 y en la norma ASTM C128.

2.2.1.9. Criterios A Tener En Cuenta Para La Fabricación Del Concreto

a) RESPECTO AL AGREGADO FINO

- Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.
- Debe estar graduado dentro de los límites dados en los requisitos obligatorios.
- El módulo de fineza debe estar entre 2.3 a 3.1
- Deberá estar libre de materia orgánica, que es determinado mediante el ensayo indicado en ASTM C 40, si no cumple con esta especificación puede ser utilizado siempre que realizado el ensayo de compresión a los 7 días de morteros preparados con arena sana y otros con la arena en cuestión la resistencia no sea menor del 95%.

b) RESPECTO AL AGREGADO GRUESO

- Estará conformado de fragmentos cuyos perfiles sean preferentemente angulares o semiangulares, limpios, duros, compactos, resistentes y de texturas preferentemente rugosas y libres de material escamoso o partículas blandas.
- La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm²

- Estará graduado dentro de los límites especificados en la tabla de requisitos obligatorios.
- Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión.

c) RESPECTO AL AGUA

- El agua deberá estar libre de azúcares o sus derivados. Igualmente lo estará de sales de potasio o de sodio.
- Si se utiliza aguas no potables, la calidad del agua, determinada por análisis de Laboratorio.
- La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basará en resultados en los que se ha utilizado en la preparación del concreto el agua de la fuente elegida.

d) REQUISITOS OBLIGATORIOS

GRANULOMETRÍA:

- Los agregados finos y gruesos según la norma ASTM C 33, Y NTP 400.037 deberán cumplir con la GRADACIONES establecidas en la NTP 400.012, respectivamente.

Tabla 4: Requisitos granulométricos para el agregado grueso, Fuente:

NTP 400.037

Tamaño Nominal	% Pasa por los tamices normalizados												
	100mm (4")	90mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50mm (2")	37.5mm (1½")	25mm (1")	19mm (¾")	12.5mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)
90 mm a 37.5 mm (3½" a 1½")	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
63 mm a 37.5 mm (2½" a 1½")	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
50 mm a 25 mm (2" a 1")	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--
50 mm a 4.75 mm (2" a Nº4)	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--
37.5 mm a 19 mm (1½" a ¾")	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--
37.5mm a 4.75mm (1½" a Nº4)	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--
25 mm a 12.5 mm (1" a ½")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--
25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--
25 mm a 4.75 mm (1" a Nº4)	--	--	--	--	--	100	95 a 100	--	25 a 65	--	0 a 10	0 a 5	--
19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--
19 mm a 4.75 mm (¾" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--
12.5mm a 4.75mm (½" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	--
9.5mm a 2.38mm (3/8" a Nº8)	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Tabla 5: Requisitos granulométricos para el agregado fino

Tamiz	Límites Totales	% Pasa por los tamices normalizados		
		C	M	F
9.5 mm (3/8")	100	100	100	100
4.75 mm (Nº4)	89 – 100	95 – 100	85 – 100	89 – 1000
2.38 mm (Nº8)	65 – 100	80 – 100	65 – 100	80 – 100
1.20 mm (Nº 16)	45 – 100	50 – 85	45 – 100	70 – 100
0.60 mm (Nº 30)	25 – 100	25 – 60	25 – 80	55 – 100
0.30 mm (Nº 50)	5 – 70	10 – 30	5 – 48	5 – 70
0.15 mm (Nº 100)	0 – 12	2 – 10	0 – 12*	0 – 12*

- Nota: Se permite el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando existan estudios calificados a satisfacción de las partes, que aseguren que el material producirá concretos con la calidad requerida.

- Además del tamaño máximo también es importante que la cantidad de granos de menor tamaño esté bien balanceada en la composición total del agregado. Los agregados con falta de esos tamaños tienen una mayor cantidad de espacios vacíos entre sus partículas y puestos en el concreto requerirán más cantidad de pasta.

DESGASTE POR ABRASIÓN

- El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medios mecánicos y también con la capacidad resistente de los concretos con él fabricados; cobra particular importancia en áridos empleados en concretos de pavimentos.
- El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra con respecto a su masa inicial.

Procedimiento:

- Se determina la granulometría original de la muestra mediante tamizado y empleando la siguiente serie de tamices, en mm 80- 63- 50- 40- 25- 20 -12,5 -10-6,3-

5-2,5. El material se deja separado en las fracciones correspondientes.

- Se elige el grado de ensayo más aproximadamente coincidente con la granulometría original de la muestra, lo que significa ensayar la mayor proporción posible del árido original. Para ello se considera la granulometría, expresada en porcentajes parciales retenidos en los tamices; se calcula la sumatoria de porcentajes parciales retenidos para cada grado del 1 al 7; y se elige el grado correspondiente a la mayor sumatoria.
- En caso que se trate de prospecciones de yacimientos o rocas y áridos sin selección ni tratamiento, se procesará la muestra a fin de componer la banda granulométrica adecuada al uso propuesto y elegir el grado de ensayo correspondiente a dicha banda granulométrica.

2.2.2. El Curado Del Concreto

Se entiende por curado del concreto mantener un adecuado contenido de humedad y temperatura a edades tempranas de manera que el concreto pueda desarrollar las propiedades con las cuales fue diseñada la mezcla, es importante comenzar a curar el concreto inmediatamente después del fraguado.

El curado se iniciará tan pronto como el concreto haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el procedimiento empleado

El objetivo principal por el cual realizamos el curado es para alcanzar una resistencia adecuada, se han realizado pruebas de laboratorios que demuestran que un concreto en un ambiente seco puede llegar a perder hasta el 50% de su resistencia potencial comparado con uno similar en condiciones húmedas.

El curado es una condición en la cual la pasta se la deja en reposo mientras se producen el fraguado y endurecimiento. El fraguado es el espesamiento inicial, que sucede normalmente en pocas horas; el endurecimiento es un proceso más lento y origina las propiedades mecánicas.

El curado tiene por objetivo el impedir el secado prematuro del concreto, cuyas consecuencias son dobles como, por ejemplo:

- La reacción química entre el agua y el cemento se interrumpe por la ausencia de agua, de tal manera que el concreto no adquiere sus propiedades.
- Se produce una contracción precoz lo que ocasiona fisuras.

Con un curado apropiado, el concreto es más resistente. El incremento es rápido en edades tempranas, pero continúa lentamente cuando tiende a un período indefinido.

El agua de curado no debe estar a una temperatura tal que cree al aplicarla un choque térmico al concreto, pues puede fisurarlo. Se recomienda que el agua no esté a una temperatura inferior en 11°C a la temperatura de la masa del concreto.

El agua para curado del concreto debe estar libre de contaminantes

RECOMENDACIONES DEL COMITÉ ACI 308

El curado, según el ACI 308 R, es el proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua y de calor.

Las medidas de curado se deben poner en práctica tan pronto como el concreto esté en riesgo de secarse prematuramente y cuando dicho secado deteriore el concreto o impida el desarrollo de las propiedades requeridas.

Según el ACI, existen dos climas extremos que pueden provocar problemas durante el mezclado, transporte y colocación del concreto: el clima frío y el clima cálido. En el primer caso, la preocupación es que los compuestos del cemento no reaccionen con el agua o que lo hagan a una tasa muy lenta, hasta que se congele. En el otro caso, la principal preocupación es que el agua del concreto se evapore

rápidamente y que una parte significativa del cemento no se hidrate, y por lo tanto no adquiera la resistencia y que presente porosidades.

En fin, los aspectos importantes para el curado son los siguientes:

AGUA DE CURADO

Cuando se tiene cemento con una relación agua/cemento baja, la porosidad es pequeña y se requiere de un grado menor para que tenga porosidad alta. Además, con relaciones a/c pequeñas se vuelve necesario reaprovisionar agua al cemento ya que el propio secado del cemento hace que el agua de mezclado resulte insuficiente para mantener los capilares llenos de agua. Por otro lado, la baja porosidad es un factor que hace impermeable al concreto y no facilita la penetración del agua de curado al concreto, así como tampoco su evaporación.

TIEMPO DE CURADO

Se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que realice acción alguna. También se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc. Para condiciones medias con cemento Portland normal y para elementos de hormigón armado, el periodo de curado mínimo debe ser de siete días, plazo que puede reducirse a la mitad si el cemento es de alta resistencia inicial. Por el contrario, hay

que aumentarlo a quince días cuando se trate de cementos lentos o de elementos de hormigón en masa.

En general y de acuerdo a las recomendaciones de las normas, el proceso de curado debe prolongarse hasta que el hormigón haya alcanzado el 70% de su resistencia de cálculo y es a los 7 días con una temperatura mínima de 10°C dependiendo de la aplicación.

NORMAS CON RESPECTO AL CURADO

- ASTM C31-03 “Method of making and curing concrete test specimens in the field”. (Método de fabricación y curado de especímenes de prueba de concreto realizados en el campo.)
- ASTM C 192-02 “Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory” (Práctica estándar para hechura y curado de especímenes de prueba en el laboratorio)
- ASTM C 156-02 “Method for Water Retention by Concrete Curing Materials”. (Método para retención de agua para materiales de curado del concreto).

PROCESO DE CURADO DEL CONCRETO

Cuando se mezcla cemento con agua, tiene lugar una reacción química, esta reacción llamada hidratación, es la que hace que el cemento y por tanto el concreto, se endurezca y con el tiempo desarrolle resistencia.

Este desarrollo de resistencia se observa sólo si el concreto se mantiene húmedo y a la temperatura favorable, especialmente durante los primeros días.

Se llama curado al procedimiento que se utiliza para promover la hidratación del cemento, y consiste en mantener un control del movimiento de temperatura y humedad hacia dentro del concreto y hacia afuera del concreto.

El objeto del curado es mantener el concreto húmedo, ya que la hidratación del cemento solo se logra en capilares llenos de agua, por lo que debe evitarse la evaporación excesiva de ésta. Además, debe controlarse la temperatura, puesto que la rapidez de hidratación es más lenta a bajas temperaturas y más rápida a temperaturas elevadas.

MÉTODOS PARA REALIZAR EL CURADO DEL CONCRETO

Una vez que inicia el endurecimiento del cemento este protegerá del sol y del viento mediante algún procedimiento que le conserve su humedad propia o le aporte nueva humedad. Según Powers, la hidratación del cemento se reduce en forma importante cuando la humedad dentro de los poros capilares de la pasta de cemento cae por debajo del 80%; de esto concluyó que para que se den las condiciones de humedad que permitan el curado natural, la humedad del aire debe ser al menos de un 80% para evitar que haya un flujo de humedad del concreto hacia el aire. Esto es válido si la evaporación

no se diera por otras condiciones meteorológicas desfavorables como: alta velocidad del viento y diferencias significativas entre la temperatura del concreto y del aire. En base a esto los sistemas de curado se pueden dividir en dos grandes grupos:

a) Curado con agua. -

Cualquiera que sea el método elegido de curado con agua, éste debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua libre de componentes que puedan dañar la pasta de cemento. Se deben evitar los choques térmicos o fuertes gradientes de temperatura por el empleo de agua fría sobre el hormigón.

