



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EXPERIENCIA DE IMPLEMENTACIÓN EN LABORATORIO DE LA NORMA NTP 339.213 PARA EL CURADO ACELERADO DE PROBETAS DE CONCRETO MEDIANTE USO DE AGUA HIRVIENDO

Ricardo Alva Cáceres

Piura, noviembre de 2013

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Alva, R. (2013). *Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante uso de agua hirviendo*. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo.

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Bach. Ricardo Arturo David Alva Cáceres

Asesor: Ing. Christian Varhen García

Piura, Noviembre 2013

A Dios, mis padres y hermanos, fuente inagotable de amor y ejemplo de superación.

A todas aquellas personas que se encuentren interesadas en el tema de la presente investigación, en especial a aquellas cuya motivación de sus vidas se centra en la búsqueda de la excelencia.

Prólogo

El conocimiento, alcance y utilidad en la industria de la construcción de las nuevas normativas es un aspecto interesante de descubrir. En este trabajo se describe la “Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo” Lo investigado en el presente documento, sienta los cimientos para empezar a utilizar y mirar de una nueva forma como llevamos el control de calidad del concreto y además nos brinda herramientas para una certera predicción de resistencias lejanas (28 días o más) mediante valores de resistencia obtenidos a un (1) día.

Aprovecho esta valiosa oportunidad para agradecer a la Universidad de Piura por el apoyo a lo largo de mi formación personal y técnica, en especial a las personas que con su esfuerzo y apoyo colaboraron a la realización del presente trabajo.

Asesor de Tesis

- Ing. Christian Varhen García

Apoyo a lo largo de la realización de la presente tesis

- Tec. Francisco Castro Cruz
- Ing. Luis Alva Olavarría

A los correctores de la presente tesis.

Resumen

“Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo” es un trabajo en el cual se busca exponer de manera clara y sencilla la experimentación, implementación, diseño, identificación de dificultades y costos, de una máquina de curado acelerado de probetas que cumpla con la norma NTP 339.213.

Es importante el estudio práctico a la norma NTP 339.213 *“Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto”* debido a que permite obtener información rápida sobre la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas, con una confiabilidad del 90% mejorando así el control de calidad del concreto.

Al finalizar el presente trabajo, se diseñó, construyó e implementó satisfactoriamente en el laboratorio de ensayos de materiales de construcción LEMC de la UDEP, una máquina capaz de acelerar el desarrollo de resistencia, siguiendo los lineamientos de las normativas actuales. Además sienta un primer paso para futuras investigaciones con este tipo de aceleramiento de resistencia.

Índice general

Introducción	1
Capítulo 1 Tópicos generales del concreto	3
1.1 Ventajas y limitaciones en el uso del concreto	3
1.1.1 Ventajas	3
1.1.2 Desventajas	5
1.2 Hidratación	6
1.2.1 Calor de hidratación	8
1.3 Concreto fresco, curado y desarrollo de resistencia	9
1.3.1 Concreto fresco	9
1.3.1.1 Trabajabilidad	9
1.3.1.2 Pérdida de trabajabilidad	11
1.3.2 Curado y desarrollo de resistencia	11
1.3.2.1 Curado	11
1.3.2.2 Desarrollo de resistencia	13
Capítulo 2 Ventajas, limitaciones y soluciones del curado acelerado	15
2.1. Ventajas y limitaciones del aceleramiento de resistencia.	16
2.2. Métodos de aceleramiento de resistencia según NTP 339.213	17
2.2.1 Método de aceleramiento mediante el uso de agua hirviendo, método B	17
2.3. Máquinas existentes para realizar curado acelerado con agua hirviendo	18
Capítulo 3 Implementación, parámetros y métodos de ensayo	19
3.1. Fabricación de la máquina de curado acelerado	19
3.1.1 Materiales necesarios para implementar la máquina de curado acelerado	20
3.1.2 Dificultades técnicas y soluciones encontradas para la implementación.	26
3.2. Parámetros de los agregados y diseño de mezcla	26
3.2.1 Parámetros de los agregados	26
3.2.2 Diseño de mezcla	29
3.3. Elaboración, curado y rotura de especímenes de concreto	30
3.3.1 Elaboración de especímenes de concreto	30
3.3.2 Curado de especímenes de concreto	31
3.3.3 Rotura de especímenes de concreto	33
3.3.4 Consideraciones generales al realizar los ensayos de curado acelerado en el laboratorio de ensayo de materiales de construcción LEMC	34
Capítulo 4 Método de recolección y análisis de datos según la norma NTP 339.213	37
4.1. Método de recolección de datos	37
4.1.1 Temperatura	37
4.1.2 Trabajabilidad	38
4.1.3 Resistencia a la compresión	39
4.2. Análisis de datos	40
4.3 Aplicación de estadística según NTP 339.213 “Método de ensayo normalizado para elaboración, curado y ensayo en compresión de especímenes de concreto”.	42
4.4. Resultados y presentación en cuadros y gráficas	48
4.5 Aplicación y corroboración de la gráfica de predicción	50
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	53
5.1 Conclusiones	53
5.2 Recomendaciones	54
Aportes bibliográficos	55

Anexos	57
Anexo A Esquema eléctrico de la máquina de curado acelerado	59
Anexo B Formatos para la utilización de la máquina de curado acelerado	63
Anexo C Tablas con los valores F de distribución F de Fisher	67
Anexo D Registro fotográfico	77
Anexo E Manual de pirómetro, relé, termocupla (en formato digital)	85

Introducción

El conocimiento disponible actualmente sobre experiencias e implementación de la norma NTP 339.213, tanto en el Perú como en el extranjero no es muy extensa, por tal motivo el presente trabajo de titulación, “Experiencia de implementación en laboratorio de la norma NTP 339.213 para el curado acelerado de probetas de concreto mediante el uso de agua hirviendo” amplia y consolida el conocimiento y dificultades técnicas que se presenta al implementar una máquina de curado acelerado.

En el **primer capítulo** se hablará sobre **tópicos generales del concreto**, en el **segundo capítulo** sobre **Ventajas, limitaciones y soluciones del curado acelerado**, en el **tercer capítulo** sobre **Implementación, parámetros y métodos de ensayo**, en el **cuarto capítulo** sobre **Método de recolección y análisis de datos según la norma NTP 339.213**, y finalmente en el **quinto capítulo** sobre **conclusiones y recomendaciones**.

Para la implementación y utilización del curado acelerado normado por la NTP 339.213, fue necesario conocer la correlación entre las resistencias a compresión axial entre el las probetas sometidas a un curado acelerado y las sometidas a los 28 días con un curado estándar. Para esto se elaboraron un total de 72 probetas estándar (6"x12") con relaciones a/c agua-cemento variables, posteriormente estas probetas cilíndricas, se les aplico carga axial, y se las ensayo hasta la rotura.

Adicionalmente con respecto al curado acelerado de probetas cilíndricas, en la biblioteca de la Universidad de Piura bajo el código de identificación ICI 042, se encuentra la tesis presentada en el año 1996 por el Ing. Juan Diego Ruiz Arellano con título “Autocurado de probetas de concreto desde el vaciado, usando como aislante thermofoam y tecnopor”. Se recomienda su lectura como información complementaria a este trabajo de investigación.

Capítulo 1

Tópicos generales del concreto

El presente capítulo, se encuentra basado en el libro de la PCA “Diseño y control de mezclas de concreto” donde se realiza un recuento breve con tópicos generales, acerca del concreto como material de construcción.

El concreto desde el punto de vista macroscópico es un material compuesto tixotrópico (igual propiedades en todas sus direcciones), homogéneo e isotrópico formado por una base granular (agregado grueso y fino) o filler embebida en una matriz o pasta de cemento portland y agua.

1.1. Ventajas y limitaciones en el uso del concreto

El concreto como todo material tiene ventajas y limitaciones en su uso, en la siguiente lista se muestra de manera general cuales son:

1.1.1 Ventajas

La facilidad de su elaboración, lo que hace posible que sea fabricado in situ.

El concreto se puede elaborar utilizando materiales y mano de obra locales.

Resistencia térmica moderada

El concreto soporta moderadamente bien la exposición al fuego, lo que da más seguridad a las estructuras cuando son sometidas a un incendio.

Coeficiente de dilatación cercano al acero de construcción

El concreto armado, está conformado dos materiales distintos (concreto con acero estructural), es importante notar que si estos dos materiales no tuvieran coeficientes de dilatación similares, no podrían trabajar en conjunto, y se generaría fisuras.

Facilidad para su moldeo

Con el concreto se puede obtener prácticamente cualquier forma estructural o arquitectónica concebida, es un material altamente versátil, si se sabe aprovechar cuando está en su estado plástico.

Económico

El concreto es sumamente económico de fabricar, la mano de obra para la elaboración es no calificada, además la composición del concreto es en base mayormente a agregados (material muy económico) y solo aproximadamente un 15% es pasta de cemento (material más costoso), estos dos factores tienen un impacto positivo en el precio del concreto.

Material en constante investigación

Se desarrolla e investiga constantemente, nuevas tecnologías aplicables al concreto, como por ejemplo concretos permeables, concretos alveolares, concretos de alta resistencias, nuevos aditivos.

Ahorrativo energéticamente

En su fabricación, el cemento portland consume 22GJ/m³, en comparación con el acero, el cual es 300GJ/m³.

Inercia térmica

El concreto provee en las edificaciones inercia térmica, mantiene el clima interior fresco en el verano y el calor durante el invierno, lo cual ahorra energía en los sistemas de calefacción y aire acondicionado

Material multiuso

Permite usarlo en distintos tipo de proyectos edificaciones, tuberías, carreteras, represas, túneles y puentes.

1.1.2 Desventajas

Resistencia a la tracción

El concreto, tiene una resistencia a la tracción baja, a tal punto que es despreciada para cuestiones de diseño.

Contracción y retracción en el paso de estado plástico a sólido

Lo cual se evidencia en la fisuración del concreto al no utilizar adecuados procesos constructivos durante la construcción de bruñas y juntas.

Creep

Se genera cuando el concreto se encuentra bajo una carga sostenida por un tiempo prolongado, lo que se traduce en una deformación no deseada, es la respuesta del concreto para liberar tensión, se generan grietas.

Ataque químico

El concreto es un material sensible al ataque por sulfatos, el cual se genera cuando los productos de la hidratación como los sulfoaluminatos se combinan con sulfatos presentes en el ambiente lo que genera etringita, que son cristales altamente expansivos que rompen la estructura ya fraguada del concreto. Además es sensible al ataque por cloruros presentes en el agua y carbonatación presente generalmente cuando en el aire se encuentran altas concentraciones de CO_2 .

Baja relación resistencia-peso

El concreto tiene una relación resistencia peso baja en comparación con otros materiales, esto se traduce en áreas o secciones mayores cuando se usa concreto en comparación con otros materiales.

Residuos de producción como CO_2

La industria del concreto, necesita del cemento portland el cual para su fabricación produce altos niveles de CO_2 . Actualmente estos gases que se emiten son utilizados para precalentar la materia prima antes de entrar al horno rotatorio.

1.2 Hidratación

Durante la calcinación de los compuestos básicos del cemento, se forma el clinker, el cual después de ser molido finamente se obtiene el cemento. El cemento cuenta con cuatro compuestos principales que corresponden al 90% en masa. Durante la molienda del clinker, se añaden yeso (4% hasta 6%) u otra fuente de sulfato de calcio y otros auxiliares de molienda. Los químicos del cemento usan las siguientes abreviaturas para describir los compuestos:

- $A=Al_2O_3$, $C=CaO$, $F=Fe_2O_3$, $H=H_2O$, $M=MgO$, $S=SiO_2$, $\underline{S}=SO_3$

A continuación se muestran los principales componentes del cemento con sus respectivas abreviaturas químicas:

- **Silicato tricálcico:** $3CaO-SiO_2 = C_3S$
- **Silicato dicálcico:** $2CaO-SiO_2 = C_2S$
- **Aluminato tricálcico:** $3CaO-Al_2O_3 = C_3A$
- **Ferroaluminato tetracálcico:** $4CaO-Al_2O_3-Al_2O_3 = C_4AF$

Siguen las fórmulas de sulfato de calcio, sus fórmulas químicas y abreviaturas:

- **Sulfato de calcio anhidro** (anhidrita): $CaSO_4 = CaO-SO_3 = \underline{CS}$
- **Sulfato de calcio dihidratado** (yeso): $CaSO_4 \cdot 2H_2O = CaO-SO_3 \cdot 2H_2O = \underline{CSH_2}$
- **Hemidrato de sulfato de calcio:** $CaSO_4 \cdot 1/2H_2O = CaO-SO_3 \cdot 1/2H_2O = \underline{CSH_{1/2}}$

El yeso, sulfato de calcio dihidratado, es la fuente de sulfato más empleada en el cemento.

El C_3S y el C_2S en el Clinker se conocen como **alita** y **belita**, respectivamente. La alita constituye del 50% al 70% del Clinker mientras que la belita es del 15% al 30%. Los compuestos de aluminato constituyen aproximadamente del 5% al 10% del Clinker y los compuestos de ferrita del 5% al 15% (Taylor 1997).

En presencia de agua, estos compuestos se hidratan (se combinan químicamente con el agua) para formar nuevos compuestos, los cuales forman parte de la microestructura de la pasta de cemento endurecida en el concreto. Los silicatos de calcio, C_3S y C_2S , se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (antiguamente llamado gel de tobermorita).

El cemento portland hidratado contiene del 15% al 25% de hidróxido de calcio y aproximadamente 50% de silicato de calcio hidratado, en masa. La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al silicato de calcio hidratado.

El C_3A reacciona con el agua y el hidróxido de calcio para formar aluminato tetracálcico hidratado. El C_4AF reacciona con el agua para formar ferroaluminato de calcio hidratado. El C_3A , sulfato (yeso, anhidrita y otra fuente de sulfato) y el agua se combinan para formar etringita (trisulfoaluminato de calcio hidratado), monosulfato de calcio y otros compuestos afines. Estas transformaciones básicas de los compuestos se presentan en la Tabla 1.1.

Componente básico del cemento	Agua	Productos de hidratación	
2 (3CaO-SiO ₂) Silicato tricálcico	+ 11 H ₂ O Agua	= 3CaO-2SiO ₂ -8H ₂ O Silicato de calcio hidratado (C-S-H)	+ 3 (CaO-H ₂ O) Hidróxido de calcio
2 (2CaO-SiO ₂) Silicato dicálcico	+ 9 H ₂ O Agua	= 3CaO-2SiO ₂ -8H ₂ O Silicato de calcio hidratado (C-S-H)	+ CaO-H ₂ O Hidróxido de calcio
3CaO-Al ₂ O ₃ Aluminato tricálcico	+ 3 (CaO-SO ₃ -2H ₂ O) Yeso	+ 26 H ₂ O Agua	= 6CaO-Al ₂ O ₃ -3SO ₃ -32H ₂ O Etringita
2 (3CaO-Al ₂ O ₃) Aluminato tricálcico	6CaO-Al ₂ O ₃ -3SO ₃ -32H ₂ O Etringita	+ 4 H ₂ O Agua	= 3 (4CaO-Al ₂ O ₃ -SO ₃ -12H ₂ O) Monosulfoaluminato de calcio
3CaO-Al ₂ O ₃ Aluminato tricálcico	+ CaO-H ₂ O Hidróxido de calcio	+ 12 H ₂ O Agua	= 4CaO-Al ₂ O ₃ -13H ₂ O Aluminato Tetracálcico hidratado
4CaO-Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃	+ 10 H ₂ O	+ 2(CaO-H ₂ O) Hidróxido de calcio	= 6CaO-Al ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ -12H ₂ O Ferroaluminato de calcio hidratado

Tabla 1.1. Transformaciones principales del cemento (Tennis y Jennings 2000).

El conocimiento actual de la química del cemento indica que los compuestos principales del cemento tienen las siguientes propiedades:

Silicato Tricálcico, C_3S , se hidrata y se endurece rápidamente y es responsable, en gran parte, por el inicio del fraguado y la resistencia temprana. En general, la resistencia temprana del concreto de cemento portland es mayor, cuando el porcentaje de C_3S aumenta.

Silicato Dicálcico, C_2S , se hidrata y se endurece lentamente y contribuye a la resistencia a edades lejanas.

Aluminato Tricálcico, C_3A , libera gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye un poco para el desarrollo de las resistencias tempranas. Los cementos con bajos porcentajes de C_3A resisten mejor a suelos y aguas con sulfatos.

Ferroaluminato Tetracálcico, C_4AF , es el producto resultado del uso de las materias de hierro y aluminio para la reducción de la temperatura de clinkerización (clinkerización o cocción) durante la fabricación del cemento. Este compuesto contribuye muy poco para la resistencia. La mayoría de los efectos de color para la producción del cemento gris se deben al C_4F y sus hidratos.

Sulfato de Calcio, como anhidrita (sulfato de calcio anhidro), yeso (sulfato de calcio dihidratado) o hemidrato, comúnmente llamado de yeso de parís (sulfato de calcio hemidrato), se adiciona al cemento durante la molienda final, ofreciendo sulfato para la reacción con el C_3A y la formación de Etringita (trisulfoaluminato de calcio). Esto controla la hidratación del C_3A . Sin sulfato, el fraguado del cemento sería rápido. Además del control del fraguado y del desarrollo de resistencia, el sulfato también ayuda a controlar la contracción (retracción) por secado y puede influenciar la resistencia hasta los 28 días (Lerch 1946).

1.2.1 Calor de hidratación

El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, principalmente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los compuestos más importantes en la evolución de calor.

La relación agua-cemento, el contenido de cemento y su finura así como la temperatura de curado también son factores que intervienen en la generación de calor.

A pesar que el cemento portland puede liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en edades tempranas. Se genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a lo largo de las primeras 24 horas (Copeland y otros 1960), tal como se muestra en el Gráfico 1.1.

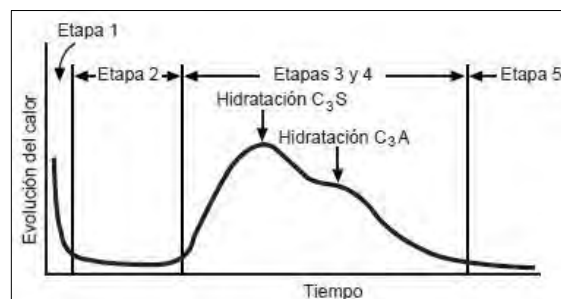


Gráfico 1.1. Evolución de calor en función del tiempo para la pasta de cemento (Tang 1992).

La etapa 1 es el calor de humedecimiento o de la hidrólisis inicial (hidratación del C_3A y del C_3S). La etapa 2 es el periodo de latencia relacionado al tiempo de fraguado inicial. La etapa 3 es una reacción acelerada de los productos de hidratación que determina la tasa de endurecimiento y el tiempo de fraguado final. En la etapa 4 hay una desaceleración de la formación de los productos de hidratación y determina la tasa de aumento de resistencia inicial. La etapa 5 es lenta, caracterizada por la formación estable de productos de hidratación, estabilizando la tasa de aumento de resistencia a edades avanzadas. El primer pico se da a los 7 min, el segundo pico entre 6 y 12 horas y el tercer pico entre 12 y 90 horas.

1.3 Concreto fresco, curado y desarrollo de resistencia

1.3.1 Concreto fresco

Todo concreto fresco debe cumplir con ciertos criterios como:

- Debe ser fácil de mezclar, transportar y colocar.
- Debe ser uniforme a todo lo largo de las tandas y entre tantas.
- Debe tener capacidad para poder fluir, para adaptarse a las formas que será moldeado.
- Debe poder ser compactado sin ser necesario demasiada energía.
- No deberá segregar durante su transporte, colocación y compactación.
- Deberá dejar una superficie acabada en el encofrado (libre de cangrejas, porosidad excesiva).

1.3.1.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad se define como la cantidad de trabajo mecánico o energía que se requiere para producir una compactación completa (consolidación) del concreto sin que se produzca segregación.

Algunos de los aspectos más importante de esta propiedad son los requerimientos, subjetivos y objetivos, que se tienen en distintas circunstancias como: consistencia, fluidez, capacidad de transporte, capacidad de ser bombeado, compactibilidad, acabado superficial, dureza.

La trabajabilidad tiene distintas formas de medirse, pero la cultura de construcción en nuestro medio, el método más usado es el cono de Abrams, en el cual mide el asentamiento en pulgadas de un tronco de concreto fresco.

Factores que afectan la trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto es influenciada por diversos factores como: contenido de agua en la mezcla, proporciones de los componentes de la mezcla, propiedades de los agregados, tiempo, temperatura, tipo de cemento, aditivos.

- **Influencia del contenido de agua**

Es el factor más importante y el que tiene más influencia en la trabajabilidad del concreto. Incrementando el contenido de agua se incrementará también la facilidad con la que el concreto fluye y puede ser compactado. Sin embargo se genera una caída en la resistencia debido al aumento de la relación agua-cemento A/C, para evitar esto, se incrementa también la cantidad de cemento (finalmente lo que se hace, es incrementar la pasta de cemento), el hecho de agregar agua puede producir segregación y sangrado en el concreto con más facilidad.

