

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE CURADO ACELERADO EN
ESPECÍMENES DE CONCRETO SEGÚN NTP 339.213 PARA LAS
CANTERAS ROMAÑA Y TORREBLANCA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

BACH. KEVIN FAUSTO, RAMOS ESTRADA

ASESOR

Mg. CARLOS A., VILLEGAS MARTÍNEZ

LIMA – PERÚ

2021

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en sus totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”

Ramos Estrada, Kevin Fausto

kramos@uni.pe

942161526

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y afrontar los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder la fe ni la esperanza.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para mi formación profesional. Me han dado lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi coraje y mi pasión para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome y apoyándome para poderme realizar

A todos mis seres queridos quienes por ellos soy lo que soy.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis, es inevitable pensar durante el proceso, que todo el tiempo que has estado invirtiendo en la formación de uno mismo, no es suficiente. Incluso después de terminar toda la línea de carrera aún hay más que aprender. Con todo esto, las situaciones hubieras sido difíciles de afrontar sin el apoyo de personas e instituciones, los cuales te facilitaron las herramientas para tener un agradable final.

A mi asesor Mg. Ing. Carlos A. Villegas Martínez, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.

A mis padres Justino y Martha por apoyarme en todo momento y por los valores que me ha inculcado.

A mis hermanos Enok, Gamael y Andre, por ser parte importante de mi vida, presentar la unidad familia y siempre alentarme con progresar en la vida.

A todos ellos, Muchas Gracias.

INDICE	PAG.
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	8
PRÓLOGO	10
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE ILUSTRACIONES	13
LISTA DE IMÁGENES	14
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. GENERALIDADES	18
1.2. PROBLEMÁTICA	18
1.3. JUSTIFICACIÓN	19
1.4. OBJETIVOS	20
1.4.1. Objetivo General.....	20
1.4.2. Objetivos específicos:.....	20
1.5. HIPÓTESIS	21
1.5.1. Hipótesis General	21
1.5.2. Hipótesis Especifica	21
CAPÍTULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	22
2.1. FUNDAMENTO TEORICO DEL CONCRETO	22
2.1.1. Las ventajas y limitaciones en el uso del concreto.....	23
2.1.2. Concreto en Estado Fresco	25
2.1.3. Concreto en estado endurecido.....	27
2.2. FUNDAMENTO TEORICO DEL CEMENTO.....	29
2.2.1. Cemento Portland tipo I	30
2.2.2. Propiedades del cemento	30
2.3. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS AGREGADOS.....	34

2.3.1.	Agregados Finos	35
2.3.2.	Agregados Gruesos.....	36
2.3.3.	Características de los agregados	36
2.3.4.	Principales ensayos físicos para los agregados.....	37
2.4.	FUNDAMENTO TEÓRICO DEL AGUA.	39
2.4.1.	Requisitos para la calidad del uso del agua.....	39
2.4.2.	Sales y solidos disueltos en el agua	40
CAPITULO III: MARCO TEÓRICO DEL CURADO ACELERADO		41
3.1.	CALOR DE HIDRATACION EN EL CONCRETO	41
3.2.	TEMPERATURAS ELEVADAS EN EL CONCRETO	42
3.3.	CURADO DEL CONCRETO.....	44
3.3.1.	Curado Acelerado del Concreto.....	45
3.4.	METODO DE CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO	46
3.4.1.	Fundamentos teóricos del curado acelerado con agua hirviendo .	46
3.4.2.	Tanque de curado acelerado con agua hirviendo.	48
3.4.3.	Funcionamiento del aparato de curado acelerado.	52
3.4.4.	Manual para el curado acelerado para el procedimiento B.	53
3.5.	METODO DE CURADO ACELERADO CON ALTA PRESIÓN & TEMPERATURA.....	57
3.5.1.	Fundamentos teóricos del curado acelerado con alta presión & Temperatura.	57
3.5.2.	Equipo de curado con alta Presión & Temperatura.....	58
3.5.3.	Funcionamiento del equipo de curado acelerado.....	63
3.5.4.	Manual para el curado acelerado para el procedimiento D	66
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.		69
4.1.	IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN DE LOS AGREGADOS.....	69
4.2.	PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD.	71
4.2.1.	Peso Unitario.....	71