Para tal efecto pueden emplearse:

- Inmersión en Agua. - La inmersión se puede emplear en losas de piso, pavimentos, techos planos, y en cualquier superficie donde es posible retener el agua o donde exista una corriente continua de agua.
- Rociado o Aspersión. - En general es un buen método de curado cuando la temperatura ambiente es superior a unos 10°C. Los regadores de jardín son muy efectivos cuando no hay que preocuparse por el costo del agua. El rociado debe ser continuo y debe evitarse la intermitencia. El rociado de niebla o aspersión mediante boquilla o aspersores proporciona un curado excelente cuando la temperatura es bastante superior a la congelación.

- Cubiertas de material absorbente. - Sacos, arpilleras, mantas de algodón, alfombras y otras cubiertas absorbentes también resultan útiles en la retención del agua superficial del hormigón. Estos materiales deben estar libres de sustancias que dañen y decoloren el hormigón. Estos materiales retienen agua sobre la superficie de concreto. Cuanto más pesado sea el costal (o más grueso) más agua retendrá y requerirá periodos de remojo más prolongados.
- Capas de Arena o Aserrín. - las que deben estar perennemente húmedas Los materiales no deben contener cantidades peligrosas de materia orgánica u otra que pueda dañar el hormigón.

b) Materiales sellantes. -

Evitan la pérdida excesiva de agua superficial su principal ventaja es el menor riesgo que el hormigón se seque por un descuido en el mantenimiento de la humedad. Asimismo, son materiales de fácil manejo y pueden aplicarse antes que los métodos con agua. Para tal efecto pueden emplearse:

- Tejadillos Móviles. - Son indicados en obras de trazado lineal.
- Películas plásticas. - Pueden colocarse directamente sobre el hormigón Tienen la ventaja de ser livianas. La película debe poseer un espesor superior a 0.10 mm.

- El papel impermeable. - Es utilizado como las láminas plásticas, pero no mancha la superficie. Este papel consiste generalmente en dos capas de papel kraft cementadas juntas y reforzadas con fibras. El papel deberá estar conforme a la ASTM C171
- Películas de Curado. - Son recubrimientos a base de aceites o resinas que se pulverizan sobre la superficie del hormigón y forman al polimerizarse, una película protectora que impide la evaporación del agua; es el sistema más eficaz y también el más costoso. Estos compuestos consisten esencialmente en ceras, resinas naturales o sintéticas y solventes de volatilidad elevada a la temperatura atmosférica.

Tal ejemplo es el aditivo CURADOR MEMBRANIL que es un curador líquido que una vez aplicado sobre el concreto fresco, forma una membrana que evita la evaporación prematura del agua de amasado y lo protege.

Con esta alternativa de curado se evitan grietas o fisuras en la superficie del concreto y permite que se alcance la fuerza a la compresión deseada o de diseño.

Producto adecuado a la norma ASTM C 309 Clase A Tipo 1.

VENTAJAS

- Forma una película rápida y continua sobre el concreto fresco y endurecido, otorgando así un período máximo de hidratación,

a una temperatura desde 5°C hasta 25° C y por adversas que sean las condiciones del tiempo.

- Protege el concreto de la acción nociva de agentes atmosféricos como: altas temperaturas, vientos fuertes y lluvia.
- Aumenta la resistencia mecánica a la abrasión superficial, contrarrestando el desgaste prematuro.
- Evita la formación de fisuras superficiales y descascaramiento por refracción.

USOS

- Losas de estacionamientos, edificios, veredas y calzadas.
- Elementos de concreto caravista.
- Losas de pavimentos, autopistas vehiculares, carretera y pistas de aterrizaje.
- Taludes y muros de contención.
- Canales, curado de tubos prefabricados y acueductos de concreto armado.
- Puentes, concreto de obras de arte.
- Elementos de concreto en general.

PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO

- Agítese bien antes de emplear.
- Aplíquelo en dos manos directamente del envase (sin diluir) con brocha, rodillo o mochila de aspersión sobre la superficie a curar:
 - o Losas, techos: sobre el concreto fresco cuando desaparezca la exudación de la superficie o que se note la superficie ligeramente húmeda.
 - o Vigas, columnas: inmediatamente después del desencofrado.

En resumen, las ventajas que se obtienen de curar el concreto son: ganancia de resistencia predecible, durabilidad mejorada y mejores condiciones de servicio y apariencia.

Cuando se elige una aplicación de agua, debe estudiarse la economía del método particular que se usará en cada obra; además, el método elegido debe proporcionar una cubierta continua de agua, libre de materiales perjudiciales para el concreto.

En general, el proceso de curado debe prolongarse hasta que el hormigón haya alcanzado, como mínimo, el 70 % de su resistencia de proyecto.

Ya que todas las propiedades deseables en el concreto mejoran con el curado, el período de curado debería prolongarse tanto como sea aplicable en todos los casos.

Condiciones básicas de un curado adecuado.

Hay tres condiciones básicas:

- El concreto debe estar suficientemente húmedo para garantizar la hidratación del cemento.
- Una temperatura adecuada que le permitirá una buena hidratación del cemento.
- Se recomienda curar lo más pronto posible; en el hormigón es factible hacerlo tan pronto éste reabsorbe el agua de exudación.

MATERIALES Y EQUIPOS.

- Agua limpia
- Manta.
- Rociadores
- Marcadores
- Cilindros o cubos recién desmoldados

PROCEDIMIENTO

Cubrir los especímenes, para evitar la evaporación antes del desmolde. Las probetas deben guardarse a una temperatura que varía entre 16 a 27 °C.

A las 24 horas, desmolde el espécimen, cuidando de no golpearlo o dañarlo.

Revisar la identificación del espécimen, una vez que se haya desmoldado cada espécimen, remarcar aquellos cuya identificación no sea legible.

- Colocar los cilindros en los barriles en una pila de curado, teniendo cuidado para que esta contenga suficiente agua, de tal manera que la superficie de los cilindros, cubos o vigas esté cubierta con agua por lo menos 7 cm.
- En el caso del curado a realizarse de acuerdo a lo dado en obra, usar mantas, rociadores y aditivos de acuerdo a lo especificado.

NOTA: Verificar que no existan fugas de agua, tanto en la pila de curado como en los barriles, ya que la pérdida de agua puede repercutir en la resistencia de los especímenes a ensayar.

2.2.3. Resistencia A La Compresión Del Concreto

El valor de f'_c (resistencia a la compresión) se utiliza generalmente como indicador de la calidad del concreto. Es claro que pueden existir otros indicadores más importantes dependiendo de las solicitaciones y de la función del elemento estructural o estructura.

Las Normas o Códigos relacionan muchas de las características mecánicas del concreto (módulo de elasticidad, resistencia a la tracción, resistencia al corte, adherencia, etc.) con el valor de f'_c .

La resistencia a la compresión se determina a partir de ensayos de laboratorio en probetas estándar cargadas axialmente. Este ensayo

se utiliza para monitorear la resistencia del concreto tanto para el control de la calidad como para la aceptación del concreto fabricado. La confección de las probetas y el ensayo están reguladas por las Normas (ASTM) y en ellas se especifica:

- El proceso de confección de las probetas.
- El tamaño de las probetas. Normalmente se utilizan probetas cilíndricas 6"x12".
- El proceso de curado de las probetas ya sea en el laboratorio o en obra para las probetas denominadas curadas bajo condiciones reales de obra. Estas últimas permiten determinar la efectividad de los procesos de curado utilizados y los plazos de desencofrado y puesta en servicio de la estructura.
- El proceso de ensayo a compresión de las probetas. El ensayo puede estar controlado por carga o por deformación. Cuando el ensayo es realizado controlando la carga, normalmente la velocidad es tal que se alcanza la falla de la probeta en 2 a 3 minutos, lo cual equivale a un incremento de esfuerzo entre 2.1 y 2.8 kg/cm² por segundo aproximadamente. Cuando el control es por deformación, la velocidad de deformación unitaria es de 0.001 por minuto aproximadamente.

Principales Factores que Afectan la Resistencia - f'_c

- a) En todos los concretos de buena calidad, la resistencia de las partículas de agregado es mayor que la de los demás componentes del concreto, de modo que los elementos importantes en la

resistencia del concreto son, la resistencia del propio cemento hidratado (matriz) y la resistencia de la interfase matriz - agregado.

b) La relación agua - cemento (w/c). Esta es tal vez la variable más importante, una relación w/c baja, reduce la porosidad de la matriz o pasta de cemento y mejora la traba entre los sólidos aumentando la resistencia. Por el contrario, una relación alta aumenta la porosidad de la matriz y de la zona de transición entre la matriz y los agregados, reduciendo la resistencia.

2.3. Definición de términos

a) Agregado

Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.037.

b) Agregado Fino

Material proveniente de la desintegración natural o artificial del agregado, que pasa el tamiz NTP 9.5 mm (3/8") según NTP 350.001 y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

c) Agregado Grueso

Agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

d) Concreto Fresco

Se le llama así al concreto en estado plástico, cuando aún no ha sido iniciado su proceso de fraguado. El concreto fresco debe ser adecuado para la obra particular a la que se destine, en especial su docilidad que debe permitir recibirlo, transportarlo, colocarlo en los encofrados y terminarlo con los medios disponibles. Durante estas actividades no debe producirse ninguna segregación de los materiales componentes, en especial el agua. Una vez terminada la colocación del concreto en los encofrados, debe ser homogéneo, compacto y uniforme.

e) Concreto Endurecido

Estado físico del concreto donde se caracteriza por su dureza y rigidez, y que se produce cuando termina el fraguado, a partir de la cual, el conjunto de materiales granulares, pulverulentos y agua, se han convertido en una verdadera piedra artificial.

f) El concreto

(Del latín formicō, 'moldeado, conformado') o, en América, concreto (del inglés concrete, a su vez del latín concrētus, 'agregado, condensado') es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos. El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro

medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena).¹ La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero.

g) Resistencia a la Compresión

Es la máxima presión que resiste un elemento antes de romperse. Se expresa en kilos de fuerza aplicados en un área de un centímetro cuadrado.

h) Cemento

El cemento es un agente adherente hidráulico que se obtiene calentando y moliendo una mezcla de piedra caliza y arcilla. La mayoría de los cementos se producen con clínker y aditivos que, normalmente, se utilizan en forma de polvo. El cemento fragua cuando se mezcla con agua. Combinado con arena y áridos se convierte en mortero o en hormigón, ambos con la dureza de la piedra.

i) Aditivos

Los aditivos mejoran las propiedades del hormigón: tiempo de fraguado, viscosidad, porosidad, resistencia mecánica, etc. Existen diferentes tipos de aditivos: aceleradores, retardantes, plastificantes, potenciadores de flujo, aireantes, anticongelantes, hidrófugos y agentes de curado.

j) Proceso de fraguado

El fraguado inicia con la pérdida de viscosidad de la pasta, en el momento en que esta deja de ser deformable bajo cargas relativamente

pequeñas y empieza el proceso de endurecimiento, en el que la estructura del cemento va adquiriendo resistencia mecánica. En el estado final de fraguado, debe iniciarse el proceso de curado. Durante el fraguado del concreto, es muy importante la determinación de los tiempos para saber si es necesario utilizar aditivos que controlen la velocidad de secado, ya que factores como la temperatura afectan la velocidad con que se hidrata el cemento, implicando retrasos en los tiempos de fraguado y el posterior endurecimiento y desarrollo de resistencia del concreto.

k) Curado del Concreto

El curado es el mantenimiento de un adecuado contenido de humedad y temperatura en el concreto a edades tempranas, de manera que éste pueda desarrollar las propiedades para las cuales fue diseñada la mezcla. El curado comienza inmediatamente después del vaciado (colado) y el acabado, de manera que el concreto pueda desarrollar la resistencia y la durabilidad deseada. Sin un adecuado suministro de humedad, los materiales cementantes en el concreto, no pueden reaccionar para formar un producto de calidad. El secado puede eliminar el agua necesaria para esta reacción química denominada hidratación y por lo cual el concreto no alcanzará sus propiedades potenciales.