El agua que se agrega sobre una mezcla para mejorar su trabajabilidad se distribuye en varias funciones, primero una parte es absorbida por la superficie de las partículas, y luego lo restante debe llenar el espacio entre las partículas con una “película de agua” la cual lubrica las partículas separándolas; en partículas finas se requiere más cantidad de agua porque tienen más área superficial específica. La lubricación depende adicionalmente de una buena gradación de la grava utilizada y de la redondez del agregado.

- **Influencia de los agregados**

Esta influencia se evidencia en la relación en volumen entre el agregado grueso y fino, la textura superficial, redondez, y absorbencia del agregado. Mientras el agregado sea bien graduado con textura lisa, lo más esférico (menos angular posible, menor trabazón mecánica) y absorba la menor cantidad posible de agua de la mezcla mejor será la fluidez del concreto.

- **Influencia de la temperatura**

La temperatura ambiental conforme va en aumento la trabajabilidad disminuye, ya que las altas temperaturas aumentan la tasa de hidratación y la velocidad evaporación, esto genera que se considere más agua en los diseños de mezclas en climas cálidos para mantener la misma trabajabilidad o el uso de aditivos retardantes de fragua, tal como se muestra en el Gráfico 1.2.

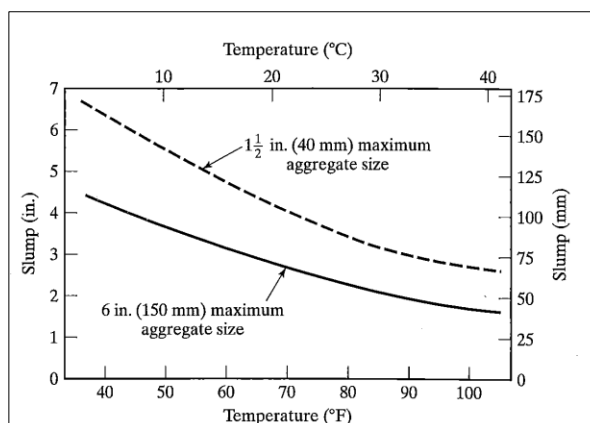


Gráfico 1.2. Relación entre el slump y temperatura para distintos tipos de tamaño máximo de agregado, (Concrete –Mindess, Young, Darwin –SecondEdition – 2002).

- **Influencia según las características del cemento**

Un cemento con un módulo de fineza alto, y por consiguiente con un valor de superficie específica alto (por ejemplo un TIPO III, con alto calor y resistencia a edades temprana) requerirá mayor cantidad de agua para conseguir la misma trabajabilidad que con un cemento TIPO I.

1.3.1.2 Pérdida de trabajabilidad

La pérdida de trabajabilidad es aproximadamente lineal con respecto al tiempo, aunque es mayor entre los primeros 30 min a 60 min después del mezclado. Cuando la fragua inicial del concreto comienza demasiado pronto se puede “retemplar” la mezcla agregando agua y remezclado, pero esto generara un aumento en la relación agua cemento A/C y una disminución de la resistencia es por esto que es recomendable cuando realice este proceso se aumente también el contenido cemento; sin embargo con todo estos cuidados se deberá siempre evitar retemplar la mezcla, ya que se rompen las microestructuras (enlaces químicos) que recién se empiezan a formar.

1.3.2 Curado y desarrollo de resistencia

El curado y el desarrollo de resistencia están muy relacionados entre sí, un adecuado curado desencadena en un buen desarrollo de resistencia del concreto, siempre que la preparación, diseño de mezcla, colocación y acabado sean los adecuados.

1.3.2.1 Curado

El curado del concreto es la actividad por la cual se suministra y mantiene la temperatura y humedad, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación del concreto, con el fin de lograr una óptima hidratación del cemento lo que favorecerá el desarrollo de las propiedades deseadas del concreto.

Estas propiedades deseadas son, una buena: resistencia a la compresión, abrasión, estabilidad volumétrica, resistencia a congelación-deshielo.

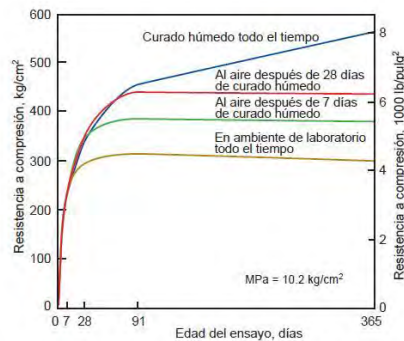


Gráfico 1.3. Efecto de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto (Ginnerman y Shuman 1928).

Como se observa en el Gráfico 1.3, el concreto cuando es sometido a un curado estándar, mediante inmersión completa y permanente en agua (línea azul). La resistencia aumenta considerablemente solo durante 28 días, a partir del día 28 el ritmo de aumento de resistencia es lineal y con una pendiente muy suave, es por esta razón que tradicionalmente se toma como resistencia máxima a la compresión f'_c de las probetas de concreto a 28 días.

Es importante recordar que el período de curado igual a 3 días permite únicamente alcanzar el 75 – 80 % de la resistencia potencial a 28 días que se podría alcanzar con un curado húmedo continuo.

Métodos de curado

Se debe mantener el concreto húmedo y a temperaturas favorables a través de tres métodos de curado.

- 1- Métodos que mantienen el agua de la mezcla (agua de mezclado) presente durante los periodos iniciales de endurecimiento. Entre estos se incluyen encharcamientos o inmersión, rociado, aspersión o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, lo cual es beneficioso en climas cálidos.
- 2- Métodos que reducen la pérdida de agua de mezcla en la superficie del concreto. Esto se puede hacer cubriéndose el concreto con un papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.
- 3- Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al concreto. Esto se realiza con métodos de curado acelerado.

1.3.2.2 Desarrollo de resistencia

El desarrollo de resistencia tiene varias etapas que se inician desde la pérdida de trabajabilidad e inicio de la fragua inicial hasta el endurecimiento final del concreto. El tiempo y la temperatura, son dos factores importantes para el desarrollo de resistencia del concreto, se puede observar en el Gráfico 1.5.

Tiempo y temperatura de curado

El periodo o tiempo de curado del concreto será el necesario que garantice la resistencia a la compresión del concreto a la cual ha sido diseñado. Durante este tiempo se deberá controlar la pérdida de humedad en el concreto. Este período de curado debe ser continuo. Ciclos de desecamientos y humedecimiento someterán al concreto a esfuerzos de tracción mientras el concreto aún es débil, reduciendo así su resistencia final o última.

Una temperatura de curado más elevada proporciona un desarrollo más temprano de la resistencia a la compresión, en comparación al desarrollo que se da, a una temperatura más baja, además estas temperaturas elevadas de curado acelerado disminuyen la resistencia a los 28 días, como se observa en la Gráfico 1.4.

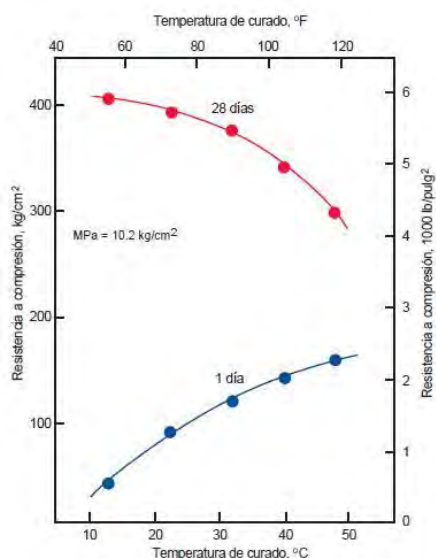


Gráfico. 1.4. La resistencia a un día aumenta conforme aumenta la temperatura de curado, pero la resistencia a los 28 días disminuye con el aumento de esta temperatura (Verbeck y Helmuth 1968).

Fraguado del concreto

El fraguado es definido como la aparición de rigidez en el concreto fresco, el fraguado no debe ser confundido con el endurecimiento el cual es el desarrollo de una resistencia útil; el fraguado precede al endurecimiento y debe ser entendido como un periodo de transición entre su verdadera fluidez y su verdadera rigidez como se muestra en el Gráfico 1.5.

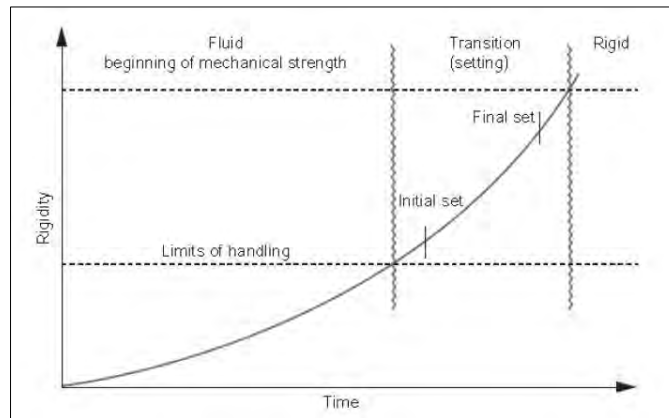


Gráfico 1.5. Proceso de fraguado y endurecimiento del concreto. (Concrete –Mindess, Young, Darwin - Second Edition – 2002).

Tiempo de fragua

La fragua del concreto es un proceso gradual, el cual viene definido por el tiempo que requiere para que el mortero alcance valores de resistencia a penetración significativos.

El tiempo de fragua del concreto es una medida arbitraria, y es un parámetro importante por las siguientes razones:

1. Ayuda a regular los tiempos de mezclado y transporte.
2. Conocer la efectividad de los distintos aditivos controladores de fragua (retardadores y aceleradores de fragua).
3. Ayuda en el plan de programación para las operaciones de acabado del concreto.

Puede ser usado para determinar los efectos de variables, tales como contenido de agua, marca, tipo y cantidad de material cementicio, aditivos, en el tiempo de fragua.

Capítulo 2

Ventajas, limitaciones y soluciones del curado acelerado

Actualmente en la construcción, se evidencia, que el ritmo de colocación de concreto ha aumentado. Por ejemplo edificios que tiempo atrás, demoraban años en completarse ahora se realizan solo en cuestión de meses, esto genera que esperar roturas a los 28 días e incluso 7 días para evaluar si un determinado concreto cumple con los requerimientos exigidos en resistencia, es demasiado tiempo.

Durante este tiempo de espera, probablemente se colocará concreto de buena resistencia por encima del concreto que eventualmente deberá ser demolido (por cuestiones de calidad). Por lo dicho anteriormente es necesario un método que permita de manera temprana, proyectar la resistencia a edades mayores. (*The Aberdeen Group (1981), Malhotra 1981*).

Es por esta razón que resulta útil someter el concreto a un curado acelerado, ya que ayuda a la obtención de los valores de resistencia a la compresión del concreto, en un menor tiempo, lo cual permite tomar acciones de corrección y control tempranas, permitiendo optimizar el tiempo de reacción para realizar correcciones en la dosificación o diseño de mezcla.

2.1. Ventajas y limitaciones del aceleramiento de resistencia.

La **ventaja** principal del curado acelerado es básicamente la obtención de manera rápida y confiable de información para poder proyectar valores de resistencia a la compresión (f'_c) a 28 días, utilizando valores de resistencia a la edad de 1 día con una aceptable confiabilidad.

Los resultados obtenidos del aceleramiento de resistencia también pueden ser utilizados para conocer la variabilidad de la resistencia del concreto que está siendo colocado en obra (control de calidad), esto nos permite realizar las correcciones pertinentes en el diseño o dosificación del concreto. Los datos de resistencia obtenidos mediante la aplicación de este curado acelerado tiene la misma variabilidad que las resistencias obtenidas con el curado tradicional (*Ahmed 2005, Lamond 1983*).

Se cuenta con experiencias del uso de curado acelerado en obras de EE.UU y Canadá con resultados satisfactorios, en el control de calidad y la predicción a resistencias a 28 días. Además según investigaciones difundidas por el *American Concrete Institute (ACI)* es muy probable que en un futuro se utilicen los curados acelerados conocidos como “*One Day Test*” para la aprobación del concreto en obra y no esperar 28 días como sucede en la actualidad. (*Lamond 1983, The Aberdeen Group (1981), Meyer 1997*).

Otra ventaja que se puede considerar en el uso del curado acelerado es el ahorro de espacio en la poza de curado (método estándar), ya que cuando se trabajan con volúmenes considerables de concreto, el número de muestras (probetas) obtenido es considerable.

La **limitación** que podemos encontrar en la realización del curado acelerado, es que se requiere cierto nivel técnico del personal, además de la implementación o compra de una máquina de curado acelerado.

2.2. Métodos de aceleramiento de resistencia según NTP 339.213

En la Tabla 2.1, se resumen los cuatro métodos de curado acelerado presentes en la norma NTP 339.213 estos están clasificados en A (método de agua caliente), **B (método del agua hirviendo)**, C (método autógeno), D (método de calor y presión).

Proceso	Moldes	Fuentes de aceleración	Temperatura de curado acelerado °C	Edad de inicio de curado	Duración de curado	Edad de ensayo
A	Reusable o uso simple	Calor de hidratación	35	Inmediatamente después de la colocación	23,5 h +- 30 min	24 h +- 15 min
B	Reusable o uso simple	Agua hirviendo	Hirviendo	23 h +- 30 min después de la colocación	3,5 h +- 5 min	28,5h +- 15 min
C	Simple uso	Calor de hidratación	T inicial + calor de hidratación	Inmediatamente después de la colocación	48 h +- 15 min	49 h +- 15 min
D	Simple uso	Calor externo y presión	150	Inmediatamente después de la colocación	5 h +- 5 min	5,25 h +- 5 min*
*Agregar 30 min si se utiliza capa compuesta de azufre.						

Tabla 2.1. Norma NTP 339.213 cap. 8.3.

2.2.1 Método de aceleramiento mediante el uso de agua hirviendo, método B

Utilizaremos el método B de aceleramiento de resistencia de la norma 339.213, el cual utiliza agua hirviendo y nos permite realizar una proyección de resistencias a 28 días con curado estándar, mediante el uso de valores de resistencia aceleradas a un día.

El método B para poder ser utilizado necesita de la realización de un gráfico de correlación (se muestra en el acápite 4.4), este gráfico es único para cada tipo de agregado y cemento, es decir si se cambia de cantera o de tipo de cemento se deberá obtener una nueva gráfica de correlación.

Las ventajas del método B con respecto a los otros métodos (A, C, D) se detallan a continuación.

- El método **B** en comparación con el método **A**, tiene la ventaja que el tiempo de duración del ensayo es menor; además en ambos métodos es necesario un laboratorista permanentemente durante el tiempo que dura el ensayo, lo que hace más práctico la realización del método **B**, además los resultados acelerados de resistencia obtenidos se diferencian más con el curado **B**, lo cual es bien útil cuando se trabajan con relaciones agua-cemento cercanas. (*Majid 2001, Malhotra 1981*).
- El método **B** en comparación con el método **C**, tiene la ventaja que el tiempo de curado es menor (3.5 horas) en comparación con el método **C** (48 horas).
- El método **B** en comparación con el método **D**, tiene la ventaja que la implementación para la realización de los ensayos es mucho más simple; el método **D** considera la aplicación simultanea de presión y calor al mismo tiempo.

La aplicación del método de curado acelerado **B** ya ha sido resuelto por distintos fabricantes, provenientes de países como, Italia y China; el precio de la máquina de curado más los costos de envío, superan largamente el precio de fabricación de manera local haciendo uso de materiales e ingeniería netamente peruana. Es esto justamente uno de los objetivos de este estudio, conocer, implementar y utilizar la máquina de curado.

2.3. Máquinas existentes para realizar curado acelerado con agua hirviendo

Se han estudiado las características presentes en modelos de máquinas de curado acelerado en mercados internacionales, hemos tomado como referencia estas características, así como las recomendaciones de la norma NTP 339.213. Con esta recolección de información hemos construido, haciendo uso materiales disponibles en Perú una máquina de curado acelerado, capaz de satisfacer los requerimientos de la norma NTP 339.213.

En el mercado nacional no existen fabricantes o importadores directos de máquinas de curado acelerado, sin embargo se fabrican en países como Italia y China (ver Tabla 2.2).

País	Precio dólares sin envío	Fabricante	Fuente
China	800	CangzhouBaoHua Hardware Co., Limited	http://spanish.alibaba.com/product-gs/model-jyf-6-series-concrete-rapid-curing-cabinet-794828553.html
Italia	1300	CONTROLS s.r.l.	http://www.controls-group.com/eng/concrete-testing-equipment/programmable-accelerated-curing-tanks.php
India	-	Rajco Cientific & Engineering Products	http://www.stecoscientific.com/concrete-testing-equipment.html

Tabla 2.2 Países donde se fabrican máquinas de curado acelerado

Capítulo 3

Implementación, parámetros y métodos de ensayo

Para la fabricación, implementación y realización de ensayos con la máquina de curado acelerado, se tomó los lineamientos y recomendaciones de las normas NTP 339.213 y ASTM C-684-99 “*Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens*”.

3.1. Fabricación de la máquina de curado acelerado

La norma 339.213 recomienda que el nivel del agua mínimo sobre una probeta que está siendo curada aceleradamente debe ser de 10cm.; la distancia entre probetas que están siendo curadas debe ser como mínimo de 10cm y la distancia entre la pared interna del tanque de curado y la probeta debe ser como mínimo de 5cm. La distancia entre el fondo de la probeta y el fondo del tanque de curado acelerado deberá ser como mínimo de 7.5cm para permitir un flujo natural del agua.

Con las recomendaciones descritas, se procedió a la fabricación de la máquina de curado (ver Foto 3.1), este proceso tomo mes y medio, durante este tiempo se confeccionaron las distintas piezas que forman parte de la máquina de curado acelerado. Durante el proceso de construcción, se fue afinando el diseño de la máquina hasta obtener el diseño actual.



Foto 3.1. Máquina de curado acelerado con el panel de control.

El tanque de la máquina de curado acelerado permite albergar en su interior a 3 probetas de tamaño estándar 12"x6" (ver Foto 3.2), las cuales son sometidas a una temperatura controlada de 100°C. Este proceso es posible gracias al uso de 120 litros de agua, las dimensiones interiores del tanque de curado acelerado son 0.8m x 0.3m x 0.6m (largo, ancho, alto).



Foto 3.2. Termocupla y la distribución de las probetas al interior del tanque.

Las dimensiones exteriores de la máquina de curado acelerado son 1.1m x 0.6m x 1.00m (largo, ancho, alto). Estas medidas se incluyen las 4 capas de aislamiento de Fisiterm (en tapa y paredes laterales), el soporte del tanque de curado, las asas del tanque y tapa.

Las dimensiones del panel de control de la máquina de curado acelerado son 25cmx30cmx17cm (largo, alto, ancho).

3.1.1 Materiales necesarios para implementar la máquina de curado acelerado

Los materiales necesarios para implementar la máquina de curado se clasifican en los siguientes grupos: metalmecánica, electrónicos y eléctricos, aislamiento, accesorios, se describen cada grupo a continuación.

Metalmecánica

En este grupo contamos con los materiales que involucran trabajos con fierro.

Poza de curado acelerado con tapa a doble asa (ver Foto 3.3), fabricada de fierro negro, con espesor de 1/16, y con aplicación de pintura uretano color negro, para protección de altas temperaturas y óxido. El tanque de curado acelerado tiene las dimensiones interiores de 0.8m x 0.3m x 0.6m (largo, ancho, alto).

Interiormente se cuenta con una parrilla de fierro (ver Foto 3.4), con dimensiones 16cmx50cm10cm (ancho, largo, altura) para el soporte de las 3 probetas, y evitar dañar las resistencias, ubicadas a 5cm del fondo en el tanque de curado acelerado.



Foto 3.3. Tanque de curado previo al pintado.



Foto 3.4. Parrilla interna del tanque de curado para el soporte de las probetas.

Electrónicos y eléctricos

En este grupo contamos con los materiales e instrumentos que requieren flujo de electricidad para su funcionamiento.

- En los instrumentos electrónicos contamos con un **pirómetro** controlador de procesos modelo **ATR 236-ABC** marca **PIXSYS** (ver Foto 3.5), su función es procesar y controlar el circuito de las resistencias calentadoras de agua, en función de la temperatura registrada en la termocupla.



Foto 3.5. Pirómetro controlador de temperatura.

- **Termocupla** sensor modelo **PT100** con cabezal de 4" L x 1/2" x 6.4mm marca **FOTEK** (ver Foto 3.6), su función es informar mediante pulsos eléctricos al pirómetro de la temperatura al interior del tanque de curado.



Foto 3.6. Termocupla, en su posición final para la medición de temperatura, se muestra también 2 de las 3 resistencias conectadas en paralelo.

- **Relé** de estado sólido modelo **SSR-50 AA** marca **FOTEK**, (ver Foto 3.7), es el encargado de realizar el trabajo “físico” de abrir y cerrar el circuito de resistencias calentadoras de agua, el relé recibe los pulsos eléctricos provenientes del pirómetro.



Foto 3.7 Relé en estado sólido, en el lado izquierdo trabaja con voltaje continuo y en el derecho con voltaje alterno de 220 Voltios.

En los instrumentos y materiales eléctricos, contamos con dos cuchillas termomagnéticas de 63 amperios, la primera cuchilla tiene la función de llave general para todo el sistema y la segunda cuchilla termomagnética controla solo el flujo de electricidad hacia las tres resistencias calentadoras de agua (tipo terma) de 3000 Watts cada una (ver Foto 3.8).