4.2.2.	Contenido de Humedad.....	71
4.3.	PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.....	72
4.4.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MÓDULO DE FINURA.....	73
4.4.1.	Características del agregado grueso	73
4.4.2.	Características del agregado fino	74
4.5.	PROPIEDADES FÍSICAS RESULTANTES	75
CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO.		76
5.1.	DETERMINACIÓN DE LA RELACION A/C	76
5.2.	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.	77
5.2.1.	Condiciones Generales:	77
5.2.2.	Datos de los Agregados Finos y Agregados Gruesos.....	78
5.2.3.	Aire Incorporado.....	78
5.2.4.	Agua.....	79
5.2.5.	Determinar el Contenido de Aire.....	79
5.3.	DETERMINACIÓN DE LA PROPORCION DE ELEMENTOS DEL CONCRETO – SEGÚN METODO ACI.....	80
5.3.1.	Estimación del contenido del agregado grueso.....	80
5.3.2.	Determinación del factor cemento de un aditivo.	80
CAPITULO VI: DESARROLLO Y RESULTADOS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO		82
6.1.	RESULTADOS DEL DISEÑO DEL CONCRETO FRESCO	82
6.1.1.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.70	82
6.1.2.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.65	83
6.1.3.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.60	83
6.1.4.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.55	84
6.1.5.	Resultados de diseño de concreto: a/c: 0.50	84
6.1.6.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.45	85
6.1.7.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.40	85

6.1.8.	Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.35	86
6.2.	RESULTADOS MECANICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO MEDIANTE PROCEDIMIENTOS DE CURADO ACELERADO.	86
6.2.1.	Resultados de la resistencia del concreto endurecido a través del procedimiento de curado acelerado B (Agua hirviendo).....	86
6.2.1.	Resultados de la resistencia del concreto endurecido a través del procedimiento de curado acelerado D (Presión y Alta Temperatura)	95
6.3.	RESULTADOS MECANICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ESTÁNDAR.	103
6.3.1.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.70.....	103
6.3.2.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.65.....	105
6.3.3.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.60.....	106
6.3.4.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.55.....	107
6.3.5.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.50.....	108
6.3.6.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.45.....	109
6.3.7.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.40.....	110
6.3.8.	Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.35.....	111
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL		113
7.1.	ECUACION DE REGRESION	113
7.1.1.	Propósito de una ecuación de regresión.....	114
7.1.2.	Banda de confianza por regresión lineal.	115
7.2.	ECUACION DE REGRESION LINEAL PARA EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ACELERADO “B”	118

7.2.2.	Datos iniciales	118
7.2.3.	Banda de Confidencia por regresión lineal	119
7.2.4.	Gráfico para la estimación de resistencia a edades mayores (procedimiento B).	121
7.3	ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL PARA EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ACELERADO “D”	123
7.3.1.	Datos iniciales	123
7.3.2.	Banda de Confidencia por regresión lineal	124
7.3.3.	Gráfico para la estimación de resistencia a edades mayores (procedimiento D).	126
CAPÍTULO VIII: VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LOS MÉTODOS DE CURADO ACELERADO		128
8.1.	Verificación de la Ecuación de Regresión Lineal del Procedimiento de Curado Acelerado B	128
8.2	Verificación de la Ecuación de Regresión Lineal del Procedimiento de Curado Acelerado D	132
CONCLUSIONES		136
RECOMENDACIONES		138
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA		139
ANEXOS		142

RESUMEN

El proyecto de Tesis para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil que a continuación se presenta se titula “Estudio de los Métodos de Curado Acelerado en Especímenes de Concreto Según NTP 339.213 para las Canteras Romaña y Torreblanca”, el cual, se encuentra enmarcado hacia el desarrollo, obtención e interpretación de los resultados de la predicción de carga axial en probetas de concreto en menos de 28 horas; mediante la comparación de los resultados de carga axial de probetas de concreto sometidos a 2 Procedimientos de Curado Acelerado de la NTP339.213 con los resultados de carga axial de probetas de concreto sometidos al Procedimiento de Curado Estándar de la NTP339.183.

Se ha trabajado con 3 procedimientos de curado, de los cuales 2 de ellos son Procedimientos de Curado Acelerado (contemplados en la NTP339.213), estos serán relacionados mediante una Ecuación de Regresión Lineal con el Procedimiento de Curado Estándar. Para eso, estos procedimientos de curado fueron relacionados mediante un rango discreto de 8 valores de a/c (0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70) que son valores del mercado o de uso cotidiano, obteniéndose un total de 416 probetas de concreto. En todos los casos, se mantuvo constante el uso de las características de los componentes como el cemento y los agregados provenientes de la Cantera Romaña y la Cantera Torreblanca.