2.4. Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis genéricas

- El tipo de curado de concreto en obra y laboratorio incide en la resistencia a la compresión obtenida.

2.4.2. Hipótesis específicas

- Los diferentes métodos de curado en obra y laboratorio generan resultados diversos en cuanto a la resistencia a la compresión.
- Existe variación de resultados del concreto curado en obra con respecto al curado de concreto en laboratorio.
- El curado de concreto en obra en base al aditivo es más efectivo con respecto a los otros métodos de curado en obra.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable Independiente

- Concreto curado en obra.
- Concreto curado en laboratorio.

2.5.2. Variable Dependiente

- Resistencia a la compresión.

2.5.3. Variable Interviniente

- Curado en base al aditivo.
- Curado rociado
- Curado con una tela
- Curado a la intemperie
- Curado sumergido o bajo inmersión del agua

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

POR SU NATURALEZA:

La presente investigación es del tipo experimental. Pues para evaluar el comportamiento de la resistencia a la compresión bajo distintas condiciones de curado, se realizaron ensayos de laboratorio.

POR SU FINALIDAD:

La presente investigación es del tipo aplicada. Ya que se resolvió problemas del entorno práctico, aplicando los resultados obtenidos a la mejora del proceso constructivo en nuestra ciudad.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño que utilice en la investigación fue por objetivos, conforme al esquema siguiente:

1. Se realizaron la planificación de los trabajos en el Gabinete.
2. Se realizaron las búsquedas bibliográficas.
3. Se realizaron estudios experimentales.
4. En el gabinete se realizó el análisis de resultados.
5. Se realizó los cuadros comparativos.
6. Se evaluó los resultados obtenidos llegando a conclusiones y recomendaciones.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población:

La población objetivo estuvo conformada por todos los tipos de curados de concreto en obra y laboratorio en el Distrito de Yanacancha, durante el año 2017.

3.3.2. Muestra:

- Probetas curadas con aditivo Membranil Curador
- Probetas curadas con agua mediante rociadores.
- Probetas curadas con telas o yutes.
- Probetas curadas con el medio ambiente
- Probetas curadas por inmersión en agua.

3.4. Método de Investigación

El Método científico es el conjunto de reglas que señalan el procedimiento para llevar a cabo una investigación cuyos resultados sean aceptados como válidos por la comunidad científica, la presente tesis adopta el método antes señalado con las modificaciones acorde a tipo de investigación.

En forma concreta, el método científico se resume a la observancia de estas etapas:

- Etapa 1. Planteamiento del problema: Es el inicio, cuando se hace el planteamiento general del problema a resolver por medio de la investigación.

- Etapa 2. Formulación de hipótesis: Después de plantear el problema se presenta la propuesta que se pretende comprobar con la investigación.

- Etapa 3. Levantamiento de información: Es la recopilación de antecedentes con los métodos e instrumentos diseñados para esta fase.

- Etapa 4. Análisis e interpretación de datos: Una vez concluida la recopilación de los antecedentes se procede a su tabulación análisis e Interpretación.
- Etapa 5. Comprobación de la hipótesis: Con el análisis e interpretación de los antecedentes se comprueba o desaprueba la hipótesis planteada.
- Etapa 6. Difusión de resultados: Es la presentación y divulgación de los resultados obtenidos con la investigación para hacer universal el conocimiento.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas

Las principales técnicas que utilice en la investigación son:

Datos Documentales

Se usó esta técnica, preferentemente en base a fuente primaria, se tomó en cuenta los procedimientos como acopio bibliográfico.

Muestreo

Se realizaron los ensayos en un laboratorio particular el permitió conocer la resistencia a la compresión elemento a evaluar.

3.5.2. Instrumentos

Los principales instrumentos que utilice en la investigación son:

Ensayos De Laboratorio

Con lo cual obtuve toda la información técnica de cada probeta de acuerdo al tipo de curado empleado, para poder realizar las comparaciones, conclusiones y recomendaciones sobre la presente investigación.

Cuaderno de anotaciones

Con el cual se anotaron todos los resultados de acuerdo a como vayan realizándose los ensayos.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

La información básica para la presente investigación se realizó por medio de un cuaderno de apuntes de los ensayos realizados en el Laboratorio, los cuales fueron interpretados y procesados durante el tratamiento estadístico.

3.7. Tratamiento estadístico de datos

El tratamiento estadístico que se le dio a la presente investigación fue a través de cuadros estadísticos en donde se observa el resultado obtenido de cada ensayo y las respectivas comparaciones.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El siguiente capítulo muestra los resultados de los ensayos de compresión obtenidos durante la experimentación. Los datos se presentan en tablas y curvas y a partir de estos se prosigue con el análisis estadístico y el modelo matemático.

Para ello se realizó el diseño de mezcla patrón con el cual se elaboró todas las muestras de concreto, tal diseño se efectuó en base a las características físicas de los materiales.

A continuación, se presenta el diseño de mezcla del acuerdo al Comité 211 del ACI.

Tabla 6: Diseño de mezcla de concreto

1. DATOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO			
Datos Básicos De Diseño - Concreto		Datos Básicos De Diseño - Cemento y Agua	
Tipo de Obra:	Columnas	Tipo de cemento:	Andino Tipo I
Resistencia Requerida:	210 kg/cm ²	Peso específico del cemento:	3.12 gr/cm ³
Característica del concreto con/sin aire incorp.:	Sin aire incorp	Peso específico del agua:	1,000.00 kg/m ³
Slump requerido:	4.00 "	Peso por bolsa de cemento:	42.50 kg
Datos Básicos De Diseño - Agregado Fino		Datos Básicos De Diseño - Agregado Grueso	
Perfil del agregado fino:	-	Perfil del agregado grueso:	Angular
Peso unitario suelto del agregado fino:	1,676.37 kg/m ³	Peso unitario suelto del agregado grueso:	1,294.54 kg/m ³
Peso unitario compacto del agregado fino:	1,812.92 kg/m ³	Peso unitario compacto del agregado grueso:	1,506.37 kg/m ³
Peso específico del agregado fino :	2,575.92 kg/m ³	Peso específico del agregado grueso :	2,266.59 kg/m ³
Modulo de fineza del agregado fino:	3.66	Modulo de fineza del agregado grueso:	6.44
Tamaño máximo nominal del agregado fino:	-	Tamaño máximo nominal del agregado grueso:	1/2 "
Porcentaje de absorción (% Abs.):	1.63 %	Porcentaje de absorción (% Abs.):	1.25 %
Porcentaje de humedad del agregado fino (%w):	5.16 %	Porcentaje de humedad del agregado grueso (%w):	1.51 %
2. DATOS DE APOYO			
2.1 Asentamiento Recomendados			2.2 Tamaño Máximo Nominal Recomendado
Tipo De Estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo	Por características geométricas y condiciones de refuerzo de la estructura, El tamaño máximo nominal del agregado grueso no deberá ser mayor que:
Zapatas y muros de cimentación reforzado	3 "	1 "	- 1/5 de la menor dimensión entre las caras del encofrado.
Cimentaciones simples y calzaduras	3 "	1 "	- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, torones o ductos de presfuerzo.
Vigas y muros armados	4 "	1 "	- 1/3 del peralte de las losas.
Columnas	4 "	2 "	- Por razones de producción, transporte y colocación del concreto
Muros y pavimentos	3 "	1 "	
Concreto ciclópeo	2 "	1 "	
Comentario: Para nuestro caso la elección del tipo de estructura y del Slump solo es referencial, ya que el diseño no esta asociado a ningún tipo de de estructura.			
3. CALCULO DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA F'cr			
Sin Registro De Datos De Resistencia		Resistencia Promedio Requerida	
F'c	F'cr	F'c	F'cr
1). Menos De 210 kg/cm ²	→ F'c + 70	- No Se Aplica El Item 01 !!!	→ -
2). 210 kg/cm ² - 350 kg/cm ²	→ F'c + 84	- Se Aplica El Item 02 !!!	→ 294.00 kg/cm ²
3). Mayor a 350 kg/cm ²	→ F'c + 98	- No Se Aplica El Item 03!!!	→ -

- Método usado por tener menos de 15 datos estadísticos o ningún dato en el registro.

4. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO			
Cantidad De Aire Atrapado En Condiciones Normales			Elección del Contenido de aire
Tamaño Máximo Nominal (plug - cm)			Aire Atrapado
3/8 "	-	0.95 cm	3.00 %
1/2 "	-	1.27 cm	2.50 %
3/4 "	-	1.91 cm	2.00 %
1 "	-	2.54 cm	1.50 %
1 1/2 "	-	3.81 cm	1.00 %
2 "	-	5.08 cm	0.50 %
3 "	-	7.62 cm	0.30 %
6 "	-	15.24 cm	0.20 %

Comentario: La tabla indica la cantidad de aire atrapado en condiciones normales, sin el uso de incorporadores de aire. Si se hace uso de incorporador de aire se debe de hacer uso de otras tabla para el diseño.	
Tamaño máximo nominal del agregado grueso:	1/2 "
Tamaño máximo nominal del agregado grueso:	1.27 cm
Contenido de aire atrapado elegido	2.50 %

5. SELECCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA									
5.1. Concreto Sin Aire Incorporado									
Asentamiento		Agua, en lts/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
		0.95 cm	1.27 cm	1.91 cm	2.54 cm	3.81 cm	5.08 cm	7.62 cm	15.24 cm
		3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
Asentamiento	1.00 "	207	199	190	179	166	154	130	113
Asentamiento	2.00 "	207	199	190	179	166	154	130	113
Asentamiento	3.00 "	228	216	205	193	181	169	145	124
Asentamiento	4.00 "	228	216	205	193	181	169	145	124
Asentamiento	6.00 "	243	228	216	202	190	178	160	-
Asentamiento	7.00 "	243	228	216	202	190	178	160	-

Resumen de la Selección del Contenido de Agua									
Asentamiento		Agua, en lts/m ³ , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
		0.95 cm	1.27 cm	1.91 cm	2.54 cm	3.81 cm	5.08 cm	7.62 cm	15.24 cm
		3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
Asentamiento	4.00 "	228	216	205	193	181	169	145	124