Foto 3.8. Resistencias utilizadas para calentar el agua dentro del tanque de curado.

Aislamiento

Está constituido por cuatro capas de Fisiterm (lana de poliéster ligada por termofusión), con un espesor en total promedio de 15cm (ver Foto 3.9). Esta lana de Fisiterm está sujeta al tanque de curado mediante correas de driza.



Foto 3.9. Tanque de curado al instalarle el Fisiterm para disminuir la pérdida de calor.

Accesorios

Son los materiales necesarios para la correcta operación de la máquina de curado acelerado, pero no para la fabricación de la misma, como por ejemplo la jarra hervidora (ver Foto 3.10), termómetro de mano, alicates, guantes (ver Foto 3.11), alambre negro # 16.



Foto 3.10. Jarra hervidora con capacidad de 2.5 litros.



Foto 3.11. Guantes de Jebe utilizados en la máquina de curado.

La lista completa de insumos y materiales necesarios, para la fabricación y la operación de la máquina de curado acelerado se presentan en la Tabla 3.1

Item	Descripción	Unidad	Cant.	P.U	Parcial S/.	Observaciones
Metalmecánica						
1	Tanque de curado	Glb	1	328.00	328.00	incluye Fabricacion y Materiales
2	Pintura para tanque de curado	Glb	1	205.00	205.00	incluye Fabricacion y Materiales
3	Perforacion Tanque	Glb	1	8.20	8.20	Mano de Obra
4	Parrilla para soporte	Glb	1	41.00	41.00	incluye Fabricacion y Materiales
5	Contratuercas de Bronce	Und.	3	16.40	49.20	incluye Fabricacion y Materiales
6	Tuercas milimetricas	Und.	2	2.46	4.92	
7	Tuercas exagonales ZINC 5/32"	Und.	5	0.24	1.21	
8	Prensa C 1"	Und.	4	3.20	12.79	
9	Manguera Duplex 5/8"	m	18	1.15	20.66	
10	Abrazadera manguera 3/4"	Und.	1	4.02	4.02	
11	Empaque conico para llave 1/4	Und.	1	1.80	1.80	
12	Canopla 1/2"	Und.	1	1.23	1.23	
13	Valvula Esferica Jardin Cromada 1/2"	Und.	1	22.06	22.06	
14	Contratuercas bronce de 1/2"	Und.	1	1.23	1.23	
Electricos y Electronicos						
15	Caja Adosable Metalica color gris con llave	Und.	1	20.50	20.50	
16	Caja termico bticino 4 puntos	Und.	2	6.07	12.14	
17	Interruptor Termico T.Riel Roggy 2x63Amp	Und.	2	12.22	24.44	
18	Pirometro Controlador de Procesos Modelo ATR 236-ABC	Und.	1	254.20	254.20	Marca PIXSYS
19	Rele de Estado Solido Completo Modelo SSR-50 AA	Und.	1	94.30	94.30	Marca FOTEK
20	Sensor PT100 con Cabezal de 4" L x 1/2" x 6.4mm	Und.	1	131.89	131.89	Marca FOTEK
21	Cable PT100 Apantallado Modelo 1620-00-02	m	2	20.50	41.00	
22	Tuberia corrugada flexible 1/2"	m	8	0.74	5.90	
23	Tuberia corrugada flexible 3/8"	m	3	0.82	2.46	
24	Conector tuberia flexible 1/2"	Und.	2	2.67	5.33	
25	Conector tuberia flexible 3/8"	Und.	2	2.96	5.92	
26	Resistencias de 3000W	Und.	3	33.33	99.99	
27	Cable THW 10 resistente a fuego	m	4	4.92	19.68	
28	Cable THW 10 sin proteccion al fuego	m	10	2.46	24.60	INDECO
29	Cable THW 8 sin proteccion al fuego	m	12	2.58	30.94	INDECO
30	Cable THW 14 sin proteccion al fuego	m	10	0.82	8.20	INDECO
31	Terminal de ojal de 10 amp	Und.	14	0.62	8.61	
32	Cintillos	Und.	25	0.13	3.28	
33	Retazo de madera liston	m2	0.75	2.42	1.81	
34	Tornillo madera 4x25	Und.	12	0.12	1.42	
35	Tornillo madera 9x1	Und.	12	0.13	1.55	
Alisamiento						
36	Rollo de Fisiterm (lana de poliestileno)	Und.	1	69.62	69.62	14.4mx1.1m
37	Driza blanca 3/32"	m	12	0.25	2.95	
Accesorios						
38	Jarra Hervidor Electrico de 2,5 Lt	Und.	1	11.48	11.48	
39	Termometro	Und.	1	0	0.00	
40	Cuchilla Stanley	Und.	1	1.47	1.47	
41	Guantes Descarnador Soldador a prueba de fuego	Und.	1	8.12	8.12	
42	Alambre Negro # 16 Nacional	kg	3	3.53	10.58	
Varios						
43	Transporte Lima-Piura	Glb.	1	52.48	52.48	
44	Piedra Sojo	m3	0.6	133.33	80.00	
45	Arena Chulucanas	m3	0.7	92.86	65.00	
46	Cemento tipo I pacasmayo	Bolsa	6	16.56	99.36	
TOTAL Sin IGV					1900.53	
TOTAL + IGV					2242.63	
TOTAL Dólares Sin IGV					703.90	TC 2.7

Tabla 3.1. Lista total de materiales utilizados en la elaboración de la máquina de curado.

3.1.2 Dificultades técnicas y soluciones encontradas para la implementación.

Las dificultades técnicas encontradas a lo largo de este proyecto son:

- Se debió encontrar una manera de controlar la temperatura en tiempo real y de manera constante, es por esto que se recurrió al uso de un panel de control (pirómetro, relé, termocupla).
- Originalmente la máquina de curado acelerado contó con 3 resistencias de 1500 W pero el tiempo en calentar el agua hasta los 100°C era de 4 horas, por tal razón se decidió duplicar la los watts y colocar 3 resistencias de 3000 W, y el tiempo se redujo a 2 horas.
- Se encontró que el mezclador era muy pequeño para poder realizar de una sola tanda 6 probetas por lo que se tuvo que realizar 2 tandas para cada relación agua-cemento.
- Se observó que el tanque perdía calor por sus paredes metálicas, por lo que se optó utilizar el Fisitem y disminuir la pérdida de calor. Se observó que si se dejaba el tanque con agua a 100°C de un día para otro este amanecía con una temperatura en promedio de 68 °C; lo cual ahorra energía al volver a prender la máquina al día siguiente.
- Se observó que el nivel de agua descendía por lo que fue necesario la reposición de agua cada 15min con 2.5 litros utilizando un hervidor, para evitar bajar la temperatura el agua durante el ensayo.
- Para sumergir las probetas con su molde en el la máquina de curado acelerado, mientras el agua se encuentra hirviendo, fue necesario la fabricación de tres canastillas con fierro negro # 16. Evitamos así el contacto con el agua hirviendo y riesgo eléctrico.

3.2. Parámetros de los agregados y diseño de mezcla

Para realizar un correcto diseño y dosificación de mezclas de concreto es necesario conocer adecuadamente las características y parámetros de los agregados.

3.2.1 Parámetros de los agregados

Los husos granulométricos o granulometría del agregado grueso (AG) (ver Foto 3.12), procedente de la cantera Sojo (Piura) y agregado fino (AF) (ver Foto 3.13), procedente de la cantera Chulucanas (Piura) se muestran en los Gráficos 3.1 y 3.2 respectivamente. Ambas granulometrías fueron realizadas aplicando las normas NTP 400.037 y NTP 400.012.

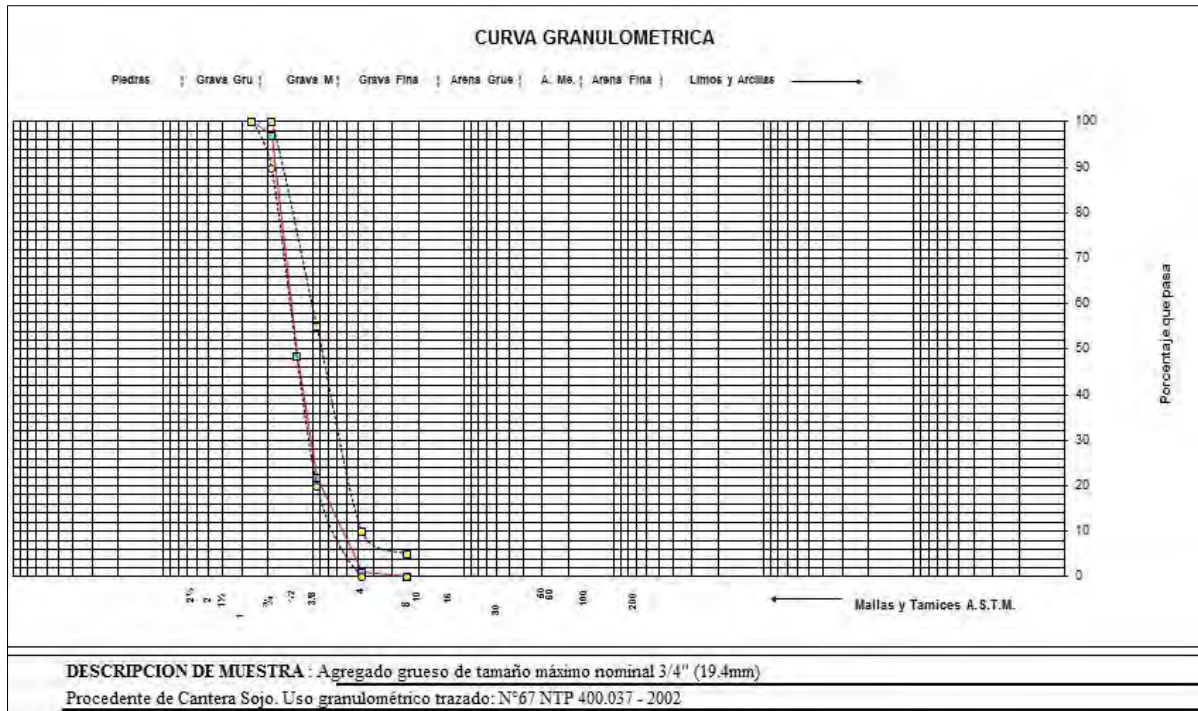


Gráfico 3.1. Huso granulométrico para agregado grueso procedente de cantera Sojo.



Foto 3.12. Agregado grueso de Sojo utilizado en la elaboración de concreto.

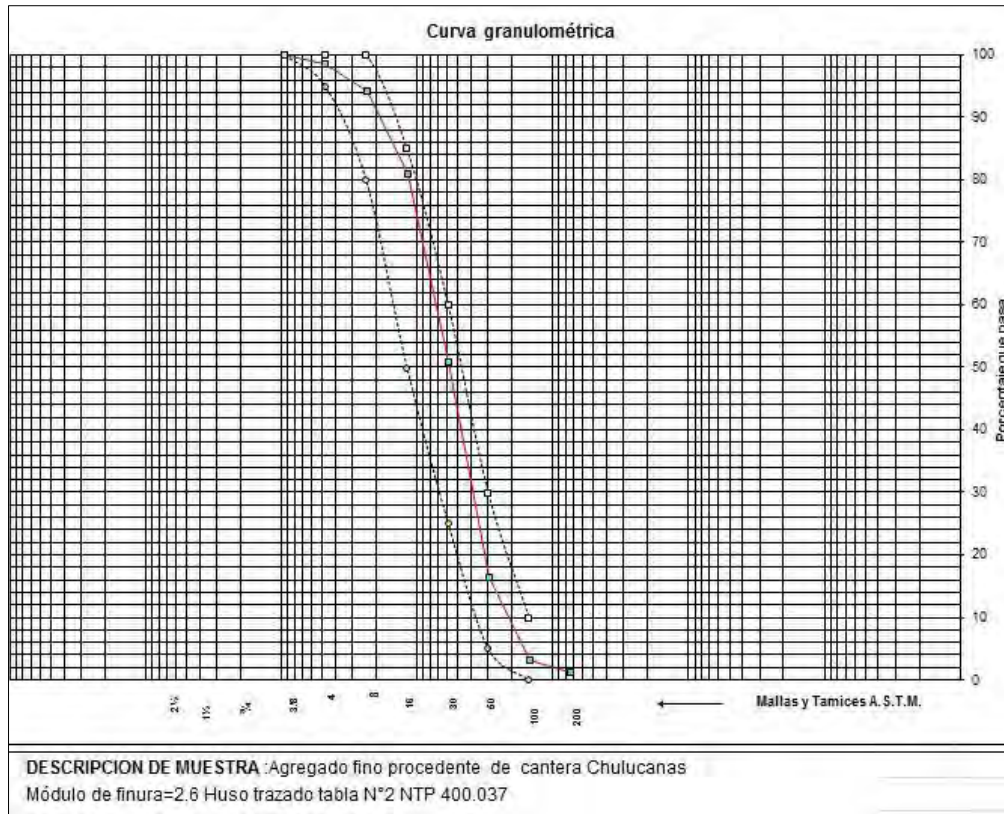


Gráfico 3.2. Huso granulométrico para fino procedente de cantera Chulucanas.



Foto 3.13. Agregado fino de Chulucanas utilizado en la elaboración de concreto.

El parámetro más significativo para el diseño de concreto a ser determinado en el AF, es el módulo de fineza y en el AG, es el tamaño máximo nominal (TMN). En la Tabla 3.2 se resumen el total de parámetros determinados para ambos tipos de agregados, AF, AG. Adicionalmente debido a que nuestros diseños de mezcla irán variando en función a la relación agua-cemento y esta variación es pequeña (0.02 entre una relación agua-cemento y otra) controlaremos diariamente la humedad en el agregado fino y grueso.

Parámetros físicos de los agregados				
	Unidad	Ag. Fino	Ag. Grueso	Norma NTP
Procedencia (Cantera)	-	Chulucanas	Sojo	-
Módulo de fineza	-	2.6	-	400.012
TMN	pulg	-	3/4"	400.012
Peso unitario suelto en Stock	Kg/m ³	1429	1546	400.017
Peso unitario varillado en Stock	Kg/m ³	1562	1630	400.017
Gravedad específica (SSS)	tn/m ³	2.56	2.74	400.021 / 400.022
Capacidad de Absorción	%	1.88	1.28	400.021 / 400.022
Humedad total	%	1.26	0.93	400.021 / 400.022

Tabla 3.2. Resumen de los parámetros físicos de los agregados.

3.2.2 Diseño de mezcla

El diseño de mezcla será siguiendo el método de diseño del *ACI* y los datos de entrada son los presentados en la Tabla 3.2. El control de la humedad se realizará diario, debido a que trabajaremos con relaciones agua-cemento muy cercana variando solamente 0.2 entre una relación agua-cemento y otra, con un rango que va desde 0.6 hasta 0.42. En total tendremos 10 relaciones agua-cemento, esta cantidad de diseños viene determinada por la norma NTP 339.213 para poder realizar el gráfico proyección y correlación de resistencias aceleradas vs resistencias a 28 días, esta gráfica la veremos más adelante en el acápite 4.4.

En las Tablas 3.3a y 3.3b, se presentan todos los diseños de mezclas utilizados en el presente estudio.

	Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento	
	0.6		0.58		0.56		0.54		0.52	
Agua	214	kg	219	kg	222	kg	213	kg	217	kg
Cemento	333	kg	353	kg	371	kg	370	kg	385	kg
Ag. Grueso	1043	kg	1031	kg	1024	kg	1043	kg	1043	kg
Ag. Fino	737	kg	720	kg	705	kg	708	kg	693	kg
P.U prueba	2327	kg/m ³	2323	kg/m ³	2321	kg/m ³	2335	kg/m ³	2338	kg/m ³
	Humedad		Humedad		Humedad		Humedad		Humedad	
	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG
	0.60	0.81	0.60	0.81	0.60	0.81	0.69	0.82	0.36	0.64

Tabla 3.3.a Diseños de mezcla en stock para las 10 relaciones agua-cemento a ser utilizadas.

	Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento		Relación Agua Cemento	
	0.5		0.48		0.46		0.44		0.42	
Agua	221	kg	220	kg	225	kg	225	kg	231	kg
Cemento	410	kg	427	kg	457	kg	477	kg	518	kg
Ag. Grueso	1043	kg	1043	kg	1043	kg	1043	kg	1021	kg
Ag. Fino	661	kg	647	kg	611	kg	594	kg	564	kg
P.U prueba	2335	kg/m3	2338	kg/m3	2336	kg/m3	2339	kg/m3	2334	kg/m3
	Humedad		Humedad		Humedad		Humedad		Humedad	
	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG	AF	AG
	0.38	0.73	0.38	0.73	0.38	0.73	0.38	0.73	0.38	0.73

Tabla 3.3.b Diseños de mezcla en stock para las 10 relaciones agua-cemento a ser utilizadas.

3.3. Elaboración, curado y rotura de especímenes de concreto

3.3.1 Elaboración de especímenes de concreto

Se pesan los materiales (cemento, agua, AF, AG) utilizando balanzas que se encuentren calibradas, adicionalmente se pesa en menor proporción (cemento, agua, AF) con la misma relación agua-cemento que va a ser utilizada, para la realización de la pasta y poder humedecer el trompo y evitar perder pasta cuando estemos elaborando la mezcla de concreto en la mezcladora (ver Foto 3.14), hecho esto procedemos a colocar los materiales en el siguiente orden (piedra, agua, arena, agua, cemento, agua) para conseguir una mezcla más uniforme y evitar la generación de polvo.



Foto 3.14. Mezcladora con los materiales listos para preparar concreto.

Debido al tamaño y capacidad de la mezcladora disponible en el laboratorio (30 litros) (ver Foto 3.15), se realizó 2 tandas de concreto con la mezcladora por cada relación agua-cemento, la primera tanda dio 3 probetas 6"x12" las cuales fueron destinadas a ser curadas en la poza de curado estándar.

La segunda tanda generó 3 probetas 6"x12" las cuales fueron sometidas al aceleramiento de resistencia utilizando nuestra máquina de curado acelerado. En cada una de las tandas se controló el slump utilizando el cono de Abrams y el rendimiento de la mezcla según la norma NTP 339.046.

Para la elaboración las probetas cada una se llenó en 3 capas uniformes en volumen y cada capa fue compactada usando una varilla, la cual será introducida 25 veces por capa. Terminado el proceso de llenado de las probetas, se les coloca un plástico protector en la superficie para evitar la evaporación y serán almacenadas en un ambiente libre de vibración, calor excesivo durante 24 +-8 horas antes de desmoldarlas, en el caso de las probetas que serán sometidas al curado estándar de 28 días y durante 23h +- 30min para el caso de la probetas que serán sometidas a un curado acelerado.



Foto 3.15. Seis (6) probetas de una misma relación agua-cemento, realizadas en dos tandas, las superiores serán sometidas a un curado acelerado mientras que las inferiores a un curado estándar.

3.3.2 Curado de especímenes de concreto

Las probetas que fueron sometidas a un curado estándar se colocaran en la poza de curado estándar (ver Foto 3.16), luego de ser desmoldadas pasadas las 24 horas, mientras que las que las probetas sometidas al curado acelerado (ver Foto 3.17), tendrán que pasar exactamente 23 horas para poder ser sometidas a un curado acelerado durante 3.5h +- 5min durante el tiempo de curado acelerado las probetas se encontraran en sus moldes.



Foto 3.16. Poza de curado estándar, las probetas pasan 28 días en esta poza.



Foto 3.17. Máquina de curado acelerado en pleno trabajo, se le ha retirado la tapa superior.

Se observó evaporación durante la realización de los ensayos de curado acelerado (ver Foto 3.18), provenientes del interior del tanque de curado, por esta razón se llevó un control del nivel del agua, y se obtuvo un promedio de evaporación de 0.137 L/min, por lo que se optó reemplazar el agua evaporada utilizando un hervidor (2.5 litros), para evitar bajar la temperatura el agua durante el ensayo. (Se recomienda cada 15 min reponer con 2.5 litros de agua hirviendo).

La norma 339.213 es bien clara al determinar que el nivel del agua mínimo (ver Foto 3.19), sobre una probeta que está siendo curada aceleradamente debe ser de 10cm. Recomienda además, que la distancia entre probetas que están siendo curadas debe ser como mínimo de 10cm y la distancia entre la pared interna del tanque de curado y la probeta debe ser como mínimo de 5cm. La distancia entre el fondo de la probeta y el fondo del tanque de curado acelerado deberá ser como mínimo de 7.5cm para permitir un flujo natural del agua.



Foto 3.18. Evaporación al interior del tanque de curado.



Foto 3.19. Niveles de máximo y mínimo de agua, al interior del tanque.

La norma 339.213, no especifica cada cuantos ensayos, ni como se debe cambiar el agua utilizada para el curado, pero en nuestro caso hemos cambiado el agua cada dos ensayos acelerados, haciendo uso de una grifería en la parte baja del tanque que se conecta con una manguera, para el drenaje (ver Foto 3.20).



Foto 3.20. Sistema de desfogue para el agua al interior del tanque.

3.3.3 Rotura de especímenes de concreto

La rotura de todas las probetas se realizó en la máquina de ensayo a compresión, todas las probetas fueron capeadas con un mortero de azufre (ver Foto 3.21). Las probetas que fueron sometidas a curado estándar fueron ensayadas a los 28 días, mientras que las probetas sometidas a curado acelerado debieron enfriarse por 1 hora antes de ser capeadas con azufre y poder ser ensayadas, el registro de esta temperatura de ensayo se mostrará más adelante.