Se elaboró 2 equipos de curado acelerado (Procedimiento B y Procedimiento D) cuyas características son contempladas en la NTP339.213. El primer equipo consta de una poza de forma cubica de curado elaborado con fibra de vidrio el cual contiene agua que es calentado por resistencia tubulares a una temperatura de 100°C; esta poza puede acelerar el proceso de endurecimiento de 4 probetas de concreto en 28.5 horas (24 horas después del vaciado y 3.5 horas de curado acelerado). Por otra parte, el segundo equipo consta de 3 recipientes de acero inoxidable que están cubiertos por una resistencia en forma de empaquetadura para que estos sean calentado a una temperatura de 150 °C y al mismo tiempo estos 3 recipientes de acero están sometidos a una presión vertical de 10 MPa mediante una prensa hidráulica; este equipo puede acelerar el proceso de endurecimiento de 3 probetas de concreto en 5.5 horas desde que es vaciado.

Se realizó el procesamiento estadístico de todas las probetas curadas tanto por los procedimientos de curado acelerado (Procedimiento B y Procedimiento D) como por el procedimiento de Curado Estándar; estos datos fueron relacionados mediante Ecuaciones de Regresión Lineal obteniéndose los siguientes resultados: para el procedimiento de curado acelerado B y el curado estándar se ha obtenido $R_{CS} = 1.01 * R_{CA-B} + 128.34 \frac{Kg}{cm^2}$, con un $(R^2_{CA-B} = 0.96)$ y para el procedimiento de curado acelerado D y el curado estándar se ha obtenido $R_{CS} = 1.03 * R_{CA-D} + 111.80 \frac{Kg}{cm^2}$, con un $(R^2_{CA-D} = 0.92)$. Estas ecuaciones proyectan el valor del promedio de Ensayos de Compresión Axial de probetas de concreto que fueron curadas con uno de los procedimientos de curado acelerado, a un rango de valores equivalentes como si hubiera sido curado con el Procedimiento Estándar, con un margen de confiabilidad mínima del 90%.

Se han realizado 2 pruebas aleatorias para cada una de las ecuaciones de regresión lineal con el fin de comprobar la efectividad de las ecuaciones. Se diseñó un concreto con un a/c: 0.58 y otro con un a/c: 0.42. Se elaboró muestras de probetas de concreto tanto para ser curados por los procedimientos elegidos de la NTP339.213 y por el procedimiento de curado estándar. Finalmente, con las consideraciones mencionadas en el Proyecto de Tesis, se demostró que los rangos o conjuntos de valores obtenidos de las ecuaciones de regresión lineal usando los ensayos de compresión axial de las probetas de concreto curadas con los procedimientos de curado acelerado, tienen una eficacia del 100% ya que contienen en su rango o conjunto de valores al valor promedio de cada ensayo de compresión axial de las probetas de concreto que fueron curadas con el procedimiento de curado estándar. Además de una eficiencia de 98.35% para la ecuación de regresión lineal del procedimiento de curado acelerado B con el curado estándar y una eficiencia de 92.23% para la ecuación de regresión lineal del procedimiento de curado acelerado D con el curado estándar; demostrando así la efectividad de las ecuaciones de regresión lineal. La correcta aplicación permitirá reducir los tiempos para la obtención del valor de la Resistencia del Concreto y a su vez, incentivará el estudio de otras combinación de agregados de canteras tanto de uso en pequeña y gran escala; como también la elaboración de otros equipos y tipos de curado acelerado para su diversificación en el campo laboral, por lo que su aplicación sería muy beneficioso en los aspectos técnicos, económicos y académicos.

ABSTRACT

The Thesis project for obtaining the Professional Title of Civil Engineer presented below is entitled "Study of Accelerated Curing Methods in Concrete Specimens According to NTP 339.213 for the Romagna and Torreblanca Quarries", which is aimed at developing, obtaining and interpreting the results of the prediction of axial load in concrete test pieces in less than 28 hours; by comparing the axial loading results of concrete test pieces subjected to 2 Accelerated Curing Procedures of NTP339.213 with the axial loading results of concrete test pieces subjected to the Standard Curing Procedure of NTP339.183.

We have worked with 3 curing procedures, of which 2 of them are Accelerated Curing Procedures (referred to in NTP339.213), these will be related by means of a Linear Regression Equation with the Standard Curing Procedure. For that, these curing procedures were related by means of a discrete range of 8 values of a/c (0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70) that are market values or of daily use, obtaining a total of 416 test pieces of concrete. In all cases, the use of components such as cement and aggregates from the Romagna Quarry and the Torreblanca Quarry remained constant.