-Tamaño máximo nominal del agregado grueso:..... 1/2 "

-Tamaño máximo nominal del agregado grueso:..... 1.27 cm

- Slump requerido:..... 4.00 "

- Características del concreto..... Sin aire incorp

- Contenido de agua lts/m³..... 216 lts/m³

6. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO DE DISEÑO POR PESO (a/c)

Relación agua-cemento de diseño en peso (lts/kg)			Calculo de la relación agua/cemento	
F'cr (28 Dias)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado		
150 kg/cm ²	0.8	0.71	Características del concreto	→ Sin aire incorp
200 kg/cm ²	0.7	0.61	Resistencia promedio requerida (F'cr)	→ 294 kg/cm ²
250 kg/cm ²	0.62	0.53	- Para F'cr de: 150 kg/cm ² a 200 kg/cm ²	→ -
300 kg/cm ²	0.55	0.46	- Para F'cr de: 200 kg/cm ² a 250 kg/cm ²	→ -
350 kg/cm ²	0.48	0.4	- Para F'cr de: 250 kg/cm ² a 300 kg/cm ²	→ 0.558
400 kg/cm ²	0.43	-	- Para F'cr de: 300 kg/cm ² a 350 kg/cm ²	→ -
450 kg/cm ²	0.38	-	- Para F'cr de: 350 kg/cm ² a 400 kg/cm ²	→ -
			- Para F'cr de: 400 kg/cm ² a 450 kg/cm ²	→ -
			Relacion a/c buscado para (f'cr = 294 kg/cm ²)	0.558

7. CALCULO DEL CONTENIDO DEL CEMENTO

Datos Preliminares		Calculo del Contenido De Cemento	
- Contenido de agua en lts por 01 m ³	216 lts/m ³	Contenido del cemento por 01 m ³	387.10 kg
- Relación agua cemento (a/c) para 01 m ³	0.558 lts/kg	Factor Cemento (Fc)	9.11 bls

8. CALCULO DEL PESO DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza del fino.				Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por m ³					
					-	3.2	3.4	3.6	3.8	
	3.2	3.4	3.6	3.8	1/2 "	0.51	0.49	0.47	0.45	
3/8 "	0.42	0.4	0.38	0.36	Calculo Del Peso Del Agregado Grueso					
1/2 "	0.51	0.49	0.47	0.45	Tamaño máximo nominal del agregado grueso:					1/2 "
3/4 "	0.58	0.56	0.54	0.52	Modulo de fineza del agregado fino:					3.66
1 "	0.63	0.61	0.59	0.57	- Vol. del agregado grueso seco y compactado (3.2 a 3.4)					-
1 1/2 "	0.67	0.65	0.63	0.61	- Vol. del agregado grueso seco y compactado (3.4 a 3.6)					-
2 "	0.7	0.68	0.66	0.64	- Vol. del agregado grueso seco y compactado (3.6 a 3.8)					0.46 m ³
3 "	0.74	0.72	0.7	0.68	Volumen del agregado grueso seco y compactado					0.46 m ³
6 "	0.79	0.77	0.75	0.73	Peso unitario compacto del agregado grueso:					1,506.37 kg/m ³
					Peso del agregado seco por m ³					698.96 kg

9. CALCULO DEL VOLUMEN ABSOLUTO

Datos Para El Calculo por m ³		Calculo De Volumen Absoluto	
Cantidad de aire por m ³	2.50 %	Cantidad de aire por m ³	0.025 m ³
Cantidad de agua por m ³	216.00 lts	Cantidad de agua por m ³	0.216 m ³
Cantidad de cemento por m ³	387.10 kg	Cantidad de cemento por m ³	0.124 m ³
Cantidad del agregado grueso por m ³	698.96 kg	Cantidad del agregado grueso por m ³	0.308 m ³
Comentario:		Volumen total absoluto	0.673 m ³
		Volumen del agregado fino m ³	0.327 m ³

10. CALCULO DEL PESO DEL AGREGADO FINO			
Datos Para El Calculo		Calculo De Peso De Agregado Fino	
Volumen del agregado fino m ³	0.327 m ³	Peso del agregado fino:	842.33 kg
Peso especifico del agregado fino :	2,575.92 kg/m ³		

11. RESUMEN DEL DISEÑO EN ESTADO SECO			
Resumen Del Diseño Por m ³		Comentario	
Cantidad de aire por m ³	2.50 %	- El peso de un metro cubico de concreto en kilos es de; 2144.39 Kg	
Cantidad de agua por m ³	216.00 lts	- El peso de un metro cubico de concreto en toneladas es de; 2.14 tn	
Cantidad de cemento por m ³	387.10 kg	- La relacion a/c del diseño es de; 0.558	
Cantidad del agregado grueso por m ³	698.96 kg	- La cantidad de bolsas a usar por cubo es de; 9.11 Bolsas	
Cantidad del agregado fino por m ³	842.33 kg		

12. CORRECCIÓN POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS			
Datos Para La corrección		Corrección Por Humedad	
Cantidad del agregado grueso seco por m ³	698.96 kg	Peso del agregado grueso por m ³ corregido	709.51 kg
Cantidad del agregado fino seco por m ³	842.33 kg	Peso del agregado fino por m ³ corregido	885.79 kg
Formula Básica: $\text{Peso Corregido} = \text{Peso seco} \times \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$		Comentario: - Recordar, el contenido de humedad es peso del agua/peso del agregado seco, multiplicado por 100, para llevarlo a porcentaje.	

13. APORTE DEL AGUA A LA MEZCLA			
Datos Para La corrección		Aporte De Agua	
Cantidad del agregado grueso seco por m ³	698.96 kg	Aporte de humedad del agregado grueso:	1.82 lts
Cantidad del agregado fino seco por m ³	842.33 kg	Aporte de humedad del agregado fino:	29.73 lts
Formula Básica: $\text{Aporte De Agua} = \text{Agregado Seco} \times \left(\frac{w\% - \%abs}{100} \right)$		Aporte de humedad de los agregados:	31.55 lts
		Comentario: El signo (-) indica que se adicionara agua a la mezcla. - El signo (+) indica que se quitara agua a la mezcla.	

14. CALCULO DE AGUA EFECTIVA			
Calculo del Agua Efectiva		Comentario	
Aporte de humedad de los agregados:	31.55 lts	Para la presente investigacion los agregados se encuentran embolsados hermeticamente, para garantizar la humedad calculada en los ensayos.	
Cantidad de agua por m ³	216.00 lts		
Agua para la mezcla Final	184.45 lts		

15. PROPORCIONAMIENTO POR m ³			
Dosificación en Peso Para 01 m ³ de Concreto		Proporción en Peso en 01 m ³ de Concreto	
Cantidad de cemento por m ³	387.10 kg	Cantidad de cemento (C)	1.00
Cantidad del agregado grueso por m ³	709.51 kg	Cantidad del agregado grueso (P)	1.83
Cantidad del agregado fino por m ³	885.79 kg	Cantidad del agregado fino (A)	2.29
Cantidad de agua por m ³	184.45 kg	Cantidad de agua (H ₂ O)	0.48
Cantidad de aire por m ³	0.00 kg	C : A : P / H ₂ O →	1 : 2.29 : 1.83 / 0.48

1. DATOS BÁSICOS PARA LA CORRECCIÓN DEL DISEÑO			
Datos Básicos De Diseño - Agregado Fino		Datos Básicos De Diseño - Agregado Grueso	
Peso unitario suelto del agregado fino:	1,676.37 kg/m ³	Peso unitario suelto del agregado grueso:	1,294.54 kg/m ³
Porcentaje de absorción Agregado Fino (% Abs.):	1.63 %	Porcentaje de absorción Agregado Grueso (% Abs.):	1.25 %
Porcentaje de humedad del agregado fino (%w):	5.16 %	Porcentaje de humedad del agregado grueso (%w):	1.51 %
Asentamiento requerido en cm:	10.16 cm	Asentamiento requerido en pulgadas:	4.00 "

2. PROPORCIONAMIENTO INICIAL POR m ³			
Dosificación en Peso Para 01 m³ de Concreto - Seco		Dosificación en Peso Para 01 m³ de Concreto - Corregida Por Húmeda	
Cantidad de cemento por m ³	387.10 kg	Cantidad de cemento por m ³	387.10 kg
Cantidad del agregado grueso por m ³	698.96 kg	Cantidad del agregado grueso por m ³	709.51 kg
Cantidad del agregado fino por m ³	842.33 kg	Cantidad del agregado fino por m ³	885.79 kg
Cantidad de agua por m ³	216.00 kg	Cantidad de agua por m ³	184.45 kg

3. MUESTRA DE PRUEBA - CONSISTENCIA (SLUMP)			
Ensayo de Prueba (Slump y Peso unitario)		Determinación del Nuevo Contenido de Agua	
Volumen preparado de prueba	0.052 m ³	Peso de la tanda preparada 0.0515 m ³	110.69 kg
Peso unitario del concreto	2,149.00 kg/m ³	Rendimiento de la tanda de ensayo (volumen real)	0.0515 m ³
Asentamiento conseguido	9.50 cm	Agua de mezclado por tanda	10.22 lts
Agua adicionada a la prueba	8.60 lts	Agua de mezclado requerida por m ³	198.54 lts
Cantidad en peso usado por Tanda de 0.0515 m³		Asentamiento requerido	10.16 cm
Cantidad de cemento por tanda	19.94 kg	Asentamiento conseguido en la prueba	9.50 cm
Cantidad del agregado grueso por tanda	36.54 kg	Diferencia de asentamiento	0.66 cm
Cantidad del agregado fino por tanda	45.62 kg	Diferencia de agua (corrección 2 lts por 1 cm)	1.32 lts
Cantidad de agua por tanda	8.60 lts	Agua de mezclado final por m ³	199.86 lts

4. DOSIFICACIÓN CORREGIDA			
Dosificación Final Corregida		Dosificación en Peso Para 01 m³ de Concreto - Seco	
Relación agua/cemento	0.56	Cantidad de cemento por m ³	358.18 kg
Nuevo contenido de cemento	358.18 kg	Cantidad del agregado grueso por m ³	698.96 kg
Contenido de agregado grueso húmedo por m ³	709.51 kg	Cantidad del agregado fino por m ³	868.87 kg
Contenido de agregado grueso seco por m ³	698.96 kg	Cantidad de agua por m ³	199.86 kg
Agregado grueso saturado superficial seco por m ³	707.69 kg	Observación: Corresponde a la dosificación para 01 m ³ de concreto en condiciones secas.	
Agregado fino saturado superficial seco por m ³	883.27 kg		
Contenido del agregado fino seco por m ³	868.87 kg		

Habiéndose obtenido la dosificación de los materiales a usarse en la mezcla, se procedió a realizar el llenado de cada briqueta o molde, para que el concreto adopte dicha forma y pueda ser sometido a la resistencia a la compresión de cada probeta de acuerdo al tipo de curado realizado y así se pudo interpretar los resultados de los diferentes tipos de curado.