Foto 3.21. Sistema utilizado para capear con azufre las probetas.

3.3.4 Consideraciones generales al realizar los ensayos de curado acelerado en el laboratorio de ensayo de materiales de construcción LEMC

Las consideraciones generales y secuencia de trabajo para la realización de las 10 relaciones agua-cemento es la siguiente:

- Se realizó una (1) relación agua-cemento por día.
- Los diseños de mezcla se realizaron empezando por la relación agua-cemento 0.6 y se disminuyó hasta llegar a 0.42.
- Un día de trabajo típico inició recepcionando 6 probetas con moldes colocados el día anterior, se desmoldaron en la mañana 3 de las probetas y se sumergió en la poza de curado estándar; se colocaron en curado acelerado las otras 3 probetas. Luego estas 3 probetas fueron ensayadas en la tarde. El mismo día se realizó 6 probetas con una nueva relación agua-cemento las cuales se desmoldaron y se ensayaron el día siguiente.

A continuación se presenta la Tabla 3.4 donde se observa un horario típico con la secuencia de todas las tareas a realizar en el laboratorio LEMC en un día, y la relación de trabajo entre un día y otro para realizar los ensayos.

Esquema de horario típico para aceleramiento de resistencia	
Día 1	
07:00 - 08:00	
08:00 - 09:00	
09:00 - 10:00	
10:00 - 11:00	Precalentamiento de máquina de curado
11:00 - 12:00	Fabricación y realización de probetas relación agua cemento 0.50
12:00 - 13:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.52
13:00 - 14:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.52
14:00 - 15:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.52
15:00 - 15:30	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.52
15:30 - 17:00	Enfriamiento, relación agua cemento 0.52
17:00 - 18:00	Capeo y ensayo a compresión, relación agua cemento 0.52
18:00 - 19:00	
Día 2	
07:00 - 08:00	
08:00 - 09:00	
09:00 - 10:00	Precalentamiento de máquina de curado
10:00 - 11:00	Fabricación y realización de probetas relación agua cemento 0.48
11:00 - 12:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.50
12:00 - 13:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.50
13:00 - 14:00	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.50
14:00 - 14:30	Aceleramiento de resistencia, relación agua cemento 0.50
14:30 - 15:30	Enfriamiento, relación agua cemento 0.50
15:30 - 17:00	Capeo y ensayo a compresión, relación agua cemento 0.50
17:00 - 18:00	
18:00 - 19:00	

Tabla 3.4. Secuencia de trabajo utilizada para la realización de las distintas relaciones agua-cemento comenzando por la relación a/c 0.6 y terminando por la relación a/c 0.42.

Según la secuencia de trabajo presentada en la Tabla 3.4 y al horario de trabajo del laboratorio, el cual es de lunes a viernes de 7:00am a 19:00. Se puede deducir lo siguiente:

- Los días lunes se fabricaron probetas de concreto, eventualmente se podrán ensayar las probetas sometidas a un curado estándar de 28 días, pero no se podrán ensayar muestras aceleradas.
- Los días viernes se ensayaron probetas a compresión sometidas a un curado estándar de 28 días y se realizó curado acelerado, pero no se fabricó probetas de concreto, debido a que no es posible realizar el curado acelerado el día sábado, los días sábado no trabaja el laboratorio.

Capítulo 4

Método de recolección y análisis de datos según la norma NTP 339.213

4.1. Método de recolección de datos

La recolección de datos se realiza de manera sistemática, utilizando los formatos (ver anexos) y siguiendo las recomendaciones de las normas. Esto se realiza para para tener un registro de los valores obtenidos como los de temperatura, resistencia a la compresión, slump y rendimiento de la mezcla.

4.1.1 Temperatura

La medición de temperatura en el tanque se realiza de manera continua utilizando el pirómetro, el cual es programado para mantener la temperatura ligeramente por encima de los 100°C; asegurando que el agua se encuentre constantemente hirviendo. Sin embargo se recomienda realizar una inspección visual con el fin de asegurar que el agua se encuentre hirviendo y las probetas se encuentren totalmente sumergidas en agua.

La norma 339.213 no especifica cada cuanto debe realizarse la inspección visual, pero se ha visto conveniente que se realice cada 30 min, con lo cual se generan un total de ocho (8) registros de temperatura para un solo ensayo de curado acelerado.

La temperatura también es medida en las probetas una (1) hora después de haber salido del tanque de curado acelerado (ver Foto 4.1), esta medida se realiza una (1) sola vez y es tomada utilizando un termómetro digital, colocándolo en la superficie del concreto.

Se recuerda que según la norma NTP 339.213, no se exige la medición de la temperatura de las probetas al momento del ensayo, sin embargo esto se ha realizado con el fin de tener más datos para alguna futura investigación.



Foto 4.1. Medición de temperatura previa al ensayo.

4.1.2 Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto fue medida a través de la medida del slump (ver Foto 4.2), para lo cual se utilizó el cono de Abrams. Esta medición se realizó para cada relación agua-cemento y para cada tanda preparada de concreto.

Es importante controlar la trabajabilidad del concreto, ya que nos puede ayudar a determinar algún cambio en las propiedades de los materiales y realizar las correcciones pertinentes.



Foto 4.2. Medición de Slump.

4.1.3 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la característica más importante a medir en el concreto. Se determina como la máxima carga axial soportada por un espécimen hasta que falla, dividida entre el área de la sección transversal de la probeta. En el presente trabajo, para la medición de la resistencia a compresión del concreto (ver Foto 4.3), se han elaborado probetas cilíndricas con medidas estándar de seis (6) pulgadas de radio y doce (12) pulgadas de longitud.

Según los requerimientos de la norma NTP 339.213, explicados en el acápite 3.2.2, se realizaron en total diez (10) relaciones agua-cemento. Para cada relación agua-cemento se obtuvieron seis (6) probetas de 6"x12" (tres probetas fueron curadas mediante un curado estándar hasta los 28 días y las tres restantes se les aplicó el curado acelerado). Debido al tamaño de la mezcladora que se utilizó (ver Foto 4.4), para preparar concreto en el laboratorio de la universidad (LEMC) (30 litros), solamente se pudo preparar tres (3) probetas por tanda por lo tanto se realizaron dos (2) tandas de concreto para cada relación agua-cemento, para poder cubrir así las seis (6) probetas necesarias.

Para el presente trabajo, el promedio de tres (3) probetas es el resultado de un ensayo de resistencia a la compresión. Por lo tanto por cada relación agua-cemento evaluada tenemos dos (2) valores de resistencia a comparar; el primero es el promedio de resistencia a la compresión de tres probetas obtenida después de aplicar el curado acelerado, y el segundo valor es el promedio de resistencia a la compresión de las tres probetas restantes obtenido después de aplicar el curado estándar hasta la edad de 28 días.

Esto nos da un total de 20 resultados de resistencia por analizar, los cuales son mostrados más adelante en el documento. Para la obtención de estos resultados se fabricó 60 probetas. Adicionalmente, para verificar la relación existente entre estos 20 resultados, se fabricó 12 probetas adicionales, dando un total de 72.



Foto 4.3. Medición de resistencia a la compresión



Foto 4.4. Mezcladora de 30 litros en el laboratorio previo a realizar una determinada relación agua-cemento.

4.2. Análisis de datos

Inicialmente se procedió a determinar la resistencia a la compresión f'_c de cada probeta individualmente, este análisis se realizó utilizando la carga total (kilogramos) soportada por la probeta hasta la falla, dividida entre el área de la sección circular transversal de la probeta (cm^2). El área de la sección transversal de la probeta es calculada con el diámetro promedio. Se obtuvo así el valor de resistencia a la compresión f'_c por cada probeta, ver Tabla 4.1.

En la Tabla 4.1 Se muestra en la última columna el valor de temperatura en la probeta sometida al aceleramiento, al momento del ensayo a compresión.

Numero de probeta	Relacion A/C	Tipo de curado	Diametro Promedio	Area Efectiva	Altura Promedio	f'c	Temperatura al Ensayo
			cm	cm2	cm	kg/cm2	°C
1	0.6	28 días	15.30	183.85	29.9	203.74	
2	0.6	28 días	15.30	183.85	30.5	207.86	
3	0.6	28 días	15.45	187.47	30	203.84	
4	0.6	Acelerado	15.30	183.85	30	78.20	41
5	0.6	Acelerado	15.43	186.86	30.1	72.89	41
6	0.6	Acelerado	15.40	186.26	30	76.18	41
7	0.58	28 días	15.48	188.08	30	194.13	
8	0.58	28 días	15.45	187.47	30	186.69	
9	0.58	28 días	15.38	185.66	30.5	189.53	
10	0.58	Acelerado	15.25	182.65	30.2	90.11	43
11	0.58	Acelerado	15.23	182.05	30.4	88.33	43
12	0.58	Acelerado	15.33	184.45	30.5	84.10	42
13	0.56	28 días	15.30	183.85	30	205.80	
14	0.56	28 días	15.28	183.25	30.3	212.67	
15	0.56	28 días	15.43	186.86	30.1	208.55	
16	0.56	Acelerado	15.38	185.66	30.5	82.54	40
17	0.56	Acelerado	15.30	183.85	30.6	82.32	40
18	0.56	Acelerado	15.38	185.66	30.4	82.54	40
19	0.54	28 días	15.23	182.05	30	199.52	
20	0.54	28 días	15.35	185.05	29.9	198.33	
21	0.54	28 días	15.30	183.85	30.5	197.57	
22	0.54	Acelerado	15.35	185.05	30.2	99.16	41
23	0.54	Acelerado	15.35	185.05	30	96.10	41
24	0.54	Acelerado	15.43	186.86	30.1	95.16	41
25	0.52	28 días	15.43	186.86	30	223.74	
26	0.52	28 días	15.35	185.05	30	217.75	
27	0.52	28 días	15.45	187.47	30.1	213.93	
28	0.52	Acelerado	15.48	188.08	30.5	92.54	40
29	0.52	Acelerado	15.35	185.05	30.2	98.14	41
30	0.52	Acelerado	15.38	185.66	30.5	94.77	40
31	0.5	28 días	15.35	185.05	30.1	244.33	
32	0.5	28 días	15.30	183.85	30.5	242.84	
33	0.5	28 días	15.33	184.45	30.1	242.05	
34	0.5	Acelerado	15.28	183.25	30.5	111.50	43
35	0.5	Acelerado	15.33	184.45	30.3	105.64	43
36	0.5	Acelerado	15.35	185.05	30.1	105.30	42
37	0.48	28 días	15.33	184.45	30.3	241.03	
38	0.48	28 días	15.28	183.25	30.4	239.51	
39	0.48	28 días	15.30	183.85	30.1	241.81	
40	0.48	Acelerado	15.33	184.45	30	103.59	41
41	0.48	Acelerado	15.30	183.85	30.1	105.99	41
42	0.48	Acelerado	15.35	185.05	30.5	105.30	42
43	0.46	28 días	15.43	186.86	30.5	249.05	
44	0.46	28 días	15.33	184.45	30.6	253.33	
45	0.46	28 días	15.30	183.85	30.1	254.16	
46	0.46	Acelerado	15.35	185.05	30.5	118.59	40
47	0.46	Acelerado	15.35	185.05	30.3	114.50	40
48	0.46	Acelerado	15.43	186.86	30.1	115.41	40
49	0.44	28 días	15.28	183.25	30	264.29	
50	0.44	28 días	15.25	182.65	30.5	263.08	
51	0.44	28 días	15.33	184.45	30.5	262.57	
52	0.44	Acelerado	15.40	186.26	30	133.05	41
53	0.44	Acelerado	15.33	184.45	30.4	130.26	41
54	0.44	Acelerado	15.43	186.86	30	134.65	41
55	0.42	28 días	15.25	182.65	30	271.37	
56	0.42	28 días	15.30	183.85	30.4	273.71	
57	0.42	28 días	15.33	184.45	30.6	271.80	
58	0.42	Acelerado	15.40	186.26	30.1	146.26	42
59	0.42	Acelerado	15.30	183.85	30.5	149.20	42
60	0.42	Acelerado	15.38	185.66	30.5	141.64	42
61	0.44	28 días	15.35	185.05	30.2	237.18	
62	0.44	28 días	15.35	185.05	30.3	238.20	
63	0.44	28 días	15.33	184.45	30.6	236.92	
64	0.44	Acelerado	15.18	180.86	30.1	131.80	41
65	0.44	Acelerado	15.33	184.45	31.1	130.26	40
66	0.44	Acelerado	15.35	185.05	30.2	130.86	41
67	0.5	28 días	15.25	182.65	30.1	247.55	
68	0.5	28 días	15.30	183.85	30.4	242.84	
69	0.5	28 días	15.33	184.45	30.1	242.05	
70	0.5	Acelerado	15.33	184.45	29.9	110.77	44
71	0.5	Acelerado	14.85	173.19	29.7	112.51	43
72	0.5	Acelerado	15.18	180.86	30.4	109.83	44

Tabla 4.1. Valores de resistencias obtenidos.

4.3 Aplicación de estadística según NTP 339.213 “Método de ensayo normalizado para elaboración, curado y ensayo en compresión de especímenes de concreto”.

Habiendo calculado los promedios de resistencia a la compresión para cada tipo de curado (estándar de 28 días, acelerado) obtenemos la siguiente Tabla 4.2. Estos valores están agrupados según la relación agua-cemento.

Número de relación a/c	Relación a/c	Promedio $f'c$ (kg/cm ²)	Promedio $f'c$ (kg/cm ²)
		Acelerado	Estandar
1	0.60	75.76	205.15
2	0.58	87.51	190.12
3	0.56	82.47	209.01
4	0.54	96.81	198.47
5	0.52	95.15	220.13
6	0.50	107.48	243.08
7	0.48	104.96	240.78
8	0.46	116.17	252.18
9	0.44	132.65	263.31
10	0.42	145.70	272.29
11	0.44	130.97	237.43
12	0.50	111.04	244.15

Tabla 4.2. Tabla resumen de todas las resistencia mediante curado acelerado y estándar (28 días). Los valores de resistencia 11 y 12 son los valores que utilizaremos para poder verificar la experiencia.

Con los valores mostrados de resistencia a la compresión axial promedio obtenidos del 1 al 10, realizaremos una regresión de mínimos cuadrados, en donde los valores promedio de resistencia a la compresión del curado estándar a 28 días, se ubicarán en el eje de las ordenadas (Y) y los valores de resistencia promedio del curado acelerado mediante agua hirviendo, serán ubicados en el eje de las abscisas (X); la norma indica que para aplicar la ecuación 4.1 se realice con “n” pares ordenados, y como mínimo “n” debe ser 10, lo cual se cumple al tener los 10 valores para analizar.

Primero asumiremos, (el valor r^2 nos confirmará) que la relación entre la resistencia con curado estándar (Y), y la resistencia acelerada (X) puede ser representadas por una línea recta con la siguiente ecuación:

$$Y = a + bX$$

Ecuación 4.1. Relación lineal entre resistencias a la compresión estándar y acelerada.

Para los casos que no cumplan con la ecuación anterior, valores de r^2 muy bajos (menores a 0.5), la norma NTP 339.213 estipula que relación se realice utilizando el logaritmo natural de Y e X.

Las ecuaciones que se presentan a continuación (ecuación. 4.2 a la 4.7) son accesorias, y los resultados obtenidos son utilizados en la ecuaciones 4.8 y 4.9. El resumen de los resultados de las ecuaciones 4.2 a la 4.7 se resumen en la Tabla 4.3.

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

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

Ecuación 4.2. Constantes de la relación lineal, **b** es la pendiente de la recta 4.1 y **a** es el valor donde cruza la recta de 4.1 en el eje Y.

$$S_{xy} = \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

Ecuación 4.3. Es la sumatoria de la diferencia multiplicada entre ordenadas y abscisas con respecto a su promedio.

$$S_{xx} = \sum (X_i - \bar{X})^2$$

Ecuación 4.4. Es la sumatoria al cuadrado de la diferencia de cada valor de resistencia acelerada con respecto al promedio de todos los valores de resistencia acelerada.

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

Ecuación 4.5. Es la sumatoria al cuadrado de la diferencia de cada valor de resistencia estándar a 28 días con respecto al promedio de todos los valores de resistencia estándar a 28 días.

$$\bar{X} = \sum \frac{X_i}{n}$$

Ecuación 4.6. Es el promedio solo de las resistencias aceleradas para “n” pares ordenados.

$$\bar{Y} = \sum \frac{Y_i}{n}$$

Ecuación 4.7. Es el promedio solo de las resistencias estándar a 28 días para “n” pares ordenados.

Una vez resueltas las ecuaciones descritas anteriormente, se presenta la siguiente Tabla 4.3.

	Und	
n	-	10
Xprom	kg/cm2	104.47
Yprom	kg/cm2	229.29
Sxx	(kg/cm2)^2	4382.04
Sxy	(kg/cm2)^2	5187.38
Syy	(kg/cm2)^2	7448.54
b	-	1.18
a	kg/cm2	105.62

Tabla 4.3. Tabla resumen de los valores de las ecuaciones de la 4.2 a la ecuación 4.7.

Se presentan las dos ecuaciones principales (ecuaciones 4.8 y 4.9) estas son la ecuación de la desviación residual estándar de la mejor línea y la ecuación de la variable W_i que describe el ancho de la bandas de confiabilidad.

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} \right)}$$

Ecuación 4.8. Es la desviación residual estándar, de la mejor línea que describe la relación línea en la ecuación 4.1.

$$W_i = s_e \sqrt{2 F} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{S_{xx}}}$$

Ecuación 4.9. Valor de constante para la determinación de la banda de confianza, para cada X_i existe un determinado valor de W_i , esta ecuación tiene 2 y n-2 grados de libertad, (numerador y denominador respectivamente), $n = 10$ en nuestro caso (número de pares ordenados).

Con los valores obtenidos y resumidos en la Tabla 4.3 se procede a obtener los valores S_e , se presenta el resultado en la Tabla 4.4.

Para resolver la ecuación 4.9 (W_i) debemos determinar el valor de F , el valor de F se determina con la tabla de Fisher; donde V_1 es igual a 2 y el valor de V_2 es " n "-2 donde " n " es la cantidad de pares ordenados que contamos de resistencias, en nuestro caso contamos 10 pares ordenados tendremos un valor de V_2 igual a 8, determinado el valor de V_1 y V_2 entramos en la Tabla 4.5 a determinar el valor de F .

Se determinó el valor de F con una confiabilidad del 90%, sin embargo, la norma indica que es posible cambiar la confiabilidad por valores del 95%, 97.5% ó 99% las tablas F se encuentran en los Anexos.

	Und	
S_e	kg/cm ²	12.79
F	-	3.113

Tabla 4.4 Valores de las ecuaciones 4.8 y el factor F para resolver la ecuación 4.9.