Two accelerated curing teams (Procedure B and Procedure D) were developed and their characteristics are referred to in NTP339.213. The first unit consists of a cubic-shaped curing pool made of fiberglass containing water that is heated by tubular resistance at a temperature of 100°C; this pool can accelerate the hardening process of 4 concrete specimens in 28.5 hours (24 hours after emptying and 3.5 hours of accelerated curing). Moreover, the second equipment consists of 3 stainless steel containers that are covered by a resistance in the form of a gasket so that these are heated to a temperature of 150 °C and at the same time these 3 steel containers are subjected to a pressure 10 MPa vertical by means of a hydraulic press; this equipment can speed up the hardening process of 3 concrete test pieces in 5.5 hours since it is emptied.

The statistical processing of all the test pieces cured both by the accelerated curing procedures (Procedure B and Procedure D) and by the Standard Curing procedure was carried out; these data were related by Linear Regression Equations and obtained the following results: for the accelerated curing procedure B and the

standard curing has been obtained $R_{CS} = 1.01 * R_{CA-B} + 128.34 \frac{Kg}{cm^2}$ with a $(R^2_{CA-B} = 0.96)$ and for the accelerated curing procedure D and the standard curing has been obtained $R_{CS} = 1.03 * R_{CA-D} + 111.80 \frac{Kg}{cm^2}$ with a $(R^2_{CA-D} = 0.92)$. These equations project the value of the average Axial Compression Tests of concrete specimens that were cured with one of the accelerated curing procedures, to a range of equivalent values as if it had been cured with the Standard Procedure, with a minimum reliability margin of 90%.

2 random tests have been performed for each of the linear regression equations in order to check the effectiveness of the equations. One concrete was designed with an a/c: 0.58 and another with an a/c: 0.42. Concrete specimen samples were produced both to be cured by the chosen NTP339.213 procedures and by the standard curing procedure. Finally, with the considerations mentioned in the Thesis Project, it was demonstrated that the ranges or sets of values obtained from linear regression equations using the axial compression tests of the concrete specimens cured with accelerated curing procedures, have an efficiency of 100% since they contain in their range or set of values at the average value of each axial compression test of the concrete specimens that were cured with the standard curing procedure. In addition to an efficiency of 98.35% for the linear regression equation of the accelerated curing procedure B with standard curing and an efficiency of 92.23% for the linear regression equation of the accelerated curing procedure D with standard curing; thus demonstrating the effectiveness of linear regression equations. The correct application will reduce the times for obtaining the value of the Concrete Resistance and in turn, will encourage the study of other combination of quarry aggregates for both small and large-scale use; as well as the development of other equipment and types of accelerated curing for diversification in the field of work, so its application would be very beneficial in the technical, economic and academic aspects.

PRÓLOGO

El progreso que está viviendo el país con sus métodos e ideas renovadoras para lograr procesos de construcción en tiempo record, conlleva a explorar nuevos procedimientos e investigar la manera de siempre invertir menos tiempo en un proceso constructivo para satisfacer a una clientela expectante de resultados anticipados.

La búsqueda de soluciones para reducir tiempos de espera para conocer un resultado importante como el diseño de concreto que se va a usar en proyectos civiles, también apoyará e incentivará la búsqueda e investigación de nuevos ingredientes para la realización del diseño del concreto, que es la investigación de agregados, los cuales al saber sus propiedades físicas y químicas nos puede brindar una herramienta adicional para obtener un diseño de concreto óptimo en todo aspecto y cubrir las necesidades requeridas en los proyectos civiles.

La exploración de nuevos métodos de curado para la aceleración de los resultados de esfuerzo del concreto, abre un nuevo campo en lo académico, generando alternativas, ideas y dudas que se puede ser el inicio de una rama de investigación para futuros tesisistas e investigadores.

Por tanto, se ha requerido realizar esta investigación que el autor brinda con la presente tesis.

Dada su gran importancia, la presente investigación va dirigida a los ingenieros, constructores y público en general que deseen actualizar sus conocimientos y renovar su visión hacia nuevas formas de obtener resultados de resistencia de compresión en tiempos cortos para las mejoras anticipadas de resultados en proyectos en nuestro país.