4.1. Tratamiento Estadístico e Interpretación de cuadros

4.1.1. Resultados de la Resistencia a la compresión de concreto curado en obra

Del total de las 30 probetas fabricadas para el desarrollo de la presente investigación, se fabricaron 24 probetas de 15cm x 30cm, para ser curadas bajo los respectivos métodos de curado de concreto en obra. Las probetas fueron curadas durante todo el día, según era el caso y expuestas a las mismas condiciones climatológicas,

El procedimiento fue curar a todas las probetas de este grupo durante 7 días seguidos después de haber sido fabricadas. Cabe indicar que tres días de los 7 días de curado se presenciaron lluvias.

Curado con Rociador de Agua:

El curado por este método se realizó con un control visual, ya que a la fecha en nuestro medio no hay instrumentos que midan el grado de humedad superficial sobre las probetas de concreto, por ello se curaba por este método cada vez que la superficie de las probetas presentaba la superficie semi seca, y esto sucedía de acuerdo a la variación de la temperatura durante el día, llegando a curar por este método hasta 10 veces al día, y cada uno de 10 minutos aproximadamente.

Un inconveniente es que, durante el desarrollo de este tipo de curado, hay una gran cantidad de agua que discurre, por ello se hizo necesario

habilitar la superficie que soporta estas probetas como un drenaje para evacuar el agua.

La cantidad de agua que discurre dependerá así de cuan impermeable sea el concreto, ya que cuanto más impermeable sea el concreto mayor será el tiempo de curado y mayor la cantidad de agua a usarse para el curado y también la que discurre.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas bajo este método.

Tabla 7: Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con rociador de agua

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (días)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.10	179.08	45751	255.48
AC2	2				14.90	174.37	43700	250.62
AC3	3		9/12/2017	14	14.80	172.03	58808	341.84
AC4	4				15.00	176.72	61671	348.99
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	68057	385.12
AC6	6				14.90	174.37	71780	411.66

Curado con Mantas Húmedas:

Para este tipo de curado en obra se utilizó las mantas húmedas, se envolvieron las probetas, la inspección de este procedimiento fue visual, es decir se curaba cada vez que se observaba que la capa externa de la manta estaba semi seca, este procedimiento se hizo hasta 3 veces al día porque la manta mantenía húmeda la probeta casi todo el tiempo, es decir la manta evitaba en cierta forma que el agua del curado se evapore.

Después de 07 días de curado con este procedimiento y retirado la manta de la superficie de la probeta se observó que estos tenían un color superficial más opaco que las probetas curadas a través del rociado de agua, y las dejadas sin curar.

Si bien es cierto este procedimiento es aplicado en el curado de elementos verticales preferentemente por la facilidad de colocación y además de los buenos resultados obtenidos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas bajo este método.

Tabla 8: Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con mantas húmedas

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.00	176.72	43297	245.01
AC2	2				14.90	174.37	37388	214.42
AC3	3		9/12/2017	14	14.90	174.37	57663	330.70
AC4	4				14.90	174.37	56249	322.59
AC5	5		23/12/2017	28	14.95	175.54	68506	390.26
AC6	6				15.00	176.72	66026	373.63

Curado con Aditivo Membranil Curador

Este tipo de curado se realizó usando el aditivo curador membranil, el cual fue aplicado a la superficie de las probetas a través de un rociador, la aplicación de este aditivo curador se efectuó una sola vez después de haber sido retirado el molde de las probetas, este aditivo curador es de color blanco, no es viscoso, pero después de secarse es transparente.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas bajo este método.

Tabla 9: Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con aditivo curador

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (días)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.00	176.72	38262	216.52
AC2	2				14.95	175.54	43943	250.33
AC3	3		9/12/2017	14	14.85	173.20	57194	330.22
AC4	4				14.90	174.37	52215	299.46
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	58600	331.61
AC6	6				14.95	175.54	62024	353.33

Curado por el Medio Ambiente

Estas probetas fueron dejadas a la intemperie después de haberseles retirado el molde, para que tomen así la humedad del medio ambiente como elemento curador y ver cómo es su desarrollo de la resistencia a diversas edades, como son los casos de 7, 14 y 28 días.

Estas probetas al igual que las probetas curadas a través del aditivo curador, con la manta y el rociador de agua sujetas a los diversos cambios de temperatura.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas bajo este método.

Tabla 10: Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con mantas húmedas

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (días)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	14.90	174.37	30756	176.39
AC2	2				14.95	175.54	38649	220.17
AC3	3		9/12/2017	14	15.00	176.72	45964	260.10
AC4	4				14.80	172.03	41435	240.85
AC5	5		23/12/2017	28	14.95	175.54	51420	292.93
AC6	6				14.98	176.24	53817	305.35

4.1.2. Resultados de la Resistencia a la Compresión de Concreto curado en laboratorio

Curado por Inmersión o sumergido

El curado de probetas en laboratorio se hizo por inmersión total, el agua utilizada fue saturada incorporando 2 gr. De cal hidratada por litro de agua, esto para subir la alcalinidad, y mantener el PH de las 6 probetas de concreto. El tiempo de curado de las probetas fue de 7 días.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las probetas de concreto curadas bajo este método.

Tabla 11: Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado sumergido

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	14.90	174.37	60485	346.88
AC2	2				14.90	174.37	57237	328.26
AC3	3		9/12/2017	14	14.80	172.03	61635	358.27
AC4	4				14.80	172.03	72501	421.43
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	83237	471.02
AC6	6				14.85	173.20	77526	447.61

4.2. Presentación de Resultados, Tablas, Gráficos, Figuras, etc.

A continuación, se presentarán los resultados a través de tablas y gráficos de cada tipo de curado realizado.

4.2.1. Resistencia a la compresión de concreto curado en obra

En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión a cada edad, es decir; 7, 14 y 28 días.

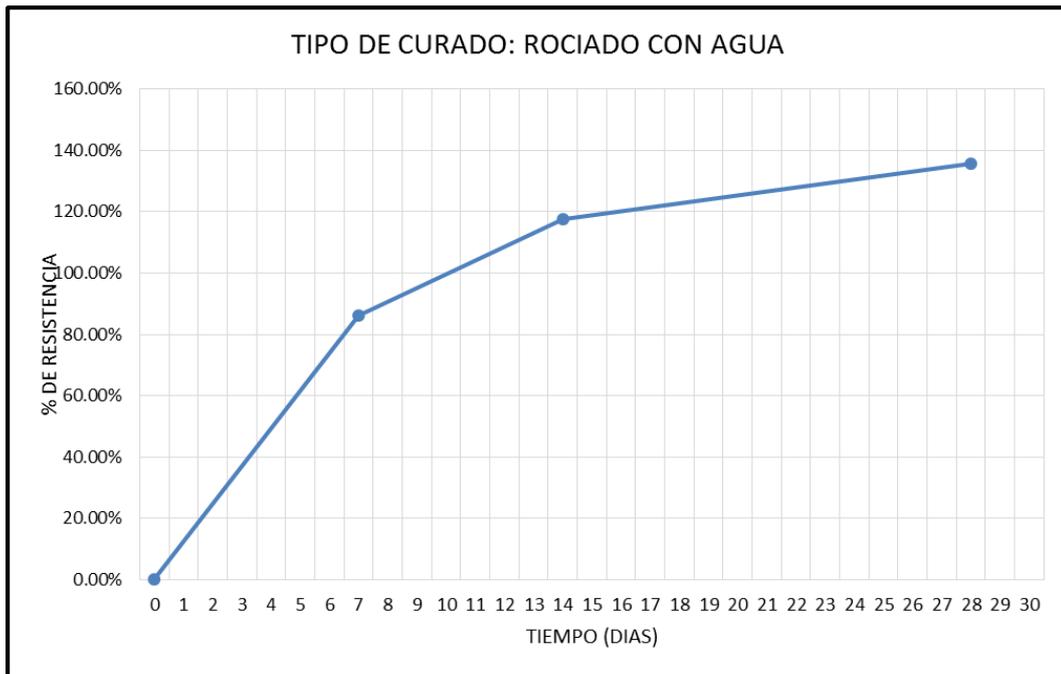
Curado con Rociado de agua:

Tabla 12: Promedios de Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con rociado de agua

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (días)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	PORCENTAJE %	KG/CM2	%
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.10	179.08	45751	255.48	86.90%	253.05	86.07%
AC2	2				14.90	174.37	43700	250.62	85.25%		
AC3	3		9/12/2017	14	14.80	172.03	58808	341.84	116.27%	345.41	117.49%
AC4	4				15.00	176.72	61671	348.99	118.70%		
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	68057	385.12	130.99%	398.39	135.51%
AC6	6				14.90	174.37	71780	411.66	140.02%		

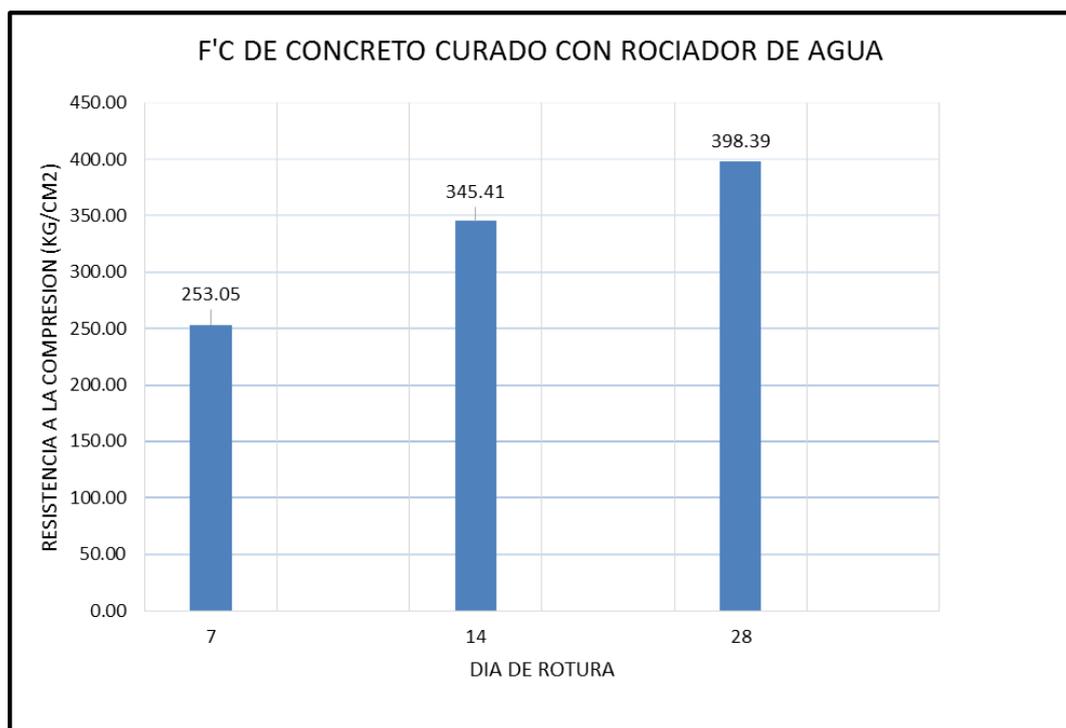
Se muestra el comportamiento del % de resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 1: % de Resistencia a la Compresión VS tiempo-Curado mediante rociado con agua