		$1 - \alpha = 0.9$																			
		$v_1 = \text{grados de libertad del numerador}$										$v_2 = \text{grados de libertad del denominador}$									
$1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$v_2 \backslash v_1$		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	39.864	49.500	53.593	56.833	59.240	60.857	61.866	62.473	62.705	62.802	62.850	62.866	62.875	62.879	62.881	62.882	62.883	62.883	62.883	62.883	62.883
2	8.526	9.000	9.162	9.243	9.293	9.326	9.349	9.367	9.379	9.381	9.382	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383	9.383
3	5.538	5.462	5.391	5.343	5.309	5.285	5.266	5.252	5.240	5.230	5.222	5.216	5.210	5.205	5.200	5.196	5.193	5.190	5.187	5.184	5.184
4	4.545	4.325	4.191	4.107	4.051	4.010	3.979	3.955	3.938	3.926	3.917	3.910	3.904	3.898	3.892	3.887	3.884	3.883	3.883	3.884	3.844
5	4.060	3.780	3.619	3.520	3.453	3.405	3.368	3.339	3.316	3.297	3.282	3.268	3.257	3.247	3.238	3.230	3.223	3.217	3.212	3.207	3.207
6	3.776	3.483	3.289	3.181	3.108	3.055	3.014	2.983	2.958	2.937	2.920	2.905	2.892	2.881	2.871	2.863	2.855	2.848	2.842	2.836	2.836
7	3.599	3.257	3.074	2.961	2.883	2.827	2.785	2.752	2.725	2.703	2.684	2.668	2.654	2.643	2.632	2.623	2.615	2.607	2.601	2.595	2.595
8	3.458	3.113	2.924	2.806	2.726	2.668	2.624	2.589	2.561	2.538	2.519	2.502	2.488	2.475	2.464	2.454	2.446	2.438	2.431	2.425	2.425
9	3.360	3.006	2.813	2.693	2.611	2.551	2.505	2.469	2.440	2.416	2.396	2.378	2.364	2.351	2.340	2.330	2.322	2.315	2.308	2.302	2.302
10	3.285	2.924	2.728	2.605	2.522	2.461	2.414	2.377	2.347	2.323	2.302	2.284	2.269	2.255	2.244	2.233	2.224	2.215	2.208	2.201	2.201
11	3.225	2.860	2.660	2.536	2.451	2.388	2.342	2.304	2.274	2.248	2.227	2.209	2.193	2.179	2.167	2.156	2.147	2.138	2.130	2.123	2.123
12	3.177	2.807	2.605	2.480	2.394	2.331	2.283	2.245	2.214	2.188	2.166	2.147	2.131	2.117	2.105	2.094	2.084	2.075	2.067	2.060	2.060
13	3.136	2.763	2.560	2.434	2.347	2.283	2.234	2.195	2.164	2.138	2.116	2.097	2.080	2.066	2.053	2.042	2.032	2.023	2.014	2.007	2.007
14	3.102	2.726	2.522	2.395	2.307	2.243	2.193	2.154	2.122	2.095	2.073	2.054	2.037	2.022	2.010	1.998	1.988	1.978	1.970	1.962	1.962
15	3.073	2.695	2.490	2.361	2.273	2.208	2.158	2.119	2.086	2.059	2.037	2.017	2.000	1.985	1.972	1.961	1.950	1.941	1.932	1.924	1.924
16	3.048	2.668	2.462	2.333	2.244	2.178	2.128	2.089	2.055	2.028	2.005	1.985	1.968	1.953	1.940	1.928	1.917	1.908	1.899	1.891	1.891
17	3.026	2.645	2.437	2.308	2.218	2.152	2.102	2.061	2.028	2.001	1.978	1.958	1.940	1.925	1.912	1.900	1.889	1.879	1.870	1.862	1.862
18	3.007	2.624	2.416	2.286	2.196	2.130	2.079	2.038	2.005	1.977	1.954	1.933	1.916	1.900	1.887	1.875	1.864	1.854	1.845	1.837	1.837
19	2.990	2.606	2.397	2.266	2.176	2.110	2.058	2.017	1.984	1.955	1.932	1.912	1.894	1.878	1.865	1.852	1.841	1.831	1.822	1.814	1.814
20	2.975	2.590	2.380	2.249	2.158	2.091	2.040	1.999	1.965	1.937	1.913	1.892	1.875	1.859	1.845	1.833	1.821	1.811	1.802	1.794	1.794
21	2.961	2.575	2.365	2.233	2.142	2.075	2.023	1.982	1.948	1.920	1.896	1.875	1.857	1.841	1.827	1.815	1.803	1.793	1.784	1.776	1.776
22	2.948	2.561	2.351	2.219	2.128	2.060	2.008	1.967	1.933	1.904	1.880	1.859	1.841	1.825	1.811	1.798	1.787	1.777	1.768	1.759	1.759
23	2.937	2.549	2.339	2.207	2.115	2.047	1.995	1.953	1.919	1.890	1.866	1.845	1.827	1.811	1.797	1.784	1.772	1.762	1.753	1.744	1.744
24	2.927	2.538	2.327	2.195	2.103	2.035	1.983	1.941	1.906	1.877	1.853	1.832	1.814	1.797	1.783	1.770	1.758	1.748	1.739	1.730	1.730
25	2.918	2.528	2.317	2.184	2.092	2.024	1.971	1.929	1.895	1.866	1.841	1.820	1.802	1.785	1.771	1.758	1.746	1.736	1.726	1.718	1.718
26	2.909	2.518	2.307	2.174	2.082	2.014	1.961	1.919	1.884	1.855	1.830	1.809	1.790	1.774	1.760	1.747	1.736	1.726	1.716	1.708	1.708
27	2.901	2.511	2.299	2.165	2.073	2.005	1.952	1.909	1.874	1.845	1.820	1.799	1.780	1.764	1.749	1.736	1.724	1.714	1.704	1.695	1.695
28	2.894	2.503	2.291	2.157	2.064	1.996	1.943	1.900	1.865	1.836	1.811	1.790	1.771	1.754	1.740	1.726	1.715	1.704	1.694	1.685	1.685
29	2.887	2.495	2.283	2.149	2.057	1.988	1.935	1.892	1.857	1.827	1.802	1.781	1.762	1.745	1.731	1.717	1.705	1.695	1.685	1.676	1.676
30	2.881	2.489	2.276	2.142	2.049	1.980	1.927	1.884	1.849	1.819	1.794	1.773	1.754	1.737	1.722	1.709	1.697	1.686	1.676	1.667	1.667
40	2.835	2.440	2.226	2.091	1.997	1.927	1.873	1.829	1.793	1.763	1.737	1.715	1.695	1.678	1.662	1.649	1.636	1.625	1.615	1.605	1.605
50	2.809	2.412	2.197	2.061	1.966	1.895	1.840	1.796	1.760	1.729	1.703	1.680	1.660	1.643	1.627	1.613	1.600	1.588	1.578	1.568	1.568
60	2.791	2.393	2.177	2.041	1.946	1.875	1.819	1.775	1.738	1.707	1.680	1.657	1.637	1.619	1.603	1.589	1.576	1.564	1.553	1.543	1.543
70	2.779	2.380	2.164	2.027	1.931	1.860	1.804	1.760	1.723	1.691	1.665	1.641	1.621	1.603	1.587	1.572	1.559	1.547	1.536	1.526	1.526
80	2.769	2.370	2.154	2.016	1.921	1.850	1.793	1.748	1.711	1.679	1.653	1.629	1.609	1.591	1.574	1.559	1.546	1.534	1.523	1.513	1.513
90	2.762	2.363	2.146	2.008	1.912	1.841	1.785	1.739	1.702	1.670	1.643	1.620	1.599	1.581	1.564	1.550	1.536	1.524	1.513	1.503	1.503
100	2.756	2.356	2.139	2.001	1.905	1.834	1.778	1.732	1.695	1.663	1.636	1.612	1.592	1.573	1.557	1.542	1.528	1.516	1.505	1.494	1.494
200	2.731	2.329	2.111	1.973	1.876	1.804	1.747	1.701	1.663	1.631	1.603	1.579	1.558	1.539	1.522	1.507	1.493	1.480	1.468	1.458	1.458
500	2.716	2.313	2.095	1.956	1.859	1.786	1.729	1.683	1.644	1.612	1.583	1.559	1.537	1.518	1.501	1.485	1.471	1.458	1.446	1.435	1.435
1000	2.711	2.308	2.089	1.950	1.853	1.780	1.723	1.676	1.638	1.605	1.577	1.552	1.531	1.511	1.494	1.478	1.464	1.451	1.439	1.428	1.428

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla 4.5. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 90% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

A continuación se procede a calcular los valores de W_i (ecuación 4.9) para cada valor de X_i , y se obtiene la siguiente tabla 4.6.

Relación Agua Cemento	Resistencia Acelerada X_i	Resistencia 28 días Y_i	Resistencia Estimadas Y	W_i	Banda de confiabilidad		Ancho de banda confiabilidad
					Limite inferior $Y-W_i$	Limite Superior $Y+W_i$	
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²
0.6	75.76	205.15	195.30	17.12	178.18	212.43	34.25
0.58	87.51	190.12	209.22	12.98	196.24	222.20	25.96
0.56	82.47	209.01	203.24	14.64	188.61	217.88	29.27
0.54	96.81	198.47	220.22	10.74	209.48	230.96	21.48
0.52	95.15	218.47	218.26	11.04	207.22	229.30	22.09
0.5	107.48	243.08	232.85	10.19	222.66	243.05	20.39
0.48	104.96	240.78	229.87	10.09	219.78	239.96	20.18
0.46	116.17	252.18	243.14	11.56	231.58	254.70	23.12
0.44	132.65	263.31	262.65	16.92	245.73	279.58	33.84
0.42	145.70	272.29	278.10	22.29	255.81	300.39	44.57
0.5	111.04	244.15					
0.44	130.97	237.43					

Tabla 4.6. Tabla resumen con todos los datos necesarios para ser graficados y obtener la gráfica de predicción de resistencias con confiabilidad al 90%.

En la Tabla 4.6 se muestran los valores W_i , con estos valores se obtienen el límite inferior y superior de la banda de confiabilidad del 90%, este cálculo se realiza sumando y restando el valor de W_i a los valores de resistencias estimadas Y (proyectadas utilizando la regresión de mínimos cuadrados, ecuación 4.1) esta banda se podrá apreciar mejor en el acápite 4.4; esta banda debe entenderse como dos líneas en envuelven la línea de mínimos cuadrados en función a las proyecciones que esta da.

El ancho de la banda (última columna en la Tabla 4.6), se ensancha conforme nos alejamos del X (valor promedio) debido el segundo término de la ecuación 4.9 se anula.

Las últimas dos filas de la Tabla 4.2 serán comentadas y analizadas más adelante, estas dos últimas filas son dos relaciones agua-cemento adicionales realizadas para corroborar y dar aplicación del Gráfico 4.1.

4.4. Resultados y presentación en cuadros y gráficas

A continuación se muestra el resultado de graficar los datos de la Tabla 4.6, obteniendo el Gráfico 4.1.

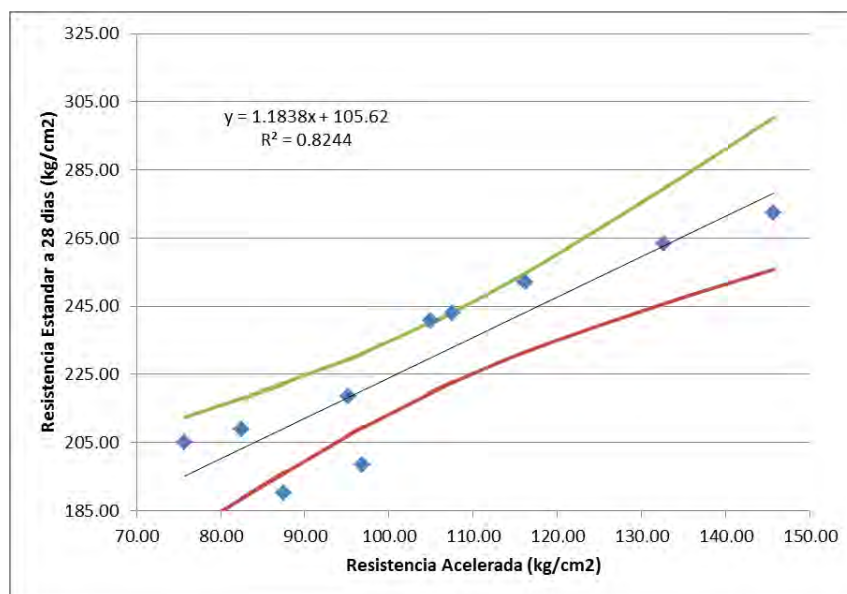


Gráfico 4.1. Gráfico de predicción de resistencias, vale recordar, que el presente gráfico es solo valido para la cemento tipo I, piedra de Sojo y arena de Chulucanas, los valores de la gráfica son kg/cm^2 .

La línea negra es la relación de mínimos cuadrados, ecuación 4.1, y los puntos azules, son los valores de la segunda y tercera columna de la Tabla 4.6 X_i , Y_i . La línea verde es el límite superior de la banda de confiabilidad de 90% se obtiene sumando a los valores proyectados Y (cuarta columna de la Tabla 4.6) los valores W_i (quinta columna de la Tabla 4.6). La línea roja es el límite inferior de la banda de confiabilidad del 90% se obtiene restando los valores proyectados Y (cuarta columna de la Tabla 4.6) de los valores W_i (quinta columna de la Tabla 4.6).

El ancho de la banda de confiabilidad es la diferencia entre los valores de la línea verde y la línea roja (octava columna de la Tabla 4.6); como ya se comentó anteriormente disminuye conforme se acerca al valor promedio de X .

El área comprendida, entre las líneas verde y roja (ver Gráfico 4.1); es el área que garantiza un 90% de certeza en los resultados obtenidos, al entrar con un valor de X , resistencia acelerada. Adicionalmente se observa que el concreto ha reaccionado más al proceso de curado acelerado, en función de la cantidad de cemento presente en la pasta como se muestra en la Tabla 4.7. Llegando a tener un mínimo de aumento de resistencia a la compresión de 36.93% y un máximo de 55.16%. (Soroka 1978), comenta sobre este tipo de relación utilizando vapor en lugar de agua hirviendo.

Número de relación a/c	Relación a/c	Promedio $f'c$ (kg/cm ²)	Promedio $f'c$ (kg/cm ²)	Porcentaje de aceleramiento
		Acelerado	Estandar	%
1	0.60	75.76	205.15	36.93%
2	0.58	87.51	190.12	46.03%
3	0.56	82.47	209.01	39.46%
4	0.54	96.81	198.47	48.78%
5	0.52	95.15	220.13	43.22%
6	0.50	107.48	243.08	44.22%
7	0.48	104.96	240.78	43.59%
8	0.46	116.17	252.18	46.06%
9	0.44	132.65	263.31	50.38%
10	0.42	145.70	272.29	53.51%
11	0.44	130.97	237.43	55.16%
12	0.50	111.04	244.15	45.48%

Tabla 4.7 Porcentaje de aceleramiento para cada tipo de relación agua cemento.

Se presenta a continuación el Gráfico 4.2 donde se puede observar de manera conjunta los valores de resistencia a la compresión acelerada y a 28 días versus el número de relación agua-cemento.

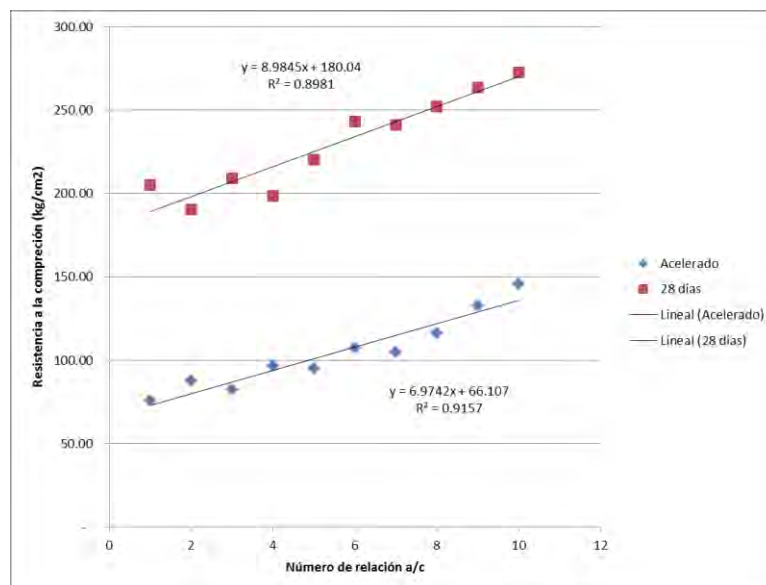


Gráfico 4.2 Resistencia a la compresión comparada para de ambos medios de curado.

4.5 Aplicación y corroboración de la gráfica de predicción

A continuación se realizará una aplicación para poder corroborar la efectividad del Gráfico 4.1 de predicción. Para poder realizar esta comprobación tomamos las dos últimas filas de la Tabla 4.5 y las ploteamos en el Gráfico de predicción 4.1 obteniendo el Gráfico 4.3.

El R^2 obtenido es 82.4% lo cual demuestra que la relación entre el curado acelerado y estándar se puede aproximar linealmente.

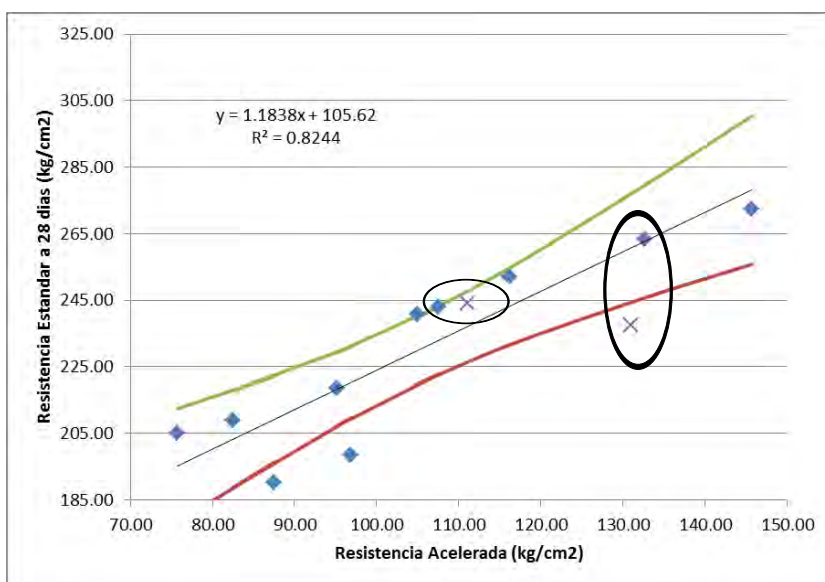


Gráfico 4.3. Gráfico de corroboración, los 2 valores de están representados en aspa, y se encerró en círculos sus pares correspondientes.

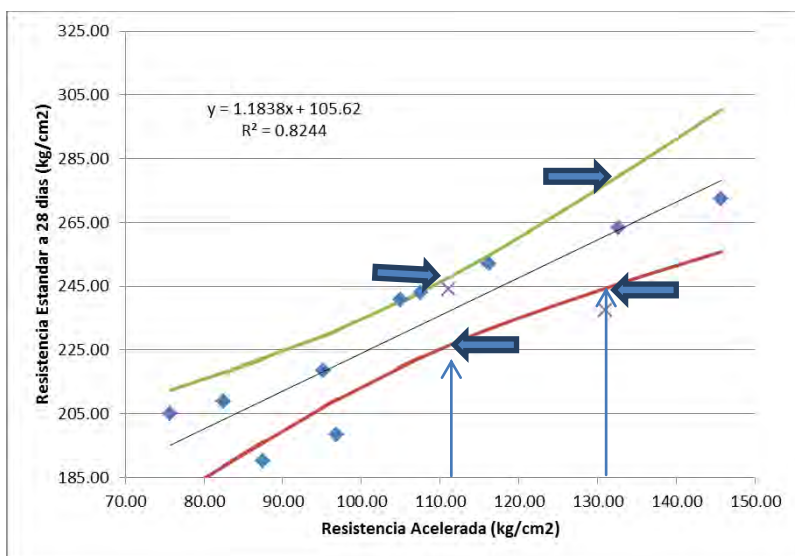


Gráfico 4.4. Límite superior e inferior al entrar al gráfico con determinado valor de resistencia acelerada.

El resultado obtenido al entrar con un valor determinado de resistencia acelerada X_i en el Gráfico 4.4, es un rango de valores, (columna 4 y 5 Tabla 4.8) que juntos representan una certeza de que los valores de resistencia proyectados a 28 días (columna 6 Tabla 4.8) se encuentren entre estos rangos.

			Curado proyectado a 28 días			
Número Relación a/c	Relación a/c	Resistencia Acelerada X_i	Resistencia minima proyectada $Y-W_i$	Resistencia maxima proyectada $Y+W_i$	Resistencia para corroboración 28 días Y_i	Esta dentro del Rango
		Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
11	0.5	111.04	226.49	247.64	244.15	SI
12	0.44	130.97	244.39	276.94	237.43	NO

Tabla 4.8 Valores máximos y mínimos esperados para la resistencia a 28 días.

Para analizar porque un valor no cae dentro del rango, presentado en la Tabla 4.8 se presenta la Tabla 4.9 donde se observa que la resistencia a 28 días del número de relación a/c 12 es 237.43 kg/cm² en comparación con la resistencia a 28 días del número de relación a/c 9 que es 263.31 kg/cm², es decir 25.88 kg/cm² de diferencia. En cambio en la diferencia de relación a compresión a 28 días entre el número de relación a/c 11 y el número de relación a/c 6 es de 1.07 kg/cm² el cual es un valor menor.

El hecho que el número de relación a/c 12 no esté dentro de los rangos programados y no tenga un valor de diferencia razonable (25.88kg/cm² valor alto) con su par (número de relación a/c 9), da a pensar este número de relación a/c 12 realizada a los 28 días tuvo problemas en la fabricación, por lo que da valores de resistencia bajos.

		Relación a/c 6, 9	Relación a/c 11, 12			Relación a/c 6, 9	Relación a/c 11, 12
Relación Agua Cemento	Resistencia Acelerada X_i	Resistencia Acelerada X_i	Diferencia Resistencia Acelerada	Resistencia 28 días Y_i	Resistencia 28 días Y_i	Diferencia Resistencia 28 días	
	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	
0.44	132.65	130.97	1.68	263.31	237.43	25.88	
0.5	107.48	111.04	3.56	243.08	244.15	1.07	

Tabla 4.9 Diferencia en resistencia obtenidas entre las relaciones a/c de corroboración y las utilizadas para realizar el grafico de predicciones.

Por lo explicado en líneas arriba se prescindirá del número 12 de relación a/c para fines de corroboración y tomaremos como valido solo el número 11 de relación a/c.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Las conclusiones que se obtuvieron en el presente trabajo son las siguientes:

- La aplicación de la norma NTP 339.213 demuestra que es muy útil y de fácil práctica, ahorrando tiempo y costo para los contratistas, al poder obtener valores de resistencia casi instantáneamente.
- Se observó que el concreto reaccionó más al aceleramiento, en función de la cantidad de cemento presente en la pasta cemento, se mostró en la Tabla 4.7.
- Al momento de realizar los ensayos de rotura, las probetas que fueron sometidas al curado acelerado presentaron un color gris claro en comparación a las probetas hermanas que presentaron un gris oscuro, este cambio de color, se debe principalmente al aceleramiento de las reacciones químicas del cemento.
- El costo total para la elaboración de la máquina de curado acelerado asciende a \$.703.90 dólares, sin embargo en países como Italia (\$.1300 dólares) y China (\$800 dólares), el precio de venta es mucho más elevado y no incluye el envío. Esto es un punto a favor para poder utilizar insumos y materiales locales para elaborar en Perú una máquina de curado acelerado. Además, la máquina fabricada tiene la misma capacidad para poder curar 3 probetas al mismo tiempo como lo hacen los modelos de máquinas de curado extranjeros.