ASESOR

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Abreviatura de los óxidos del cemento.....	31
Tabla N° 2. Compuestos principales del cemento.....	31
Tabla N° 3. Valor típico de los compuestos del cemento Portland Tipo I.	32
Tabla N° 4. Requisitos químicos	32
Tabla N° 5. Requisitos Físicos	33
Tabla N° 6. Clasificación de los agregados por su forma.....	35
Tabla N° 7. Características y Ensayos de los Agregados.	36
Tabla N° 8. Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico.....	37
Tabla N° 9. Tabla 1 – Características de los procedimientos de curado acelerado (NTP 339.213, 2015).	46
Tabla N° 10. Características del procedimiento de curado con agua hirviendo..	48
Tabla N° 11. Dimensiones del tanque de curado acelerado con agua hirviendo para procedimiento B.....	52
Tabla N° 12. Características del procedimiento de curado con agua hirviendo..	58
Tabla N° 13. Dimensiones de la máquina de curado acelerado con alta presión & temperatura del procedimiento D.....	64
Tabla N° 14. Banda de Confidencia al 90% - Procedimiento de Curado Acelerado B.....	121
Tabla N° 15. Banda de Confidencia al 90% - Procedimiento de Curado Acelerado D.....	126
Tabla N° 16. Ubicación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado B.....	130
Tabla N° 17. Ampliación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado B.....	131
Tabla N° 18. Ubicación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado D.....	134
Tabla 19. Ampliación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado D.....	135
Tabla N° 20. Necesidad aproximada de mezcla de agua y contenido de aire para diferentes valores de asentamientos y Máximo Tamaños Nominales de agregados.....	142
Tabla N° 21. Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado.....	143

Tabla N° 22. Relaciones entre el agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto.	144
Tabla N° 23. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	144
Tabla N° 24. Valores F de la Distribución F de Fisher al 90% (1° Parte).....	145
Tabla N° 25. Valores F de la Distribución F de Fisher al 90% (2° Parte).....	146

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración N° 1. Evolución del calor en función del tiempo para pasta de cemento en condiciones normales de curado.....	42
Ilustración N° 2. Diseño sugerido en la norma para el tanque de curado acelerado con agua hirviendo para el procedimiento B.....	52
Ilustración N° 3. Diseño sugerido para la máquina de curado acelerado mediante la alta presión & temperatura del procedimiento D.....	63
Ilustración N° 4. Ubicación de la Cantera Torreblanca.....	70
Ilustración N° 5. Ubicación de la Cantera Romaña.	70

LISTA DE IMÁGENES

Imagen N° 1. Vista interna de la caja de control.	49
Imagen N° 2. Tablero Eléctrico Simple.	49
Imagen N° 3. Vista del tablero eléctrico en funcionamiento.	49
Imagen N° 4. Termocupla tubular de 5000 Watts.	50
Imagen N° 5. Soporte de probetas para la extracción segura de las mismas a 100 °C.	50
Imagen N° 6. Sistema para el decantado del vapor de agua.	49
Imagen N° 7. Vista interna de la poza de curado con las probetas de curado encima del soporte.	50
Imagen N° 8. Pirómetro mecánico de 400°C.....	50
Imagen N° 9. Vista total del aparato de curado acelerado con Agua Hervida. ...	51
Imagen N° 10. Vista del curado al finalizar el procedimiento de curado acelerado.	51
Imagen N° 11. Vista del tanque de curado acelerado para el procedimiento B.	53
Imagen N° 12. Vista interna del tanque de curado con las características mínimas para su desarrollo.....	53
Imagen N° 13. Probetas de concreto desmoldadas después de 23 horas.	54
Imagen N° 14. Tanque de curado a punto de comenzar su calentamiento.	54
Imagen N° 15. Las probetas deben estar como mínimo 5 cm sumergidos desde la parte superior.....	55
Imagen N° 16. Probeta de concreto de 15 cm x 30 cm después del ensayo de compresión axial.....	56
Imagen N° 17. Prensa hidráulica	59
Imagen N° 18. Contactor de 32 A.	59
Imagen N° 19. Pirómetros y Cableado de la Termocupla.....	60
Imagen N° 20. Termocupla Tipo J.	60
Imagen N° 21. Tablero de Control Eléctrico.....	59
Imagen N° 22. Vista interna del Tablero Eléctrico.....	59
Imagen N° 23. Tablero Eléctrico en funcionamiento.	60
Imagen N° 24. Envase de acero inoxidable con recubrimiento de fibra de vidrio.	60
Imagen N° 25. Tapas de Acero inoxidable.....	61
Imagen N° 26. Vista interna del molde de acero.	61