Se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 2: Gráfico N°4.2.- Resistencia a la Compresión -Curado mediante rociado de agua



Curado con Mantas Húmedas:

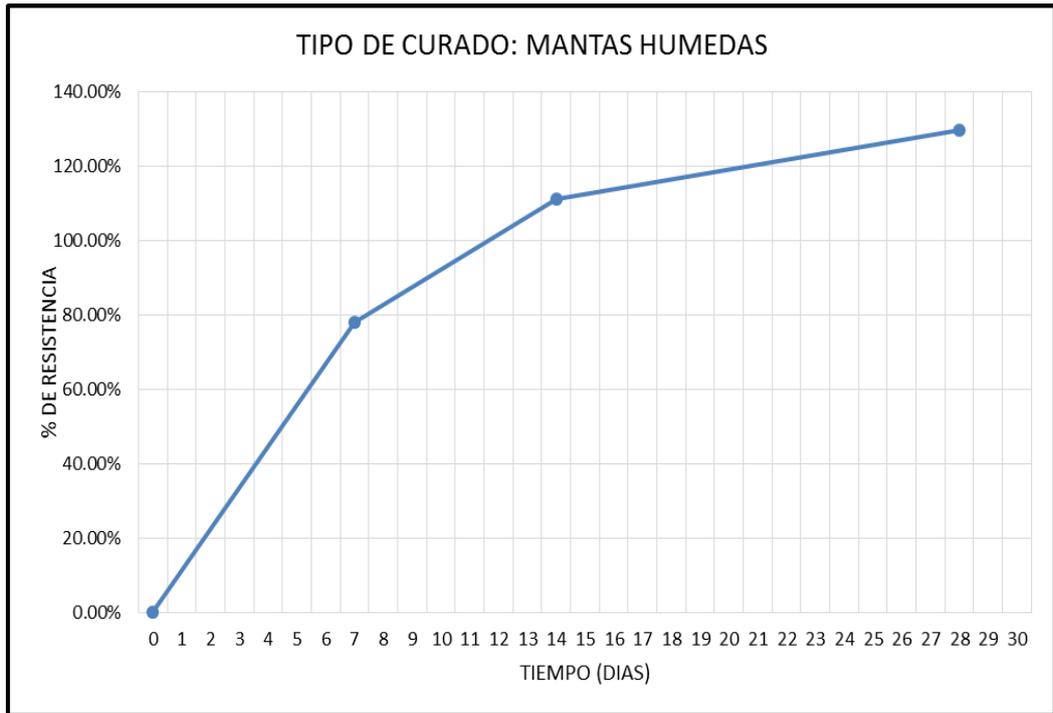
En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión a cada edad, es decir; 7, 14 y 28 días.

Ilustración 3: Promedios de Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con mantas húmedas

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (dias)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	PORCENTAJE %	KG/CM2	%
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.00	176.72	43297	245.01	83.34%	229.72	78.13%
AC2	2				14.90	174.37	37388	214.42	72.93%		
AC3	3		9/12/2017	14	14.90	174.37	57663	330.70	112.48%	326.65	111.10%
AC4	4				14.90	174.37	56249	322.59	109.72%		
AC5	5		23/12/2017	28	14.95	175.54	68506	390.26	132.74%	381.95	129.91%
AC6	6				15.00	176.72	66026	373.63	127.08%		

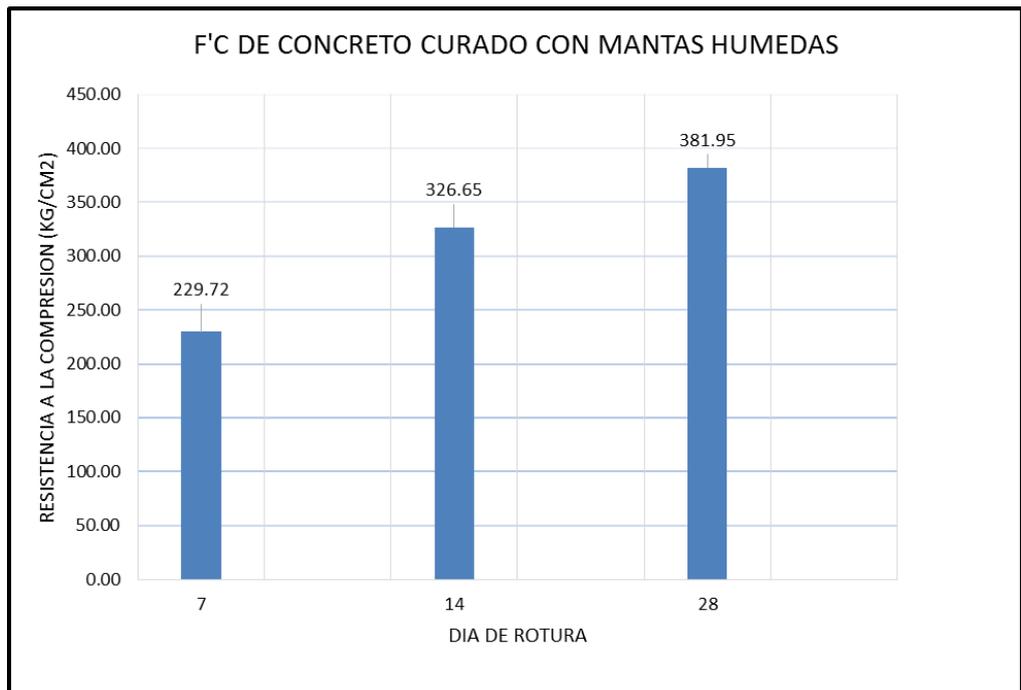
Se muestra el comportamiento del % de resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 4: % de Resistencia a la Compresión VS tiempo-Curado con mantas húmedas



Se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 5: Resistencia a la Compresión -Curado con mantas húmedas



Curado con Aditivo Membranil Curador

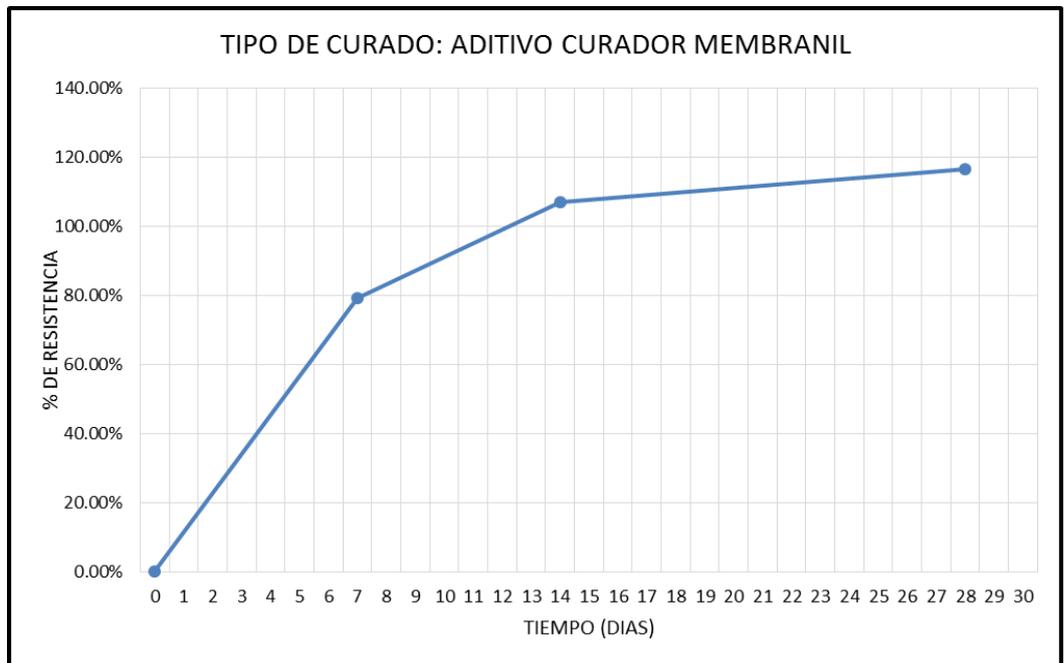
En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión a cada edad, es decir; 7, 14 y 28 días.

Ilustración 6: Promedios de Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con aditivo curador membranil

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (dias)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	PORCENTAJE %	Promedio KG/CM2	%
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	15.00	176.72	38262	216.52	73.65%	233.43	79.40%
AC2	2				14.95	175.54	43943	250.33	85.15%		
AC3	3		9/12/2017	14	14.85	173.20	57194	330.22	112.32%	314.84	107.09%
AC4	4				14.90	174.37	52215	299.46	101.86%		
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	58600	331.61	112.79%	342.47	116.49%
AC6	6				14.95	175.54	62024	353.33	120.18%		

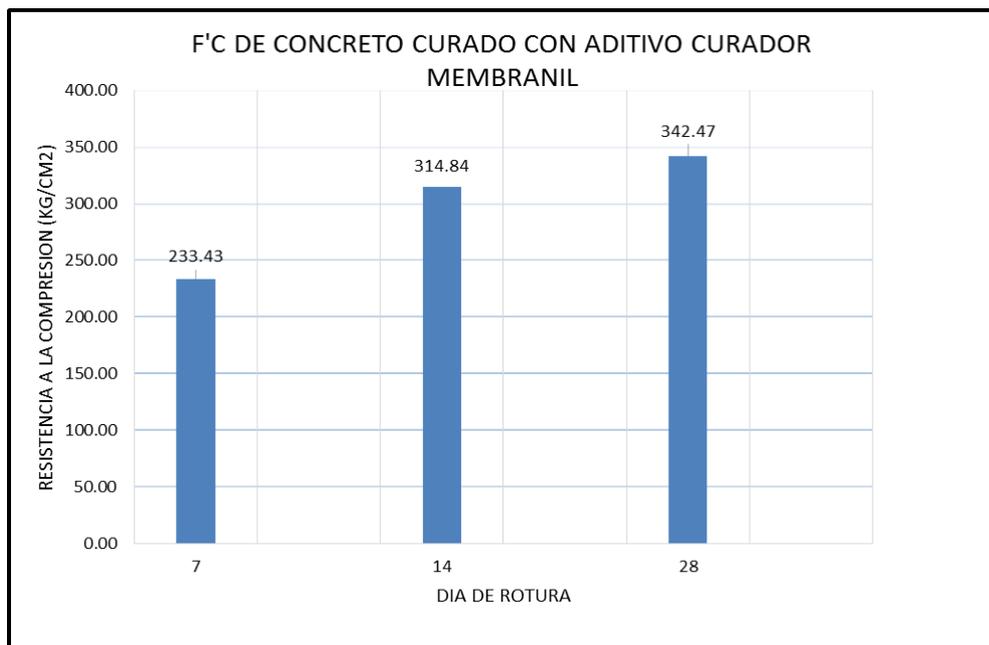
Se muestra el comportamiento del % de resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 7: % de Resistencia a la Compresión VS tiempo-Curado
con aditivo membranil curador