5.2 Recomendaciones

Aprovechando que la máquina de curado acelerado formará parte del laboratorio LEMC, es recomendable que para futuros ensayos de curado acelerado se:

- Durante la corroboración del gráfico de predicción (Gráfico 4.3) se observó que un punto cayó fuera de la banda de confiabilidad, analizando los datos (ver Tabla 4.9) se identificó que el número de relación a/c 12 curado hasta los 28 días tuvo problemas de fabricación. Es por esta razón que es recomendable para futuros ensayos utilizar un mezclador más grande, con el cual se puedan obtener de una sola tanda 6 probetas.
- Utilice la máquina de curado para realizar el curado tipo A “calor de hidratación” de la norma NTP 339.213 con el agua a 35°C, y poder contar con nuevas gráficas de predicción de resistencias.
- Se siga investigando y realizando gráficos de proyección de resistencias con distintas combinaciones de canteras regionales, y así poder contar a futuro con tablas que se amolden a todas la canteras regionales.
- Se estudie, el efecto en dejar las probetas de concreto 10, 20 o 30 min más de ensayo (actualmente está normado con 3.5h +- 5 min).

Aportes bibliográficos

Libros

- Young, J. F., Mindess, S., & Darwin, D. (2002). *Concrete*. Prentice Hall.USA
- British cement association -BCA - *Concrete Practice*. England
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., &Tanesi, J. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association. – Capitulo 2 y 12. Illinois USA

Papers

- The Aberdeen Group. (1981). Publication # C810665, *Accelerated Strength Testing*. Boston
- Meyer, D. (1997). *A statistical comparison of accelerated concrete testing methods*. Advances in Decision Sciences, 1(2), 89-100. New Zealand.
- Ahmed, H. E. H. (2005). *Early Prediction of Concrete Compressive Strength through Accelerated Curing Regime*. In Eleventh International Colloquium on structural and Geotechnical Engineering. Cairo Egypt.
- Lamond, J. F. (1983). *Quality assurance using accelerated strength testing*. Concrete International: Design and construction, 5(3), 47-51. Washington D.C.
- M. Gonzales de la Cotera. (1980). Asociación de Productores de Cemento – Características Físicas y Mecánicas del Cemento. Lima.
- Majid Izzeddin Abdullah. (2001). *How can you estimate 28 day compressive strength for concrete in 28 hours*. Izmir, Turkey
- Soroka, I., Jaegermann, C. H., &Bentur, A. (1978). Short-term steam-curing and concrete later-age strength. *Matériauxet Construction*, 11(2), 93-96. Haifa Israel.
- Malhotra, V. M. (1981). Accelerated strength testing: Is it a solution to a contractor's dilemma. *Concrete International: Design and construction*, 3(11), 17-21. Ottawa Canada.

Normas

- ACI 211.1-91(Reapproved 2002) Concrete mix design.
- ACI 308R-01 Guide to Curing Concrete.
- ASTM C684-99 Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens.
- NTP 339.183-2003 CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- NTP 339.035.1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland.
- NTP 339.036.1999 CONCRETO. Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- NTP 339.046.1979 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto).
- NTP 339.047.1979 HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados.

- NTP 400.021.2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022.2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino.
- NTP 339.034.1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.
- NTP 339.213.2007 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto.
- ASTM C 684.99.R03 Standard test formakingacceleratedcuring and testing concrete.
- NTP 339.037.1977 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para el refrentado de testigos cilíndricos de hormigón (concreto).
- NTP 339.185.2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Anexos

Anexo A

Esquema eléctrico de la máquina de curado acelerado.

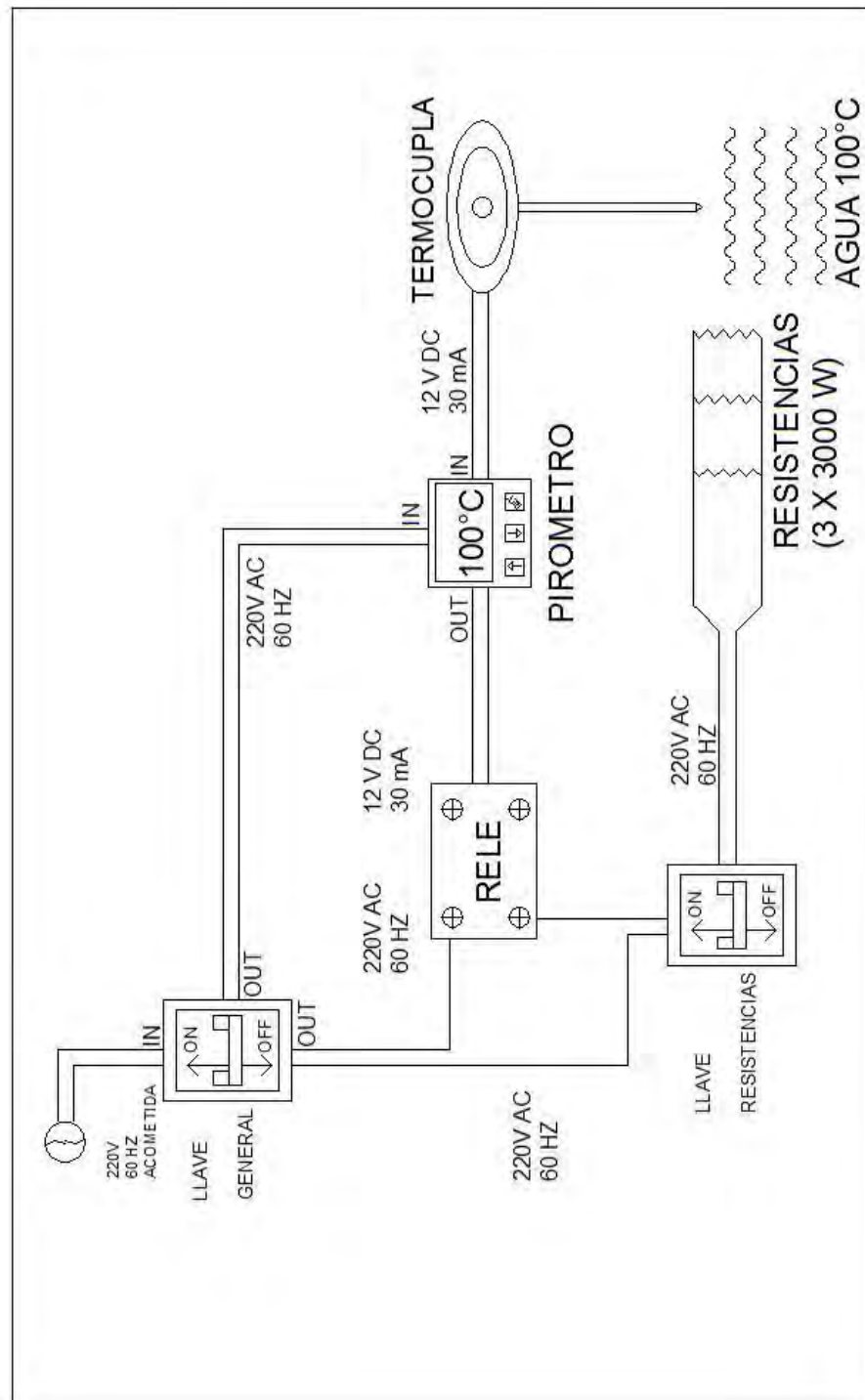


Diagrama donde se muestra el esquema eléctrico de la máquina de curado acelerado.

Anexo B

Formatos para la utilización de la máquina de curado acelerado.

Formato de operación y check list de la maquina de curado acelerado Norma NTP 339.213		
Responsable:	_____	
Día:	_____	
Check list	Observaciones	
Pirómetro	☐	_____
Relé Solido	☐	_____
Termocupla	☐	_____
Resistencias	☐	_____
Parrilla soporte	☐	_____
Tapa	☐	_____
Tanque	☐	_____
Cableado Electr.	☐	_____
Nivel, color Agua	☐	_____
Sistema de drenaje	☐	_____
Operación		
Metodo de aceleramiento:	A B	
Hora inicio ensayo: _____		
Hora termino ensayo: _____	Numero de probetas: 1 2 3	
Temperatura de operación: _____	°C	
Registro de temperaturas al interior del tanque de curado a lo largo del ensayo:		

Probetas		
Hora inicio de enfriamiento: _____		
Hora final enfriamiento: _____		
Hora de inicio de capeo: _____		
Diámetro promedio: (cm)		
Altura promedio: (cm)		
Peso: (kg)		
Resist. compresión: (kg/cm2)		
Slump (pulg)		
Temperatura al ensayo °C		
Observaciones adicionales		

Formato para ser utilizado antes y durante la operación de la máquina de curado.

Anexo C

**Tablas con los valores F de distribución F de Fisher para confiabilidades de 90%,
95%, 97.5% y 99%.**

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$$1 - \alpha = 0.9$$

$$1 - \alpha = P (F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$$

$\frac{v_1}{v_2}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	61.815	61.883	61.945	62.002	62.055	62.103	62.148	62.189	62.228	62.265	62.528	62.888	62.784	62.871	62.927	62.972	63.007	63.167	63.264	63.298
2	9.444	9.446	9.448	9.450	9.451	9.453	9.454	9.456	9.457	9.458	9.466	9.471	9.475	9.477	9.479	9.480	9.481	9.486	9.489	9.490
3	5.182	5.180	5.178	5.176	5.175	5.173	5.172	5.170	5.169	5.168	5.160	5.155	5.151	5.149	5.147	5.145	5.144	5.139	5.136	5.135
4	3.841	3.837	3.834	3.831	3.828	3.826	3.823	3.821	3.819	3.817	3.804	3.795	3.790	3.788	3.782	3.780	3.778	3.769	3.764	3.762
5	3.202	3.198	3.194	3.191	3.187	3.184	3.181	3.179	3.176	3.174	3.167	3.167	3.147	3.140	3.132	3.129	3.128	3.116	3.109	3.107
6	2.831	2.827	2.822	2.818	2.815	2.811	2.808	2.805	2.803	2.800	2.781	2.770	2.762	2.756	2.752	2.749	2.746	2.734	2.727	2.725
7	2.589	2.584	2.580	2.575	2.571	2.568	2.564	2.561	2.558	2.555	2.535	2.523	2.514	2.508	2.504	2.500	2.497	2.484	2.476	2.473
8	2.419	2.414	2.409	2.404	2.400	2.396	2.392	2.389	2.386	2.383	2.361	2.348	2.339	2.333	2.328	2.324	2.321	2.307	2.298	2.295
9	2.292	2.287	2.282	2.277	2.272	2.268	2.265	2.261	2.258	2.255	2.232	2.218	2.208	2.202	2.196	2.192	2.188	2.174	2.165	2.162
10	2.194	2.189	2.183	2.178	2.174	2.170	2.166	2.162	2.159	2.155	2.132	2.117	2.107	2.100	2.095	2.090	2.087	2.071	2.062	2.059
11	2.117	2.111	2.105	2.100	2.095	2.091	2.087	2.083	2.080	2.076	2.052	2.036	2.026	2.019	2.013	2.008	2.005	1.989	1.979	1.975
12	2.053	2.047	2.041	2.036	2.031	2.027	2.022	2.019	2.015	2.011	1.986	1.970	1.960	1.952	1.946	1.942	1.938	1.921	1.911	1.907
13	2.000	1.994	1.988	1.983	1.978	1.973	1.969	1.965	1.961	1.958	1.931	1.915	1.904	1.896	1.890	1.886	1.882	1.864	1.853	1.850
14	1.955	1.949	1.943	1.938	1.933	1.928	1.923	1.919	1.916	1.912	1.885	1.869	1.857	1.849	1.843	1.838	1.834	1.816	1.805	1.801
15	1.917	1.911	1.905	1.899	1.894	1.889	1.885	1.880	1.876	1.873	1.845	1.828	1.817	1.808	1.802	1.797	1.793	1.774	1.763	1.759
16	1.884	1.877	1.871	1.866	1.860	1.855	1.851	1.847	1.843	1.839	1.811	1.793	1.782	1.773	1.766	1.761	1.757	1.738	1.726	1.722
17	1.855	1.848	1.842	1.836	1.831	1.826	1.821	1.817	1.813	1.809	1.781	1.763	1.751	1.742	1.735	1.730	1.726	1.706	1.694	1.690
18	1.829	1.823	1.816	1.810	1.805	1.800	1.795	1.791	1.787	1.783	1.754	1.736	1.723	1.714	1.707	1.702	1.698	1.678	1.665	1.661
19	1.807	1.800	1.793	1.787	1.782	1.777	1.772	1.767	1.763	1.759	1.730	1.711	1.699	1.690	1.683	1.677	1.673	1.652	1.639	1.635
20	1.786	1.779	1.773	1.767	1.761	1.756	1.751	1.746	1.742	1.738	1.708	1.689	1.677	1.667	1.660	1.655	1.650	1.629	1.616	1.612
21	1.768	1.761	1.754	1.748	1.742	1.737	1.732	1.728	1.723	1.719	1.689	1.670	1.657	1.647	1.640	1.634	1.630	1.608	1.595	1.591
22	1.751	1.744	1.737	1.731	1.726	1.720	1.715	1.711	1.706	1.702	1.671	1.652	1.639	1.629	1.622	1.616	1.611	1.590	1.576	1.571
23	1.736	1.729	1.722	1.716	1.710	1.705	1.700	1.695	1.691	1.686	1.655	1.636	1.622	1.613	1.605	1.599	1.594	1.572	1.558	1.554
24	1.722	1.715	1.708	1.702	1.696	1.691	1.686	1.681	1.676	1.672	1.641	1.621	1.607	1.597	1.590	1.584	1.579	1.556	1.542	1.538
25	1.710	1.702	1.695	1.689	1.683	1.678	1.672	1.668	1.663	1.659	1.627	1.607	1.593	1.583	1.576	1.569	1.565	1.542	1.527	1.523
26	1.698	1.690	1.683	1.677	1.671	1.666	1.660	1.656	1.651	1.647	1.615	1.594	1.581	1.570	1.562	1.556	1.551	1.528	1.514	1.509
27	1.687	1.680	1.673	1.666	1.660	1.655	1.649	1.645	1.640	1.636	1.603	1.583	1.569	1.558	1.550	1.544	1.539	1.515	1.501	1.496
28	1.677	1.669	1.662	1.656	1.650	1.644	1.639	1.634	1.630	1.625	1.592	1.572	1.558	1.547	1.539	1.533	1.528	1.504	1.489	1.484
29	1.669	1.660	1.653	1.647	1.640	1.635	1.630	1.625	1.620	1.616	1.583	1.562	1.547	1.537	1.529	1.522	1.517	1.493	1.478	1.472
30	1.659	1.651	1.644	1.638	1.632	1.626	1.621	1.616	1.611	1.606	1.573	1.552	1.538	1.527	1.519	1.512	1.507	1.482	1.467	1.462
40	1.596	1.588	1.581	1.574	1.568	1.562	1.556	1.551	1.546	1.541	1.506	1.483	1.467	1.455	1.447	1.439	1.434	1.406	1.389	1.383
50	1.559	1.551	1.543	1.536	1.529	1.523	1.517	1.512	1.507	1.502	1.465	1.441	1.424	1.412	1.402	1.395	1.388	1.359	1.340	1.333
60	1.534	1.526	1.518	1.511	1.504	1.496	1.489	1.482	1.476	1.471	1.434	1.410	1.393	1.382	1.372	1.364	1.356	1.326	1.306	1.299
70	1.517	1.508	1.500	1.493	1.486	1.479	1.473	1.467	1.462	1.457	1.418	1.392	1.374	1.361	1.350	1.342	1.335	1.302	1.281	1.273
80	1.503	1.495	1.487	1.479	1.472	1.465	1.459	1.453	1.448	1.443	1.403	1.377	1.358	1.344	1.334	1.325	1.318	1.284	1.261	1.253
90	1.493	1.484	1.476	1.468	1.461	1.455	1.448	1.442	1.437	1.432	1.391	1.365	1.346	1.332	1.321	1.312	1.304	1.269	1.245	1.237
100	1.485	1.476	1.468	1.460	1.453	1.446	1.440	1.434	1.428	1.423	1.382	1.356	1.336	1.321	1.310	1.301	1.293	1.257	1.232	1.223
200	1.448	1.438	1.430	1.422	1.414	1.407	1.400	1.394	1.388	1.383	1.339	1.310	1.289	1.273	1.261	1.250	1.242	1.199	1.168	1.157
500	1.425	1.416	1.407	1.399	1.391	1.384	1.377	1.370	1.364	1.358	1.313	1.282	1.260	1.243	1.229	1.218	1.208	1.160	1.122	1.106
1000	1.418	1.408	1.399	1.391	1.383	1.376	1.369	1.362	1.356	1.350	1.304	1.273	1.250	1.232	1.218	1.207	1.197	1.145	1.103	1.084

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 90% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$1 - \alpha = 0.95$ v_1 = grados de libertad del numerador
 $1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$ v_2 = grados de libertad del denominador

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	161.446	199.499	215.707	224.593	230.180	233.898	236.767	238.884	240.543	241.882	242.981	243.905	244.690	245.363	245.949	246.466	246.917	247.324	247.688	248.016
2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.286	19.329	19.369	19.371	19.385	19.396	19.405	19.412	19.419	19.424	19.429	19.433	19.437	19.440	19.443	19.446
3	10.128	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.785	8.763	8.745	8.729	8.715	8.703	8.692	8.683	8.675	8.667	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.932	5.912	5.891	5.873	5.858	5.844	5.832	5.821	5.811	5.803
5	6.608	5.788	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.704	4.678	4.655	4.636	4.619	4.604	4.590	4.579	4.568	4.558
6	5.837	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.027	4.000	3.976	3.956	3.938	3.922	3.908	3.896	3.884	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.868	3.787	3.726	3.677	3.637	3.603	3.575	3.550	3.529	3.511	3.494	3.480	3.467	3.455	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.688	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.313	3.284	3.259	3.237	3.218	3.202	3.187	3.173	3.161	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.102	3.073	3.048	3.025	3.006	2.989	2.974	2.960	2.948	2.936
10	4.945	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.943	2.913	2.887	2.865	2.845	2.828	2.812	2.798	2.785	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	2.948	2.896	2.854	2.818	2.788	2.761	2.738	2.719	2.701	2.685	2.671	2.658	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.717	2.687	2.660	2.637	2.617	2.599	2.583	2.569	2.555	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.635	2.604	2.577	2.554	2.533	2.515	2.499	2.484	2.471	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.565	2.534	2.507	2.484	2.463	2.445	2.428	2.413	2.400	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.055	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	2.544	2.507	2.475	2.448	2.424	2.403	2.385	2.368	2.353	2.340	2.328
16	4.494	3.634	3.239	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.456	2.425	2.397	2.373	2.352	2.333	2.317	2.302	2.288	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.698	2.614	2.548	2.494	2.450	2.413	2.381	2.353	2.329	2.308	2.288	2.272	2.257	2.243	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.374	2.342	2.314	2.290	2.269	2.250	2.233	2.217	2.203	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.378	2.340	2.308	2.280	2.256	2.236	2.215	2.198	2.182	2.168	2.156
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.310	2.278	2.250	2.225	2.203	2.184	2.167	2.151	2.137	2.124
21	4.325	3.467	3.072	2.840	2.685	2.573	2.488	2.420	2.366	2.321	2.283	2.250	2.222	2.197	2.176	2.156	2.139	2.123	2.109	2.096
22	4.301	3.443	3.049	2.817	2.661	2.549	2.464	2.397	2.342	2.297	2.259	2.226	2.198	2.173	2.151	2.131	2.114	2.098	2.084	2.071
23	4.279	3.422	3.028	2.796	2.640	2.528	2.442	2.375	2.320	2.275	2.236	2.203	2.175	2.150	2.128	2.108	2.091	2.075	2.061	2.048
24	4.260	3.403	3.009	2.776	2.621	2.508	2.423	2.355	2.300	2.255	2.216	2.183	2.155	2.130	2.108	2.088	2.070	2.054	2.040	2.027
25	4.242	3.385	2.991	2.759	2.603	2.490	2.405	2.337	2.282	2.236	2.197	2.165	2.136	2.111	2.089	2.069	2.051	2.035	2.021	2.007
26	4.225	3.368	2.975	2.743	2.587	2.474	2.388	2.321	2.265	2.220	2.181	2.148	2.119	2.094	2.072	2.052	2.034	2.018	2.003	1.990
27	4.210	3.354	2.960	2.728	2.572	2.459	2.373	2.305	2.250	2.204	2.166	2.132	2.103	2.078	2.056	2.036	2.018	2.002	1.987	1.974
28	4.196	3.340	2.947	2.714	2.558	2.445	2.359	2.291	2.236	2.190	2.151	2.118	2.089	2.064	2.041	2.021	2.003	1.987	1.972	1.959
29	4.183	3.328	2.934	2.701	2.545	2.432	2.346	2.278	2.223	2.177	2.138	2.104	2.075	2.050	2.027	2.007	1.989	1.973	1.958	1.945
30	4.171	3.316	2.922	2.689	2.533	2.421	2.334	2.266	2.211	2.165	2.126	2.092	2.063	2.037	2.015	1.995	1.978	1.960	1.945	1.932
40	4.085	3.232	2.839	2.606	2.449	2.336	2.249	2.180	2.124	2.077	2.038	2.003	1.974	1.948	1.924	1.904	1.886	1.868	1.853	1.839
50	4.024	3.183	2.789	2.557	2.400	2.286	2.199	2.130	2.073	2.026	1.986	1.952	1.921	1.895	1.871	1.850	1.831	1.814	1.798	1.784
60	4.001	3.150	2.756	2.525	2.368	2.254	2.167	2.097	2.040	1.993	1.953	1.917	1.887	1.860	1.836	1.815	1.796	1.778	1.763	1.748
70	3.978	3.128	2.734	2.503	2.346	2.231	2.143	2.074	2.017	1.969	1.929	1.893	1.863	1.836	1.812	1.790	1.771	1.753	1.737	1.722
80	3.960	3.111	2.717	2.486	2.329	2.214	2.126	2.056	1.999	1.951	1.910	1.875	1.845	1.817	1.793	1.772	1.752	1.734	1.718	1.703
90	3.947	3.098	2.704	2.473	2.316	2.201	2.113	2.043	1.986	1.938	1.897	1.861	1.830	1.803	1.779	1.757	1.737	1.720	1.703	1.688
100	3.936	3.087	2.693	2.463	2.305	2.191	2.103	2.032	1.975	1.927	1.886	1.850	1.819	1.792	1.768	1.746	1.726	1.708	1.691	1.676
200	3.888	3.041	2.650	2.417	2.259	2.144	2.056	1.985	1.927	1.878	1.837	1.801	1.769	1.742	1.717	1.694	1.674	1.656	1.639	1.623
500	3.860	3.014	2.623	2.390	2.232	2.117	2.028	1.957	1.899	1.850	1.808	1.772	1.740	1.712	1.686	1.664	1.643	1.625	1.607	1.592
1000	3.851	3.005	2.614	2.381	2.223	2.108	2.019	1.948	1.889	1.840	1.798	1.762	1.730	1.702	1.676	1.654	1.633	1.614	1.597	1.581