Imagen N° 27. Junta Tórica de Modelo Comercial.....	62
Imagen N° 28. Vista de la Junta Tórica.....	61
Imagen N° 29. Junta tórica.	62
Imagen N° 30. Vista del Procedimiento de Curado acelerado de Alta Temperatura y Presión.	62
Imagen N° 31. Desmoldamiento de las probetas de concreto.....	63
Imagen N° 32. Vista del manómetro en la máquina de Alta temperatura & Presión.	65
Imagen N° 33. Embaces que contendrán y mantendrán las probetas de concreto en las condiciones requeridas.....	65
Imagen N° 34. Tablero de control electrónico para el procedimiento D de Curado Acelerado.	65
Imagen N° 35. Fotografía superior del vaciado del concreto en los moldes de acero para el procedimiento D.....	66
Imagen N° 36. Probetas del procedimiento D que han sido capeados para el ensayo.....	68
Imagen N° 37. Fotografía de probetas 7.5 cm x 15.0 cm después de sus ensayos de compresión axial.....	68
Imagen N° 38. Probetas de comprobación de procedimiento de curado B.	129
Imagen N° 39. Probetas de comprobación de procedimiento de curado D.	133

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLO

%	: Porcentaje.
°C	: Grados Celsius.
“	: Pulgadas.
+/-	: Más o Menos
σ	: Desviación estándar.
Σ	: Suma.

SIGLAS

RH	: Porcentaje de Humedad Relativa
a	: Valor de la pendiente de la Ecuación de Regresión
a/c	: Relación Agua - Cemento
ACI	: American Concrete Institute
Ar.	: Área
ASOCRETO	: Asociación Colombiana de Productores de Concreto
ASTM	: American Society for Testing and Materials
b	: Valor Independiente de la Ecuación de Regresión
cm	: centímetros
CV	: Coeficiente de Variación
ϵ	: Perteneciente a
F	: F de Fisher
f'c	: Esfuerzo Máximo de Compresión
Kg	: Kilogramos
Kg/cm ³	: Kilogramos por centímetros cúbicos
Kg/l	: Kilogramos por litro
Kg/m ³	: Kilogramos por metros cúbicos
Max.	: Máximo
Min.	: Mínimo
mm	: Milímetros
MPa	: Mega Pascales

m ²	: Metros Cuadrados
n	: Cantidad de valores
MF	: Modulo de Finura
NTP	: Norma Técnica Peruana
PCA	: Portland Cement Association
ppm	: Partes por Millón
PE	: Peso Específico
PUC	: Peso Unitario Compactado
PUS	: Peso Unitario Seco
R ²	: Representatividad
Sgnf	: Significancia
Sxx	: Sumatoria del cuadrado de Xi
Sxy	: Sumatoria del Producto de valores de Xi e Yi
Syy	: Sumatoria del cuadrado de Yi
TMN	: Tamaño Máximo Nominal
Tn/m ³	: Toneladas por metro cubico
UNI	: Universidad Nacional de Ingeniería
Wi	: Ancho de Banda inferior o superior
X	: Promedio de Valores de Curado Acelerado
Xi	: Valor de Curado Acelerado
Y	: Promedio de Valores de Curado Estándar
Yi	: Valor de Curado Estándar

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En este proyecto de Tesis titulado “Estudio de los Métodos de Curado Acelerado en Especímenes de Concreto según NTP339.213 para las Canteras Romaña y Torreblanca”, cuya propuesta pertenece al Departamento Académico de Construcción (DAC) dentro del área de Tecnología de los Materiales.

El equipo de trabajo está conformado por el Bach. Kevin F. Ramos Estrada, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil, el cual ha sido asesorado por el Mg. Carlos A. Villegas Martínez.

Los ensayos del proyecto han sido ejecutados en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzales de la Cotera”, en la Universidad Nacional de Ingeniería.

1.2. PROBLEMÁTICA

La necesidad de obtener los resultados de diseño de mezcla y resistencia a la compresión de especímenes de concreto lo más rápido y confiable posible requiere de métodos normalizados para su validación, la realidad es que, según la NTP 339.183, es necesario esperar 28 días para que el ensayo de compresión axial de una tanda de probetas de concreto pueda ser validado. Esto genera que los involucrados tengan que esperar casi un mes para conocer los resultados a compresión axial de los especímenes de concreto de alguna estructura de concreto que ha sido vaciado en campo o en el desarrollo de diseño de mezcla en el laboratorio de Ensayo de Materiales.

A todo ello se suma que, a nivel nacional no se cuenta con una variedad o alternativas de solución para tratar de reducir el tiempo de curado de probetas de concreto en laboratorios y mucho menos en campo. Las alternativas más comúnmente utilizadas en el Perú es la inmersión en agua de probetas por 28 días (NTP 339.183) y recientemente el curado acelerado a temperatura controlada.