Se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 8: Resistencia a la Compresión -Curado con aditivo
membranil curador



Curado por el Medio Ambiente

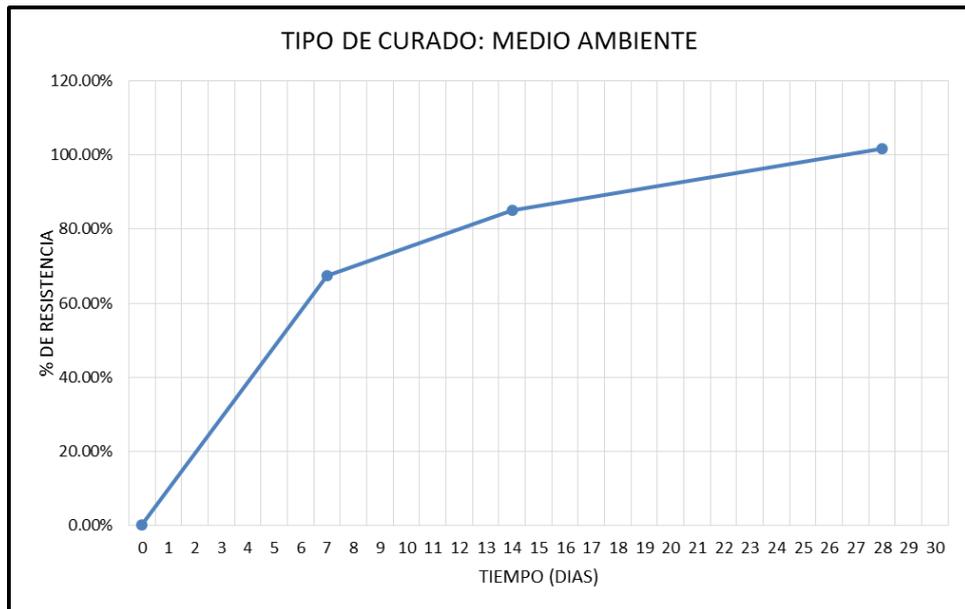
En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión a cada edad, es decir; 7, 14 y 28 días.

Ilustración 9: Promedios de Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado con el medio ambiente

Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (días)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	PORCENTAJE %	KG/CM2	%
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	14.90	174.37	30756	176.39	60.00%	198.28	67.44%
AC2	2				14.95	175.54	38649	220.17	74.89%		
AC3	3		9/12/2017	14	15.00	176.72	45964	260.10	88.47%	250.48	85.20%
AC4	4				14.80	172.03	41435	240.85	81.92%		
AC5	5		23/12/2017	28	14.95	175.54	51420	292.93	99.63%	299.14	101.75%
AC6	6				14.98	176.24	53817	305.35	103.86%		

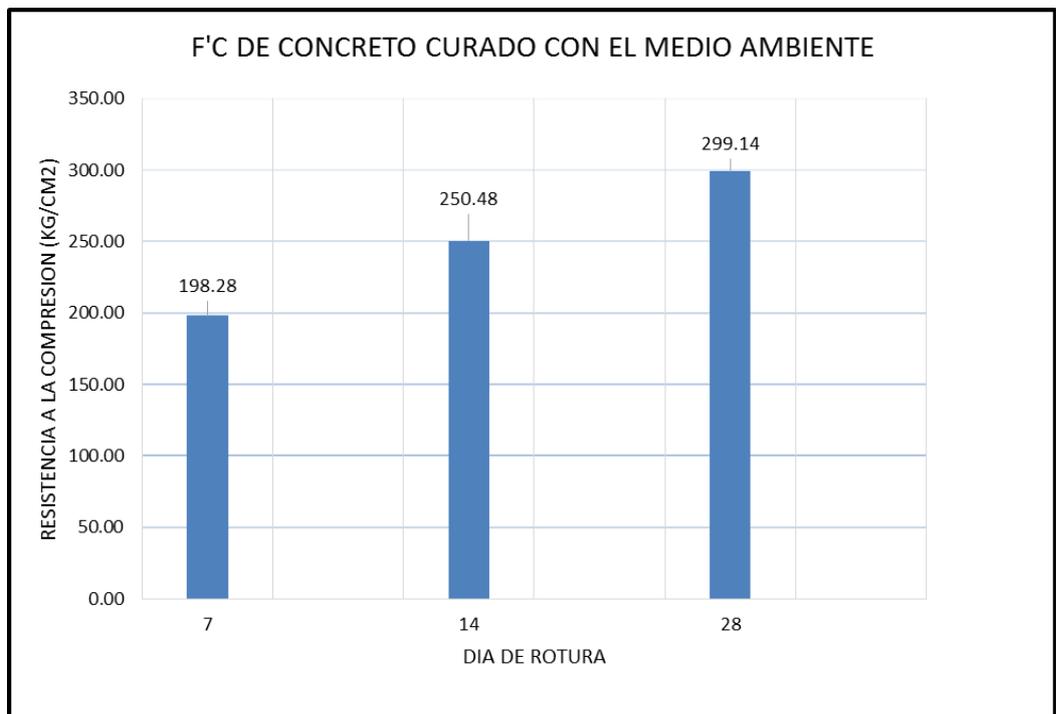
Se muestra el comportamiento del % de resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 10: % de Resistencia a la Compresión VS tiempo-Curado con el medio ambiente



Se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 11: Resistencia a la Compresión -Curado con el medio ambiente



4.2.2. Resistencia a la compresión del concreto curado en laboratorio

Curado por Inmersión o Sumergido

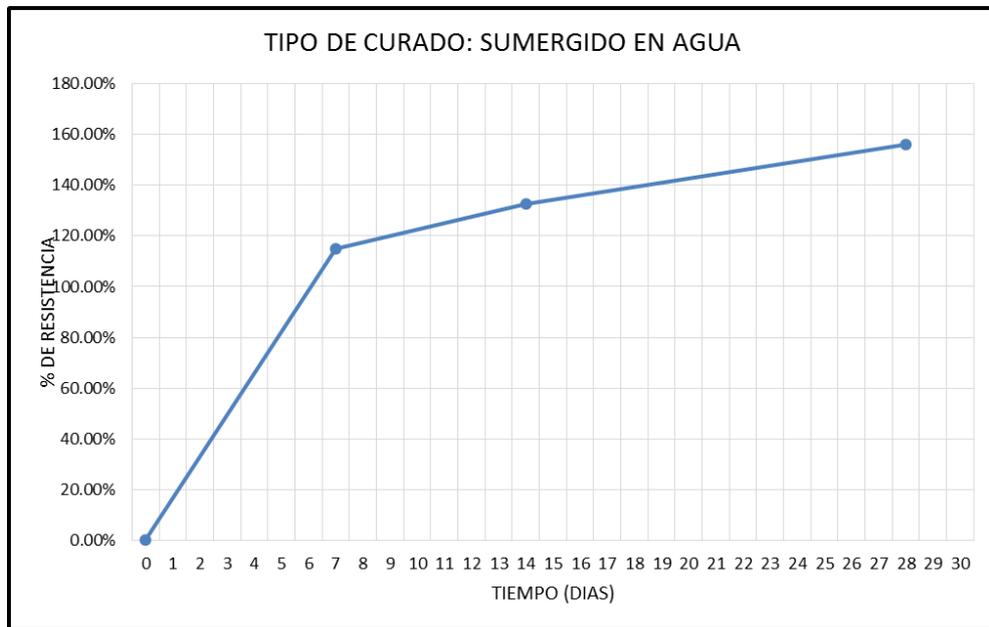
En la siguiente tabla se muestra el promedio de los datos obtenidos de la resistencia a la compresión a cada edad, es decir; 7,14 y 28 días.

Tabla 13: Promedios de Resultados de la Resistencia a la Compresión del concreto curado por inmersión o sumergido

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ASTM C39 - NTP 339.034											
Descripción			CONCRETO F'C=294KG/CM2							RESISTENCIA PROMEDIO	
Codigo Muestra	N°	Fecha de Toma	Fecha de Falla	Edad (dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga de Rotura (Kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm²)	PORCENTAJE %	KG/CM2	%
AC1	1	25/11/2017	2/12/2017	7	14.90	174.37	60485	346.88	117.99%	337.57	114.82%
AC2	2				14.90	174.37	57237	328.26	111.65%		
AC3	3		9/12/2017	14	14.80	172.03	61635	358.27	121.86%	389.85	132.60%
AC4	4				14.80	172.03	72501	421.43	143.34%		
AC5	5		23/12/2017	28	15.00	176.72	83237	471.02	160.21%	459.32	156.23%
AC6	6				14.85	173.20	77526	447.61	152.25%		

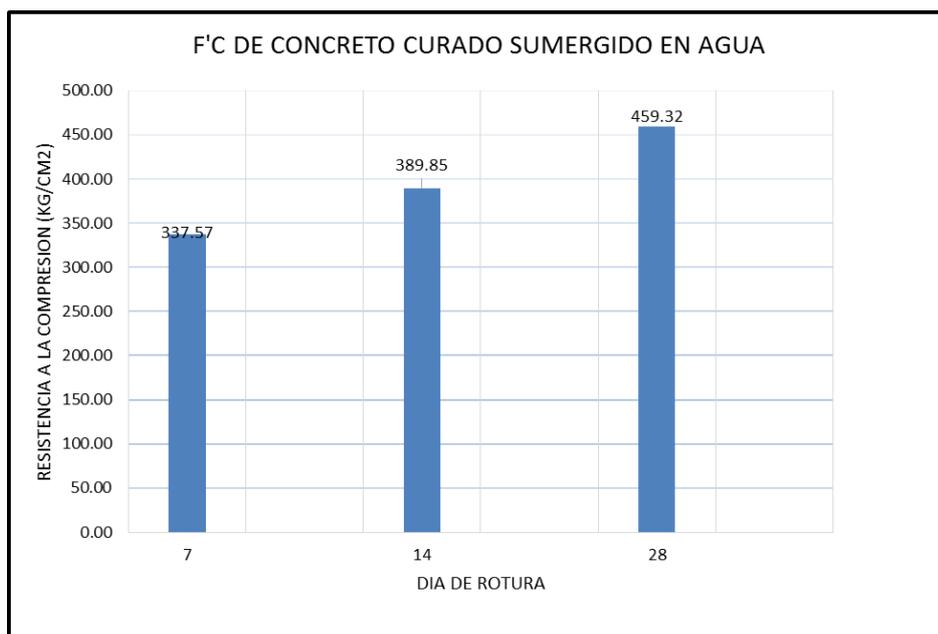
Se muestra el comportamiento del % de resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 12: % de Resistencia a la Compresión VS tiempo-Curado bajo inmersión o sumergido



Se muestra el comportamiento de la resistencia a la compresión obtenida con respecto al tiempo en cual fue realizada la rotura.

Ilustración 13: Resistencia a la Compresión -Curado bajo inmersión o sumergido



4.3. Prueba de hipótesis

Una vez realizado el análisis de los resultados de la resistencia a la compresión de las probetas, se comprueba la incidencia del tipo de curado, ya que los resultados obtenidos de cada método varían considerablemente.