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 95% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER.

$$1 - \alpha = 0.95$$

$$1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$$

$v_2 \backslash v_1$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	248.307	248.579	248.823	249.052	249.260	249.453	249.631	249.788	249.921	250.046	251.144	251.774	252.193	252.498	252.723	252.898	253.043	253.678	254.082	254.196
2	19.448	19.450	19.452	19.454	19.456	19.457	19.459	19.460	19.461	19.463	19.471	19.476	19.479	19.481	19.483	19.485	19.486	19.491	19.494	19.495
3	8.654	8.648	8.643	8.638	8.634	8.630	8.626	8.623	8.620	8.617	8.594	8.581	8.572	8.566	8.561	8.557	8.554	8.540	8.532	8.529
4	5.795	5.787	5.781	5.774	5.769	5.763	5.759	5.754	5.750	5.746	5.717	5.699	5.688	5.680	5.673	5.668	5.664	5.646	5.635	5.632
5	4.549	4.541	4.534	4.527	4.521	4.515	4.510	4.505	4.500	4.496	4.464	4.444	4.431	4.422	4.415	4.408	4.405	4.385	4.373	4.369
6	3.865	3.856	3.848	3.841	3.835	3.829	3.823	3.818	3.813	3.808	3.774	3.754	3.740	3.730	3.722	3.716	3.712	3.690	3.678	3.673
7	3.435	3.426	3.418	3.410	3.404	3.397	3.391	3.386	3.381	3.376	3.340	3.319	3.304	3.294	3.286	3.280	3.275	3.252	3.239	3.234
8	3.140	3.131	3.123	3.115	3.108	3.102	3.095	3.090	3.084	3.078	3.043	3.020	3.005	2.994	2.986	2.980	2.975	2.951	2.937	2.932
9	2.926	2.917	2.908	2.900	2.893	2.886	2.880	2.874	2.868	2.864	2.828	2.803	2.787	2.776	2.768	2.761	2.756	2.731	2.717	2.712
10	2.764	2.754	2.746	2.737	2.730	2.723	2.716	2.710	2.705	2.700	2.661	2.637	2.621	2.609	2.601	2.594	2.588	2.563	2.548	2.543
11	2.638	2.628	2.617	2.609	2.601	2.594	2.588	2.582	2.576	2.570	2.531	2.507	2.490	2.478	2.469	2.462	2.457	2.431	2.415	2.410
12	2.533	2.523	2.514	2.505	2.498	2.491	2.484	2.478	2.472	2.466	2.426	2.401	2.384	2.372	2.363	2.356	2.350	2.323	2.307	2.302
13	2.448	2.438	2.429	2.420	2.412	2.405	2.398	2.392	2.386	2.380	2.339	2.314	2.297	2.284	2.275	2.267	2.261	2.234	2.218	2.212
14	2.377	2.367	2.357	2.349	2.341	2.333	2.326	2.320	2.314	2.308	2.266	2.241	2.223	2.210	2.201	2.193	2.187	2.159	2.142	2.136
15	2.316	2.306	2.297	2.288	2.280	2.272	2.265	2.259	2.253	2.247	2.204	2.178	2.160	2.147	2.137	2.130	2.123	2.095	2.078	2.072
16	2.264	2.254	2.244	2.235	2.227	2.220	2.212	2.206	2.200	2.194	2.151	2.124	2.106	2.093	2.083	2.075	2.068	2.039	2.022	2.016
17	2.219	2.208	2.198	2.189	2.181	2.174	2.167	2.161	2.154	2.148	2.104	2.077	2.058	2.045	2.035	2.027	2.020	1.991	1.973	1.967
18	2.179	2.168	2.158	2.150	2.141	2.134	2.126	2.119	2.113	2.107	2.063	2.036	2.017	2.003	1.993	1.985	1.978	1.948	1.929	1.923
19	2.144	2.133	2.123	2.114	2.106	2.098	2.090	2.084	2.077	2.071	2.026	1.999	1.980	1.966	1.956	1.947	1.940	1.910	1.891	1.884
20	2.112	2.102	2.092	2.082	2.074	2.066	2.059	2.052	2.045	2.039	1.994	1.968	1.948	1.932	1.922	1.913	1.907	1.875	1.856	1.850
21	2.084	2.073	2.063	2.054	2.045	2.037	2.030	2.023	2.016	2.010	1.965	1.938	1.918	1.902	1.891	1.883	1.876	1.845	1.825	1.818
22	2.059	2.048	2.038	2.028	2.020	2.012	2.004	1.997	1.990	1.984	1.938	1.909	1.889	1.875	1.864	1.856	1.849	1.817	1.797	1.790
23	2.036	2.025	2.014	2.005	1.996	1.988	1.981	1.973	1.967	1.961	1.914	1.885	1.865	1.850	1.839	1.830	1.823	1.791	1.771	1.764
24	2.015	2.003	1.993	1.984	1.975	1.967	1.959	1.952	1.945	1.939	1.892	1.863	1.842	1.828	1.816	1.808	1.800	1.768	1.747	1.740
25	1.995	1.984	1.974	1.964	1.955	1.947	1.939	1.932	1.926	1.919	1.872	1.842	1.822	1.807	1.796	1.787	1.779	1.746	1.725	1.718
26	1.975	1.966	1.956	1.946	1.938	1.929	1.921	1.914	1.907	1.901	1.853	1.823	1.803	1.788	1.776	1.767	1.760	1.726	1.705	1.698
27	1.961	1.950	1.940	1.930	1.921	1.913	1.905	1.898	1.891	1.884	1.836	1.806	1.785	1.770	1.758	1.748	1.742	1.708	1.686	1.679
28	1.946	1.935	1.924	1.915	1.906	1.897	1.889	1.882	1.875	1.868	1.820	1.790	1.769	1.754	1.742	1.733	1.725	1.691	1.669	1.662
29	1.932	1.921	1.910	1.901	1.891	1.883	1.875	1.868	1.861	1.854	1.806	1.775	1.754	1.738	1.726	1.717	1.710	1.675	1.653	1.645
30	1.918	1.908	1.897	1.887	1.878	1.870	1.862	1.854	1.847	1.841	1.792	1.761	1.740	1.724	1.712	1.703	1.695	1.660	1.637	1.630
40	1.826	1.814	1.803	1.793	1.783	1.775	1.766	1.759	1.751	1.744	1.693	1.660	1.637	1.621	1.608	1.597	1.589	1.551	1.526	1.517
50	1.771	1.759	1.748	1.737	1.727	1.718	1.710	1.702	1.694	1.687	1.634	1.600	1.576	1.558	1.544	1.534	1.525	1.484	1.457	1.448
60	1.735	1.722	1.711	1.700	1.690	1.681	1.672	1.664	1.656	1.649	1.594	1.559	1.534	1.516	1.502	1.491	1.481	1.438	1.409	1.399
70	1.709	1.696	1.685	1.674	1.664	1.654	1.646	1.637	1.629	1.622	1.566	1.530	1.505	1.486	1.471	1.459	1.450	1.404	1.374	1.364
80	1.689	1.677	1.665	1.654	1.644	1.634	1.626	1.617	1.609	1.602	1.545	1.508	1.482	1.463	1.448	1.436	1.426	1.379	1.347	1.336
90	1.675	1.662	1.650	1.639	1.629	1.619	1.610	1.601	1.593	1.586	1.528	1.491	1.465	1.445	1.429	1.417	1.407	1.358	1.326	1.314
100	1.663	1.650	1.638	1.627	1.616	1.607	1.598	1.589	1.581	1.573	1.515	1.477	1.450	1.430	1.415	1.402	1.392	1.342	1.308	1.296
200	1.609	1.596	1.583	1.572	1.561	1.551	1.542	1.533	1.524	1.516	1.456	1.416	1.386	1.364	1.346	1.332	1.321	1.263	1.221	1.205
500	1.577	1.563	1.551	1.539	1.528	1.518	1.508	1.499	1.490	1.482	1.419	1.376	1.345	1.322	1.303	1.288	1.275	1.210	1.159	1.138
1000	1.566	1.553	1.540	1.528	1.517	1.507	1.497	1.488	1.479	1.471	1.406	1.363	1.332	1.308	1.289	1.273	1.260	1.190	1.134	1.110

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 95% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$1 - \alpha = 0.975$
 $1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$

v_1 = grados de libertad del numerador
 v_2 = grados de libertad del denominador

$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	647.793	769.482	864.151	899.598	921.835	937.114	948.203	956.843	963.279	968.604	973.028	976.725	979.639	982.045	984.074	985.911	988.715	990.345	991.800	993.081
2	38.506	39.000	39.166	39.248	39.298	39.331	39.356	39.373	39.387	39.398	39.407	39.415	39.421	39.427	39.431	39.436	39.439	39.442	39.446	39.448
3	17.443	16.044	15.439	15.101	14.885	14.735	14.624	14.540	14.473	14.419	14.374	14.337	14.305	14.277	14.253	14.232	14.213	14.196	14.181	14.167
4	12.218	10.649	9.979	9.604	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.794	8.751	8.715	8.684	8.657	8.633	8.611	8.592	8.575	8.560
5	10.007	8.434	7.764	7.388	7.145	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.568	6.525	6.488	6.456	6.428	6.403	6.381	6.362	6.344	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.985	5.820	5.695	5.600	5.523	5.461	5.410	5.368	5.329	5.297	5.269	5.244	5.222	5.202	5.184	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.709	4.666	4.628	4.595	4.566	4.543	4.521	4.501	4.483	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.243	4.200	4.162	4.130	4.101	4.076	4.054	4.034	4.016	3.999
9	7.208	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.912	3.868	3.831	3.798	3.769	3.744	3.722	3.701	3.683	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.665	3.621	3.583	3.550	3.522	3.496	3.474	3.453	3.436	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.474	3.430	3.392	3.359	3.330	3.304	3.282	3.261	3.243	3.226
12	6.564	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.321	3.277	3.239	3.206	3.177	3.152	3.129	3.108	3.090	3.073
13	6.414	4.946	4.327	3.976	3.747	3.584	3.463	3.368	3.312	3.250	3.197	3.153	3.115	3.082	3.053	3.027	3.004	2.983	2.965	2.948
14	6.288	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.229	3.167	3.095	3.050	3.012	2.979	2.949	2.923	2.900	2.879	2.861	2.844
15	6.200	4.785	4.173	3.824	3.595	3.434	3.293	3.198	3.123	3.060	3.008	2.963	2.925	2.891	2.862	2.836	2.813	2.792	2.773	2.758
16	6.115	4.697	4.077	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.934	2.889	2.851	2.817	2.788	2.761	2.738	2.717	2.698	2.681
17	6.042	4.619	4.011	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922	2.870	2.825	2.788	2.753	2.723	2.697	2.673	2.652	2.633	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.814	2.769	2.732	2.696	2.667	2.640	2.617	2.596	2.576	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.558	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.765	2.720	2.683	2.647	2.617	2.591	2.567	2.546	2.526	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.290	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.721	2.676	2.639	2.603	2.573	2.547	2.523	2.501	2.482	2.464
21	5.827	4.420	3.819	3.475	3.250	3.088	2.967	2.873	2.798	2.735	2.682	2.637	2.599	2.564	2.534	2.507	2.483	2.462	2.442	2.425
22	5.788	4.383	3.783	3.440	3.215	3.053	2.932	2.838	2.763	2.700	2.647	2.602	2.563	2.528	2.498	2.472	2.448	2.426	2.407	2.389
23	5.750	4.349	3.750	3.408	3.183	3.021	2.900	2.806	2.731	2.668	2.615	2.570	2.531	2.497	2.466	2.440	2.416	2.394	2.374	2.357
24	5.717	4.319	3.721	3.379	3.155	2.993	2.872	2.778	2.703	2.640	2.586	2.541	2.502	2.468	2.437	2.411	2.386	2.365	2.345	2.327
25	5.686	4.291	3.694	3.353	3.129	2.966	2.845	2.751	2.676	2.613	2.559	2.514	2.475	2.441	2.410	2.384	2.360	2.338	2.318	2.300
26	5.659	4.265	3.670	3.329	3.105	2.942	2.821	2.727	2.653	2.590	2.536	2.491	2.452	2.417	2.387	2.360	2.335	2.314	2.294	2.276
27	5.633	4.242	3.647	3.307	3.083	2.920	2.800	2.706	2.631	2.568	2.514	2.469	2.429	2.395	2.364	2.337	2.313	2.291	2.271	2.253
28	5.610	4.221	3.626	3.286	3.063	2.900	2.780	2.687	2.611	2.548	2.494	2.449	2.409	2.374	2.344	2.317	2.292	2.270	2.251	2.232
29	5.588	4.201	3.607	3.267	3.044	2.881	2.761	2.668	2.592	2.529	2.475	2.430	2.390	2.355	2.325	2.298	2.273	2.251	2.231	2.213
30	5.568	4.182	3.588	3.248	3.025	2.862	2.742	2.649	2.573	2.510	2.456	2.411	2.371	2.336	2.307	2.280	2.255	2.233	2.213	2.195
40	5.424	4.051	3.463	3.126	2.904	2.741	2.624	2.529	2.452	2.389	2.334	2.289	2.248	2.213	2.182	2.154	2.129	2.107	2.088	2.068
50	5.340	3.975	3.390	3.054	2.833	2.674	2.553	2.458	2.381	2.317	2.263	2.216	2.176	2.140	2.109	2.081	2.056	2.033	2.012	1.993
60	5.286	3.925	3.343	3.008	2.786	2.627	2.507	2.412	2.334	2.270	2.216	2.169	2.129	2.093	2.061	2.033	2.008	1.985	1.964	1.944
70	5.247	3.890	3.309	2.975	2.754	2.595	2.474	2.379	2.302	2.237	2.183	2.136	2.096	2.060	2.028	1.999	1.974	1.950	1.929	1.910
80	5.218	3.864	3.284	2.950	2.730	2.571	2.450	2.355	2.277	2.213	2.158	2.111	2.071	2.035	2.003	1.974	1.948	1.925	1.904	1.884
90	5.196	3.844	3.265	2.932	2.711	2.552	2.432	2.336	2.258	2.194	2.140	2.092	2.051	2.015	1.983	1.955	1.929	1.905	1.884	1.864
100	5.178	3.828	3.250	2.917	2.696	2.537	2.417	2.321	2.244	2.179	2.124	2.077	2.036	2.000	1.968	1.939	1.913	1.890	1.868	1.849
200	5.100	3.758	3.182	2.850	2.630	2.472	2.351	2.256	2.178	2.113	2.058	2.010	1.969	1.932	1.900	1.870	1.844	1.820	1.798	1.778
500	5.054	3.716	3.142	2.811	2.592	2.434	2.313	2.217	2.139	2.074	2.019	1.971	1.929	1.892	1.859	1.830	1.803	1.779	1.757	1.736
1000	5.039	3.703	3.129	2.799	2.579	2.421	2.300	2.204	2.126	2.061	2.006	1.958	1.916	1.879	1.846	1.816	1.789	1.765	1.743	1.722

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 97.5% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCION F DE FISHER

1 - α = 0.975
1 - α = P (F $\leq$ f_(v1,v2))