La validez de la hipótesis planteada se demuestra con los datos obtenidos a través de las roturas de las probetas evaluándose así la resistencia a la compresión obtenida de cada método de curado.

Además, también existen notables variaciones en cuanto a los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión del concreto curado en obra con respecto al concreto curado en laboratorio.

Se descarta la hipótesis de que el curado en obra en base al aditivo curador resulta ser más efectivo con respecto a los otros métodos de curado realizado en obra.

4.4. Discusión de resultados

A continuación, se presenta el resumen de los resultados de la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio a los 7,14 y 28 días.

Se considera como referencia al diseño de mezcla con el cual se elaboraron las probetas y al factor de seguridad que se le dio al mismo.

Tabla 14: Resultado del % de Resistencia a la compresión promedio de los curados de concreto

TIEMPO (DIAS)	% DE RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO DE LOS CURADOS DE CONCRETO				
	EN OBRA				EN LABORATORIO
	SUMERGIDO EN AGUA	ROCIADO CON AGUA	CUBIERTO CON MANTA HUMEDA	MEMBRANA L CURADOR	SIN CURADO-MEDIO AMBIENTE
0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
7	114.82%	86.07%	78.13%	79.40%	67.44%
14	132.60%	117.49%	111.10%	107.09%	85.20%
28	156.23%	135.51%	129.91%	116.49%	101.75%

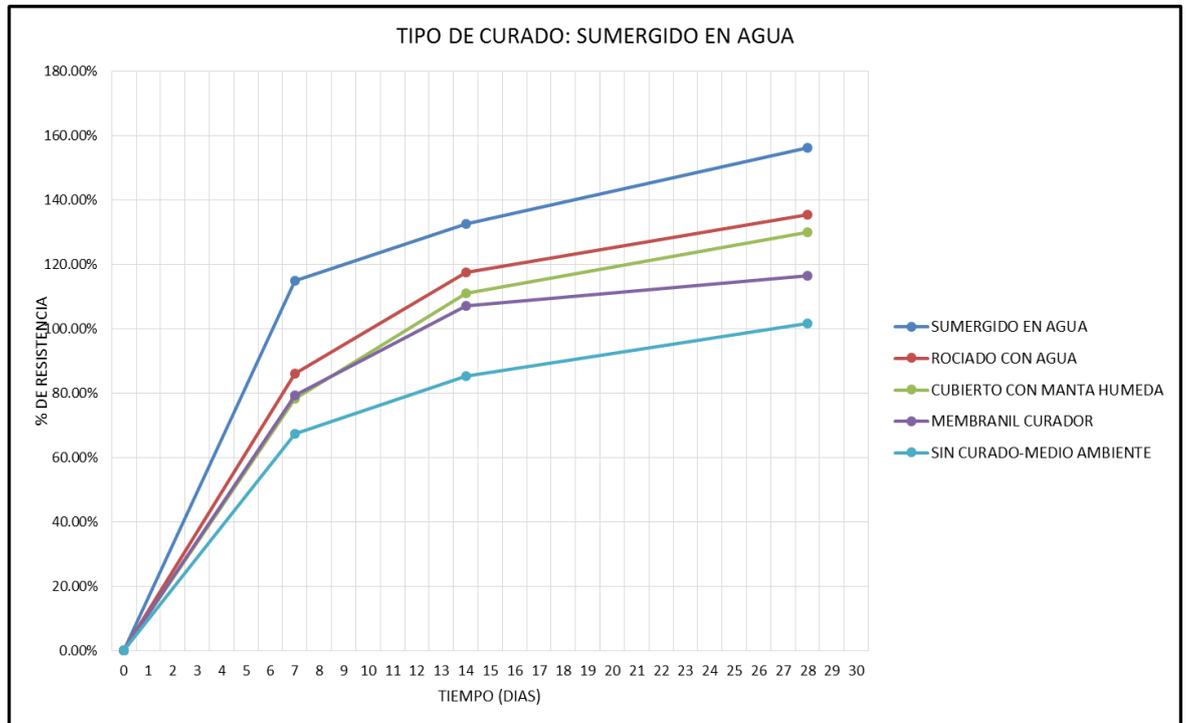
Se observa que los resultados obtenidos en cuanto al concreto curado en laboratorio en los 3 periodos de evaluación son mayores considerablemente con respecto a los resultados obtenidos del concreto curado en obra.

Además, se puede indicar que el curado de concreto que resulta ser más efectivo en obra es el que fue efectuado mediante el rociado con agua.

Es notorio a la vez que el curado a través del medio ambiente no alcanza la resistencia del 70% a los 7 días, sin embargo, a los 28 días alcanza una resistencia de 101.75% con respecto a la resistencia de diseño, es decir se eleva en 1.75%, lo cual indica que el curado a través del medio ambiente

también alcanza sus propiedades mecánicas en este caso su resistencia a la compresión de acuerdo a lo requerido.

Las variaciones y similitudes de resultados se pueden apreciar en el siguiente gráfico:

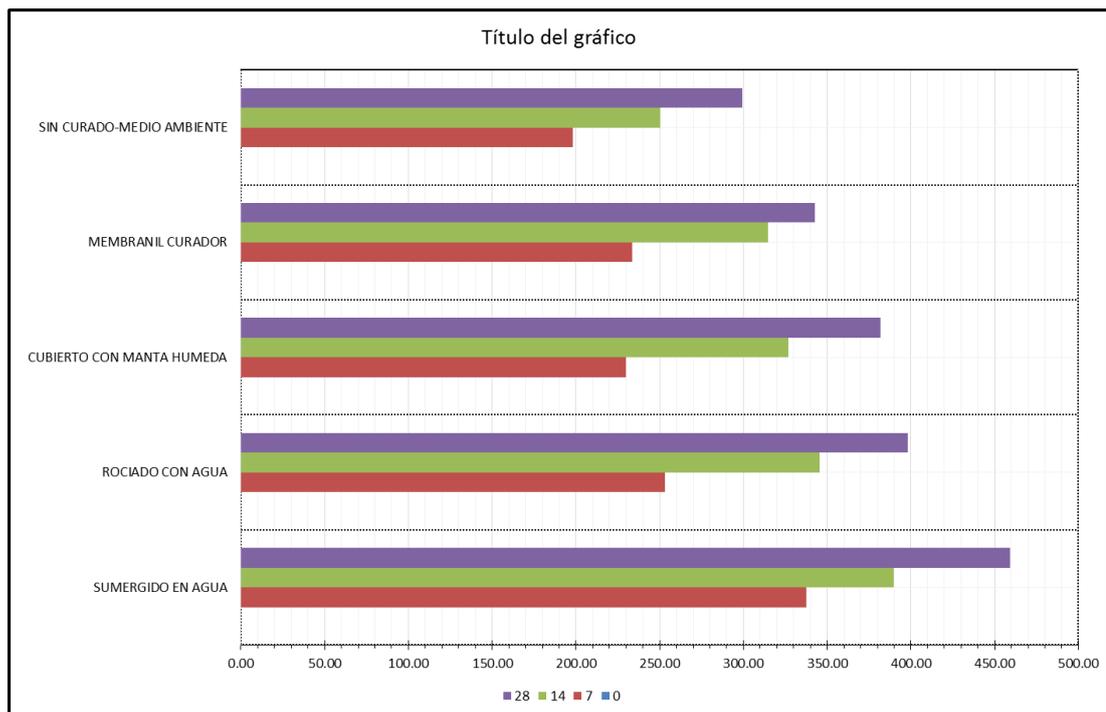


A ello se adicionan cuadros resumen de la variación de la resistencia a la compresión de cada tipo de curado en cada edad,

Con el presente proyecto se demuestra la importancia que tiene el curado en el concreto, ya que claramente se puede notar las diferencias de la resistencia a la compresión de acuerdo a los tipos de curados en condiciones de humedad y temperatura favorables.

Tabla 15: Resistencia a la Compresión promedio de los curados del concreto

TIEMPO (DIAS)	RESISTENCIA A LA COMPRESION PROMEDIO DE LOS CURADOS DE CONCRETO (KG/CM2)				
	EN OBRA				EN LABORATORIO
	SUMERGIDO EN AGUA	ROCIADO CON AGUA	CUBIERTO CON MANTA HUMEDA	MEMBRANIL CURADOR	SIN CURADO-MEDIO AMBIENTE
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	337.57	253.05	229.72	233.43	198.28
14	389.85	345.41	326.65	314.84	250.48
28	459.32	398.39	381.95	342.47	299.14



CONCLUSIONES

1. Al emplear cualquier técnica de curado se nota claramente que se obtienen las resistencias requeridas del concreto ya que los valores obtenidos en los ensayos de compresión lo demuestran, así mismo es notorio las variaciones que existen en los resultados de resistencia a la compresión de los distintos tipos de curado, de lo cual se puede decir que el tipo de curado aplicado incide en la obtención de la resistencia a la compresión.
2. Es notorio que el curado realizado en el laboratorio alcanza resistencias superiores a los curados realizados en obra, generando así desconfianza de los resultados de roturas de probetas presentados en las obras, más aún viéndose el desconocimiento del tema por parte de quienes se encuentran inmersos en el mundo de la construcción.
3. Las probetas curadas en base al aditivo curador membranil no resulta ser más efectiva que las probetas curadas en base al agua, teniendo, así como alternativa más efectiva a un mejor curado del concreto, el curado en base de agua en elementos verticales y horizontales.

RECOMENDACIONES

1. La calidad del concreto depende, entre otro factor, de un buen curado el cual promueva la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto. Un buen curado de por lo menos un periodo de 7 días es indispensable para obtener resultados que se acerquen a los resultados obtenidos en laboratorio.
2. Se recomienda curar cualquier tipo de construcción de concreto.
3. Si es posible se debe emplearse un curado permanente durante siete días.
4. Cuando la estructura tiene una posición vertical el uso de curados se restringe, no hay como utilizar curados de inmersión o de material saturado, lo más recomendable es el uso de mantas húmedas.
5. Para elementos horizontales lo más recomendable es el uso de rociadores de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Neville, A.M. Tecnología del concreto. Tomo I, IMCYC, Editorial Limusa, S.A. DE C.V., Mexico D.F, 1988.
- Código ACI 318.
- Normas ASTM
- Normas Técnicas Peruanas
- Naturaleza y Materiales del Concreto, Ing. Enrique Rivva Lopez
- Concretos de Alta Resistencia, Ing. Enrique Rivva Lopez
- Diseño de Mezclas, Ing. Enrique Rivva Lopez
- Diseño de Mezclas, Ing Rafael Cachay Huamán
- Lucia Garin - Ingeniera Civil, Universidad de Montevideo, Adrian Santilli - Doctor Ingeniero, Universidad de Montevideo y Eduardo Pejoja - Doctor Ingeniero, Universidad de Montevideo
"INFLUENCIA DEL CURADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON" Estudio Experimental-Memoria de Trabajos de Difusion Cientifica y Tecnica, num. 10 (2012)
- Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Ing. Enrique Pasquel C.
- Manual de supervisión de obras de concreto, Federico Gonzales