$\frac{v_2}{v_1}$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	944.303	885.351	848.341	817.272	793.087	768.943	745.542	722.440	700.240	678.823	635.586	608.068	585.787	564.009	542.811	521.210	500.163	451.574	407.237	367.761
2	39.460	39.452	39.456	39.457	39.458	39.459	39.461	39.462	39.463	39.465	39.473	39.478	39.481	39.484	39.486	39.487	39.488	39.493	39.496	39.497
3	14.155	14.144	14.134	14.124	14.115	14.107	14.100	14.093	14.086	14.081	14.036	14.010	13.992	13.979	13.970	13.962	13.956	13.929	13.913	13.908
4	8.546	8.533	8.522	8.511	8.501	8.492	8.483	8.475	8.468	8.461	8.381	8.361	8.350	8.346	8.335	8.326	8.319	8.298	8.270	8.264
5	6.314	6.301	6.289	6.278	6.268	6.258	6.250	6.242	6.234	6.227	6.175	6.144	6.123	6.107	6.096	6.087	6.080	6.048	6.028	6.022
6	5.154	5.141	5.128	5.117	5.107	5.097	5.088	5.080	5.072	5.065	5.012	4.980	4.959	4.943	4.932	4.923	4.915	4.882	4.862	4.856
7	4.452	4.439	4.426	4.415	4.405	4.395	4.386	4.378	4.370	4.362	4.309	4.276	4.254	4.239	4.227	4.218	4.210	4.176	4.156	4.149
8	3.855	3.842	3.829	3.817	3.807	3.797	3.787	3.779	3.771	3.763	3.709	3.676	3.654	3.639	3.627	3.618	3.610	3.575	3.555	3.548
9	3.352	3.339	3.326	3.314	3.304	3.294	3.284	3.276	3.268	3.260	3.205	3.172	3.150	3.135	3.123	3.114	3.106	3.071	3.051	3.044
10	3.003	2.990	2.977	2.965	2.955	2.945	2.935	2.927	2.919	2.911	2.856	2.823	2.801	2.786	2.774	2.765	2.757	2.722	2.702	2.695
11	2.711	2.698	2.685	2.673	2.663	2.653	2.643	2.635	2.627	2.619	2.564	2.531	2.509	2.494	2.482	2.473	2.465	2.430	2.410	2.403
12	2.407	2.394	2.381	2.369	2.359	2.349	2.339	2.331	2.323	2.315	2.260	2.227	2.205	2.190	2.178	2.169	2.161	2.126	2.106	2.099
13	2.192	2.179	2.166	2.154	2.144	2.134	2.124	2.116	2.108	2.100	2.045	2.012	1.990	1.975	1.963	1.954	1.946	1.911	1.891	1.884
14	1.978	1.965	1.952	1.940	1.930	1.920	1.910	1.902	1.894	1.886	1.831	1.798	1.776	1.761	1.749	1.740	1.732	1.697	1.677	1.670
15	1.763	1.750	1.737	1.725	1.715	1.705	1.695	1.687	1.679	1.671	1.616	1.583	1.561	1.546	1.534	1.525	1.517	1.482	1.462	1.455
16	1.548	1.535	1.522	1.510	1.500	1.490	1.480	1.472	1.464	1.456	1.401	1.368	1.346	1.331	1.319	1.310	1.302	1.267	1.247	1.240
17	1.333	1.320	1.307	1.295	1.285	1.275	1.265	1.257	1.249	1.241	1.186	1.153	1.131	1.116	1.104	1.095	1.087	1.052	1.032	1.025
18	1.118	1.105	1.092	1.080	1.070	1.060	1.050	1.042	1.034	1.026	0.971	0.938	0.916	0.901	0.889	0.880	0.872	0.837	0.817	0.810
19	0.993	0.980	0.967	0.955	0.945	0.935	0.925	0.917	0.909	0.901	0.846	0.813	0.791	0.776	0.764	0.755	0.747	0.712	0.692	0.685
20	0.878	0.865	0.852	0.840	0.830	0.820	0.810	0.802	0.794	0.786	0.731	0.698	0.676	0.661	0.649	0.640	0.632	0.597	0.577	0.570
21	0.763	0.750	0.737	0.725	0.715	0.705	0.695	0.687	0.679	0.671	0.616	0.583	0.561	0.546	0.534	0.525	0.517	0.482	0.462	0.455
22	0.648	0.635	0.622	0.610	0.600	0.590	0.580	0.572	0.564	0.556	0.501	0.468	0.446	0.431	0.419	0.410	0.402	0.367	0.347	0.340
23	0.533	0.520	0.507	0.495	0.485	0.475	0.465	0.457	0.449	0.441	0.386	0.353	0.331	0.316	0.304	0.295	0.287	0.252	0.232	0.225
24	0.418	0.405	0.392	0.380	0.370	0.360	0.350	0.342	0.334	0.326	0.271	0.238	0.216	0.201	0.189	0.180	0.172	0.137	0.117	0.110
25	0.303	0.290	0.277	0.265	0.255	0.245	0.235	0.227	0.219	0.211	0.156	0.123	0.101	0.086	0.074	0.065	0.057	0.022	0.002	0.000
26	0.288	0.275	0.262	0.250	0.240	0.230	0.220	0.212	0.204	0.196	0.141	0.108	0.086	0.071	0.059	0.050	0.042	0.007	0.000	0.000
27	0.273	0.260	0.247	0.235	0.225	0.215	0.205	0.197	0.189	0.181	0.126	0.093	0.071	0.056	0.044	0.035	0.027	0.002	0.000	0.000
28	0.258	0.245	0.232	0.220	0.210	0.200	0.190	0.182	0.174	0.166	0.111	0.078	0.056	0.041	0.029	0.020	0.012	0.000	0.000	0.000
29	0.243	0.230	0.217	0.205	0.195	0.185	0.175	0.167	0.159	0.151	0.096	0.063	0.041	0.026	0.014	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
30	0.228	0.215	0.202	0.190	0.180	0.170	0.160	0.152	0.144	0.136	0.081	0.048	0.026	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40	0.153	0.140	0.127	0.115	0.105	0.095	0.085	0.077	0.069	0.061	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50	0.108	0.095	0.082	0.070	0.060	0.050	0.040	0.032	0.024	0.016	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60	0.083	0.070	0.057	0.045	0.035	0.025	0.015	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70	0.068	0.055	0.042	0.030	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80	0.058	0.045	0.032	0.020	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90	0.048	0.035	0.022	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.038	0.025	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
200	0.018	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
500	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 97.5% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER																				
$1 - \alpha = 0.99$		v_1 = grados de libertad del numerador																		
$1 - \alpha = P (F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$		v_2 = grados de libertad del denominador																		
$v_2 \backslash v_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	4052.185	4994.340	5403.534	5624.287	5763.555	5855.950	5928.334	5980.954	6022.397	6055.925	6083.399	6106.682	6126.774	6143.004	6156.974	6170.012	6181.188	6191.432	6200.746	6208.662
2	98.502	99.000	99.164	99.251	99.302	99.331	99.357	99.376	99.390	99.397	99.408	99.419	99.422	99.426	99.433	99.437	99.441	99.444	99.448	99.448
3	34.116	30.816	29.457	28.710	28.237	27.911	27.671	27.495	27.345	27.228	27.132	27.052	26.983	26.924	26.872	26.826	26.786	26.751	26.715	26.680
4	21.198	18.000	16.664	15.977	15.522	15.207	14.976	14.799	14.659	14.546	14.452	14.374	14.306	14.249	14.198	14.154	14.114	14.079	14.048	14.019
5	16.268	13.274	12.060	11.392	10.967	10.672	10.456	10.289	10.158	10.051	9.963	9.886	9.825	9.770	9.722	9.680	9.643	9.609	9.580	9.553
6	13.745	10.925	9.780	9.148	8.746	8.466	8.260	8.102	7.976	7.874	7.790	7.718	7.657	7.605	7.559	7.519	7.483	7.451	7.422	7.396
7	12.246	9.547	8.451	7.847	7.460	7.191	6.993	6.840	6.719	6.620	6.538	6.469	6.410	6.359	6.314	6.275	6.240	6.209	6.181	6.155
8	11.259	8.649	7.591	7.006	6.632	6.371	6.178	6.029	5.911	5.814	5.734	5.667	5.609	5.559	5.515	5.477	5.442	5.412	5.384	5.359
9	10.562	8.022	6.992	6.422	6.057	5.802	5.613	5.457	5.351	5.257	5.178	5.111	5.055	5.005	4.962	4.924	4.890	4.860	4.833	4.808
10	10.044	7.559	6.552	5.994	5.636	5.386	5.200	5.057	4.942	4.849	4.772	4.706	4.650	4.601	4.558	4.520	4.487	4.457	4.430	4.406
11	9.646	7.205	6.217	5.668	5.316	5.069	4.886	4.744	4.632	4.539	4.462	4.397	4.342	4.293	4.251	4.213	4.180	4.150	4.123	4.099
12	9.330	6.927	5.953	5.412	5.064	4.821	4.640	4.499	4.388	4.296	4.220	4.155	4.100	4.052	4.010	3.972	3.939	3.910	3.883	3.858
13	9.074	6.701	5.739	5.205	4.862	4.620	4.441	4.302	4.191	4.100	4.025	3.960	3.905	3.857	3.815	3.778	3.745	3.716	3.689	3.665
14	8.862	6.515	5.564	5.035	4.695	4.456	4.276	4.140	4.030	3.939	3.864	3.800	3.745	3.698	3.656	3.619	3.586	3.556	3.529	3.505
15	8.663	6.359	5.417	4.893	4.556	4.318	4.142	4.004	3.895	3.805	3.730	3.666	3.612	3.564	3.522	3.485	3.452	3.423	3.396	3.372
16	8.531	6.226	5.292	4.773	4.437	4.202	4.026	3.890	3.780	3.691	3.616	3.553	3.498	3.451	3.409	3.372	3.339	3.310	3.283	3.259
17	8.400	6.112	5.185	4.668	4.336	4.101	3.927	3.791	3.682	3.593	3.518	3.455	3.401	3.353	3.312	3.275	3.242	3.212	3.185	3.162
18	8.285	6.013	5.092	4.579	4.248	4.015	3.841	3.705	3.597	3.508	3.434	3.371	3.316	3.269	3.227	3.190	3.158	3.128	3.101	3.077
19	8.185	5.926	5.010	4.500	4.171	3.939	3.765	3.631	3.523	3.434	3.360	3.297	3.242	3.195	3.153	3.116	3.084	3.054	3.027	3.003
20	8.096	5.849	4.938	4.431	4.103	3.871	3.699	3.564	3.457	3.368	3.294	3.231	3.177	3.130	3.088	3.051	3.018	2.988	2.962	2.938
21	8.017	5.780	4.874	4.369	4.042	3.812	3.640	3.506	3.398	3.310	3.236	3.173	3.119	3.072	3.030	2.993	2.960	2.931	2.904	2.880
22	7.945	5.719	4.817	4.313	3.986	3.758	3.587	3.453	3.346	3.258	3.184	3.121	3.067	3.019	2.978	2.941	2.908	2.879	2.852	2.827
23	7.881	5.664	4.765	4.264	3.939	3.710	3.539	3.406	3.299	3.211	3.137	3.074	3.020	2.973	2.931	2.894	2.861	2.832	2.805	2.780
24	7.823	5.614	4.718	4.218	3.895	3.667	3.496	3.363	3.256	3.168	3.094	3.032	2.977	2.930	2.889	2.852	2.819	2.789	2.762	2.738
25	7.770	5.568	4.675	4.177	3.855	3.627	3.457	3.324	3.217	3.129	3.056	2.993	2.939	2.892	2.850	2.813	2.780	2.751	2.724	2.699
26	7.721	5.526	4.637	4.140	3.818	3.591	3.421	3.288	3.182	3.094	3.021	2.958	2.904	2.857	2.815	2.778	2.745	2.715	2.688	2.664
27	7.677	5.485	4.591	4.105	3.785	3.558	3.388	3.256	3.149	3.062	2.988	2.926	2.872	2.824	2.783	2.746	2.713	2.683	2.656	2.632
28	7.636	5.453	4.568	4.074	3.754	3.528	3.358	3.226	3.120	3.032	2.959	2.896	2.842	2.794	2.753	2.716	2.683	2.653	2.626	2.602
29	7.598	5.420	4.538	4.045	3.725	3.499	3.330	3.198	3.092	3.005	2.931	2.868	2.814	2.767	2.726	2.689	2.656	2.626	2.599	2.574
30	7.562	5.390	4.510	4.018	3.699	3.473	3.305	3.173	3.067	2.979	2.906	2.843	2.789	2.742	2.700	2.663	2.630	2.600	2.573	2.549
40	7.314	5.178	4.313	3.828	3.514	3.291	3.124	2.993	2.888	2.801	2.727	2.665	2.611	2.563	2.522	2.484	2.451	2.421	2.394	2.369
50	7.171	5.057	4.199	3.720	3.408	3.186	3.020	2.890	2.785	2.698	2.625	2.563	2.508	2.461	2.419	2.382	2.348	2.318	2.290	2.265
60	7.077	4.977	4.126	3.649	3.339	3.119	2.953	2.823	2.718	2.632	2.559	2.496	2.442	2.394	2.352	2.315	2.281	2.251	2.223	2.198
70	7.011	4.922	4.074	3.600	3.291	3.071	2.906	2.777	2.672	2.585	2.512	2.450	2.395	2.348	2.306	2.268	2.234	2.204	2.176	2.150
80	6.963	4.881	4.036	3.563	3.255	3.036	2.871	2.742	2.637	2.551	2.478	2.415	2.361	2.313	2.271	2.233	2.199	2.169	2.141	2.115
90	6.925	4.849	4.007	3.535	3.228	3.009	2.845	2.715	2.611	2.524	2.451	2.389	2.334	2.286	2.244	2.206	2.172	2.142	2.114	2.088
100	6.895	4.824	3.984	3.513	3.206	2.988	2.823	2.694	2.590	2.503	2.430	2.368	2.313	2.265	2.223	2.185	2.151	2.120	2.092	2.067
200	6.763	4.713	3.881	3.414	3.110	2.893	2.730	2.601	2.497	2.411	2.338	2.275	2.220	2.172	2.129	2.091	2.057	2.026	1.997	1.971
500	6.666	4.648	3.821	3.357	3.054	2.838	2.675	2.547	2.443	2.356	2.283	2.220	2.166	2.117	2.075	2.036	2.002	1.970	1.942	1.915
1000	6.660	4.626	3.801	3.338	3.036	2.820	2.657	2.529	2.425	2.335	2.265	2.203	2.148	2.099	2.056	2.018	1.983	1.952	1.923	1.897

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 99% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Tabla 5. VALORES F DE LA DISTRIBUCIÓN F DE FISHER

$$1 - \alpha = 0.99$$

$$1 - \alpha = P(F \leq f_{\alpha, v_1, v_2})$$

$\frac{v_1}{v_2}$	21	22	23	24	25	26	28	29	30	40	50	60	70	80	90	100	200	500	1000
1	6216.113	6223.097	6228.666	6234.273	6239.861	6244.516	6249.174	6253.900	6258.701	6263.500	6268.277	6273.026	6277.750	6282.450	6287.125	6291.775	6296.400	6301.000	6305.575
2	99.451	99.455	99.459	99.463	99.467	99.471	99.475	99.479	99.483	99.487	99.491	99.495	99.499	99.503	99.507	99.511	99.515	99.519	99.523
3	26.664	26.639	26.617	26.597	26.579	26.562	26.546	26.531	26.517	26.504	26.491	26.479	26.468	26.458	26.448	26.439	26.430	26.421	26.413
4	13.994	13.970	13.949	13.929	13.911	13.894	13.878	13.864	13.850	13.838	13.826	13.815	13.805	13.795	13.786	13.777	13.768	13.759	13.751
5	9.526	9.506	9.485	9.466	9.449	9.433	9.418	9.404	9.391	9.379	9.368	9.358	9.348	9.339	9.330	9.321	9.312	9.303	9.295
6	7.372	7.351	7.331	7.313	7.296	7.281	7.266	7.253	7.240	7.229	7.219	7.209	7.199	7.190	7.181	7.172	7.163	7.154	7.146
7	6.132	6.111	6.092	6.074	6.058	6.043	6.029	6.016	6.003	5.992	5.982	5.972	5.963	5.954	5.945	5.936	5.927	5.918	5.910
8	5.336	5.316	5.297	5.279	5.263	5.248	5.234	5.221	5.209	5.198	5.188	5.179	5.170	5.161	5.152	5.143	5.134	5.125	5.117
9	4.786	4.765	4.746	4.729	4.713	4.698	4.684	4.672	4.660	4.649	4.639	4.629	4.620	4.611	4.602	4.593	4.584	4.575	4.567
10	4.383	4.363	4.344	4.327	4.311	4.296	4.283	4.270	4.258	4.247	4.237	4.228	4.219	4.210	4.201	4.192	4.183	4.174	4.166
11	4.077	4.057	4.038	4.021	4.005	3.990	3.977	3.964	3.952	3.941	3.931	3.922	3.913	3.904	3.895	3.886	3.877	3.868	3.860
12	3.836	3.816	3.798	3.780	3.765	3.750	3.736	3.724	3.712	3.701	3.691	3.682	3.673	3.664	3.655	3.646	3.637	3.628	3.620
13	3.643	3.623	3.604	3.587	3.571	3.556	3.543	3.530	3.518	3.507	3.497	3.488	3.479	3.470	3.461	3.452	3.443	3.434	3.426
14	3.483	3.463	3.444	3.427	3.412	3.397	3.383	3.371	3.359	3.348	3.338	3.329	3.320	3.311	3.302	3.293	3.284	3.275	3.267
15	3.350	3.330	3.311	3.294	3.278	3.264	3.250	3.237	3.225	3.214	3.204	3.195	3.186	3.177	3.168	3.159	3.150	3.141	3.133
16	3.237	3.216	3.198	3.181	3.165	3.150	3.137	3.124	3.112	3.101	3.091	3.082	3.073	3.064	3.055	3.046	3.037	3.028	3.020
17	3.139	3.119	3.101	3.083	3.068	3.053	3.039	3.026	3.014	3.003	2.993	2.984	2.975	2.966	2.957	2.948	2.939	2.930	2.922
18	3.055	3.035	3.016	2.999	2.983	2.968	2.955	2.942	2.930	2.919	2.909	2.900	2.891	2.882	2.873	2.864	2.855	2.846	2.838
19	2.981	2.961	2.942	2.925	2.909	2.894	2.880	2.866	2.853	2.842	2.832	2.823	2.814	2.805	2.796	2.787	2.778	2.769	2.761
20	2.916	2.895	2.877	2.859	2.843	2.829	2.815	2.802	2.790	2.778	2.768	2.759	2.750	2.741	2.732	2.723	2.714	2.705	2.697
21	2.857	2.837	2.818	2.801	2.785	2.770	2.756	2.743	2.731	2.720	2.710	2.701	2.692	2.683	2.674	2.665	2.656	2.647	2.639
22	2.805	2.785	2.766	2.749	2.733	2.718	2.704	2.691	2.679	2.668	2.658	2.649	2.640	2.631	2.622	2.613	2.604	2.595	2.587
23	2.758	2.738	2.719	2.702	2.686	2.671	2.657	2.644	2.632	2.620	2.609	2.599	2.590	2.581	2.572	2.563	2.554	2.545	2.537
24	2.716	2.695	2.676	2.659	2.643	2.628	2.614	2.601	2.589	2.577	2.566	2.556	2.547	2.538	2.529	2.520	2.511	2.502	2.494
25	2.677	2.657	2.638	2.620	2.604	2.589	2.575	2.562	2.550	2.538	2.527	2.517	2.508	2.499	2.490	2.481	2.472	2.463	2.455
26	2.642	2.621	2.602	2.585	2.569	2.554	2.540	2.526	2.514	2.503	2.493	2.484	2.475	2.466	2.457	2.448	2.439	2.430	2.422
27	2.608	2.589	2.570	2.552	2.536	2.521	2.507	2.494	2.481	2.470	2.460	2.451	2.442	2.433	2.424	2.415	2.406	2.397	2.389
28	2.579	2.559	2.540	2.522	2.506	2.491	2.477	2.464	2.451	2.440	2.430	2.421	2.412	2.403	2.394	2.385	2.376	2.367	2.359
29	2.552	2.531	2.512	2.495	2.478	2.463	2.449	2.436	2.423	2.412	2.402	2.393	2.384	2.375	2.366	2.357	2.348	2.339	2.331
30	2.526	2.506	2.487	2.469	2.453	2.437	2.423	2.410	2.398	2.386	2.375	2.366	2.357	2.348	2.339	2.330	2.321	2.312	2.304
40	2.346	2.325	2.306	2.288	2.271	2.256	2.241	2.228	2.215	2.203	2.192	2.183	2.174	2.165	2.156	2.147	2.138	2.129	2.121
50	2.242	2.221	2.202	2.183	2.167	2.151	2.136	2.123	2.110	2.098	2.087	2.077	2.068	2.059	2.050	2.041	2.032	2.023	2.015
60	2.175	2.153	2.134	2.115	2.098	2.083	2.068	2.054	2.041	2.028	2.017	2.007	1.998	1.989	1.980	1.971	1.962	1.953	1.945
70	2.127	2.105	2.086	2.067	2.050	2.034	2.019	2.005	1.992	1.980	1.969	1.959	1.950	1.941	1.932	1.923	1.914	1.905	1.897
80	2.092	2.070	2.050	2.032	2.015	1.999	1.983	1.969	1.956	1.944	1.934	1.924	1.915	1.906	1.897	1.888	1.879	1.870	1.862
90	2.065	2.043	2.023	2.004	1.987	1.971	1.956	1.942	1.928	1.916	1.906	1.896	1.887	1.878	1.869	1.860	1.851	1.842	1.834
100	2.043	2.021	2.001	1.983	1.965	1.949	1.934	1.919	1.906	1.893	1.883	1.873	1.864	1.855	1.846	1.837	1.828	1.819	1.811
200	1.947	1.925	1.905	1.886	1.868	1.851	1.836	1.821	1.807	1.794	1.783	1.773	1.764	1.755	1.746	1.737	1.728	1.719	1.711
500	1.891	1.869	1.848	1.829	1.810	1.794	1.778	1.763	1.749	1.735	1.723	1.713	1.704	1.695	1.686	1.677	1.668	1.659	1.651
1000	1.872	1.850	1.829	1.810	1.791	1.774	1.758	1.743	1.729	1.716	1.703	1.693	1.684	1.675	1.666	1.657	1.648	1.639	1.631

Elaborada por Irene Patricia Valdez y Alfaro.

Tabla. Valores de Fisher para la obtención del valor de F con una confiabilidad del 99% en los resultados para predicción de los valores de resistencia a 28 días.

Anexo D

Registro fotográfico



Foto 1. Panel de control de la maquina de curado acelerado.



Foto 2. Caja adosable que contiene los instrumentos de control.



Foto 4. Tanque de curado acelerado sin recubrimiento de aislante térmico.



Foto 6. Máquina de curado acelerado presentada en su lugar de operación.



Foto 9 Máquina de curado acelerado despues de colocarle el aislante térmico.



Foto 10. Interior del tanque, la distribución de 3 probetas con sus cañastillas.



Foto 11. Máquina de curado acelerado en plena operación.



Foto 13. Probetas con capping, previo al ensayo a compresión.



Foto 15. Probetas con canastilla de fierro, despues de haber sido extraidas de la maquina de curado acelerado.



Foto 16. Canastilla de fierro para sujeción de las probetas.



Foto 17. Despues del proceso de curado acelerado, se observa polvo en las probetas.



Foto 18. Máquina de ensayo a la compresión.



Foto 22. Se muestra la relacion a/c, el numero de probeta, la fecha de vaciado y el medio de curado al cual va a ser sometido.



Foto 23. Se muestra la relacion a/c, el numero de probeta, la fecha de vaciado y el medio de curado al cual va a ser sometido.



Foto 24. Poza de curado estándar, con probetas en pleno curado.



Foto 26. Diferencia de color entre las probetas que han sido sometidos a distintos medios de curado (gris claro son aceleradas).

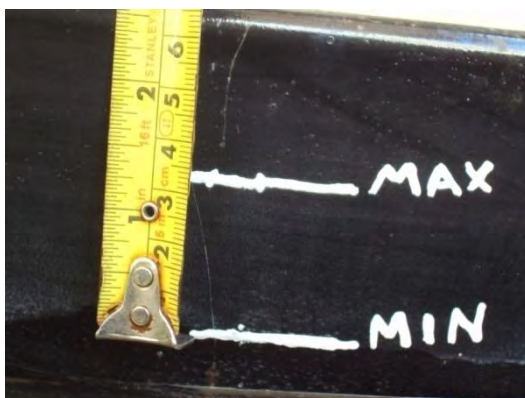


Foto 28. Niveles de mínimo y máximo al interior del tanque de curado acelerado.



Foto 31. Fierro utilizado para realizar las canastillas.

Anexo E

Manual de pirómetro, relé, termocupla (en formato digital).