Finalmente; la falta de investigación sobre los agregados de las nuevas canteras que se utilizan en Lima Metropolitana es una desventaja en la construcción de obras civiles desde la pequeña hasta de gran envergadura. Por lo que,

aprovechando las ventajas que ofrecen la NTP 339.213 se podrá obtener al mismo tiempo información de estas y así tener una fuente documentada de las características y propiedades que puedan servir de ventaja para los nuevos diseños de concreto que en los laboratorios y en obras civiles se puedan realizar.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el ámbito del sector de la construcción, a pesar de sus avances tecnológicos, competitividad e investigación, se sigue buscando la forma de hacer cualquier proceso constructivo lo más rápido posible y así obtener los resultados con la misma calidad y eficiencia, y más aún, con el menor costo posible. Por el contrario, eso no sucede en el desarrollo de métodos de curado acelerado de probetas de concreto para predecir la resistencia del concreto en menos de 2 días; Quizás, por la falta de interés de los profesionales involucrados o el miedo de implementar metodologías vanguardistas con respecto a estos temas.

A nivel internacional, se está avanzando mucho en estudios con respecto a la curación acelerada de probetas de concreto en incluso en el desarrollo de equipos que realizan automáticamente estos procedimientos de curado. Estos son desarrollados bajo la Norma ASTM C684 y NTP 339.213, en el cual dice que existen procedimientos que ayudan a obtener, con una confiabilidad del 90%, los mismos resultados que en un curado de concreto por un método tradicional siguiendo la ASTM C192 y la NTP 339.183. Pero a pesar de eso, los países involucrados en su desarrollo son contados, por mencionar algunos como Iraq, Turquía, Japón y La india. Todos estos países han aportado sus observaciones y publicaciones, en ayuda a la actualización en la metodología de las diferentes formas de realizar el curado acelerado, cuyos aportes serán mencionados más adelante.

Por estas razones, es necesario desarrollar un estudio de análisis comparativo de los métodos de curado acelerado para los agregados de las canteras más importantes que abastecen a todos los distritos de Lima metropolitana, ayudaría a saber qué procedimientos de curado acelerado es el más adecuado para el agregado de una cantera de arena y para el agregado de una cantera de piedra, comparándolo según su porcentaje de confiabilidad y el tiempo de desarrollo del curado acelerado. Esto ayudaría a disminuir los tiempos del servicio de desarrollo de diseño de mezcla en laboratorios reduciendo los días de trabajo; por otra parte,

con el equipo adecuado se podría desarrollar diseños de mezclas en campo si aprovecha los resultados obtenidos de los agregados de las canteras usadas en este proyecto de tesis.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Estudiar las comparaciones de los métodos de curado acelerados B y D basado en la NTP 339.213 con el curado estándar, usando los agregados de las canteras Romaña y Torreblanca, con el fin de averiguar cuál es el procedimiento de curado acelerado más adecuado para predecir la resistencia del concreto.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Aplicar los procedimientos de curado acelerado de la NTP 339.213 en conjunto con las propiedades físicas particulares de los agregados de las canteras Romaña y Torreblanca.
- Elaborar equipos de curado acelerado respetando las medidas y especificaciones requeridas según la NTP 339.213 para su correcta aplicación en el curado acelerado de especímenes de concreto.
- Determinar y evaluar el espacio muestral mediante "Regresión Lineal" e "Intervalos de confianza" con los resultados de ensayos de compresión axial dentro de los parámetros permitidos por la NTP339.213 y la NTP339.034.
- Aplicar los resultados provenientes de las ecuaciones de regresión lineal de los procedimientos de curado acelerado B y D con el procedimiento de curado estándar, para su evaluación con pruebas aleatorias para simular casos reales.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis General

Los resultados favorables, de comparar los procedimientos de los curados B (agua hirviendo) y D (Calor Externo y Presión) de la NTP 339.213 con el curado estándar, desarrollará ecuaciones de regresión lineal con una alta confiabilidad de predicción y con ello, se podrá predecir la resistencia de compresión axial en especímenes de concreto.

1.5.2. Hipótesis Especifica

- La viabilidad al comparar los resultados de los procedimientos de los curados acelerados con el procedimiento de curado estándar, considerando las propiedades particulares de los agregados, se podrá obtener valores de resistencia de probetas de concreto en menos de 29 horas (Procedimiento B) y de 6 horas (Procedimiento D), con una confiabilidad mínima del 90% y así tener una alternativa además del curado estándar que aún se usa.

CAPÍTULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

A continuación se brindará un resumen de los materiales usados para el proyecto que brindará la materia prima para el desarrollo del estudio del curado acelerado en especímenes de concreto. En esta ocasión se va a informar sobre el concreto, sus características, ensayos y virtudes. Por otra parte, también se va a presentar los temas de los agregados, el cemento y el agua; que son los componentes primordiales para la creación del concreto, que finalmente va a ser sometido al curado acelerado y de esta manera, poder hacer los análisis respectivos para la obtención de las ecuaciones de correlación necesarias para los fines de este proyecto de tesis.

2.1. FUNDAMENTO TEORICO DEL CONCRETO

De acuerdo al (NTP 339.047, 2016) tenemos:

Que el concreto es una mezcla de material aglomerante (conglomerante) y agregados fino y grueso. En el concreto normal, comúnmente se usan como medio aglomerante, el cemento Portland y el agua, pero también pueden contener puzolanas, escorias y/o aditivos químicos.

El concreto también se puede definir como la mezcla de una material aglutinante (Normalmente cemento Portland) unos materiales de relleno (Agregado), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

El concreto, se produce a partir de un diseño de mezcla que consiste en la selección de los constituyentes disponibles (cementos, agregados, agua y aditivos) y su dosificación en cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, una masa volumétrica con el grado requerido de manejabilidad, que al endurecer a la velocidad apropiada adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen y apariencia adecuadas.

La propiedad a la que con mayor frecuencia se hace referencia es la resistencia a la compresión, debido a que es muy fácil de evaluar y en la mayoría de los casos es suficiente para garantizar un buen comportamiento estructural. Sin embargo,

no hay que olvidar que existen otras propiedades que deben ser controladas para mejorar la eficiencia de los procesos constructivos y aumentar su vida útil.

Las propiedades requeridas del concreto fresco están gobernadas por el tipo de construcción, las condiciones climáticas de la zona, por la técnica de colocación y del transporte; por su parte, las propiedades del concreto endurecido están especificadas por el diseñador de la estructura. En general, cada tipo de construcción tiene requerimientos particulares que dependen de las condiciones climáticas, del sistema constructivo, del tiempo y de los costos de ejecución.

El concreto se elabora con diversos grados de manejabilidad, velocidad de fragua, durabilidad, masa unitaria, estabilidad de volumen, apariencia y las propiedades adecuadas en estado endurecido como la resistencia.

La clasificación en diferentes tipos, usualmente se hace considerando la variación en las propiedades y características del concreto en los diferentes estados, razón por la cual es importante conocer cada uno de ellas, así como también las medidas de control que se deben efectuar para garantizar su calidad.

2.1.1. Las ventajas y limitaciones en el uso del concreto

El concreto como cualquier material tiene ventajas y desventajas en el ámbito laboral para su uso. Por ende, ahora se muestra de manera general estas características.

a) Ventajas:

- Es fácil su elaboración, lo que ayuda a que sea fabricado in situ. EL concreto se puede elaborar utilizando materiales y mano de obra de la zona.
- La resistencia térmica moderada del concreto puede soportar moderadamente bien la exposición al fuego, lo que da más seguridad a las estructuras cuando son sometidas a un incendio.
- El acero de construcción tiene un coeficiente de dilatación cercano al del concreto. Esto es importante porque pueden trabajar en conjunto y evitar así la aparición de fisuras.
- Facilidad para ser moldeado, esto ayuda a obtener cualquier forma estructural o arquitectónica concebida, es un material altamente versátil, si se sabe aprovechar cuando está en su estado plástico.

- Es económico fabricarlo, además la composición del concreto es en base mayormente a agregados y solo aproximadamente un 15% es pasta de cemento, estos factores tienen un impacto positivo en el precio del concreto.
- Es un material que está constantemente investigado y las nuevas tecnologías aplicables al concreto.
- El concreto provee en las edificaciones inercia térmica que mantienen el clima interior fresco en el verano y el calor durante el invierno, lo cual es de gran ayuda para ahorrar en el sistema de calefacción y del aire acondicionado.
- Es un material que se podría considerar multiuso que permite usarlo en distintos tipos de proyectos de edificación, tuberías, carreteras, represas, túneles y en puentes.

b) Limitaciones

- La resistencia a la tracción del concreto es muy baja, a tal punto que es despreciada para cuestiones de diseño.
- La contracción y retracción en el paso de estado plástico a sólido, lo cual se puede evidenciar en la fisuración del concreto al no utilizar adecuados procesos constructivos durante la construcción de bruñas y juntas.
- El creep se genera cuando el concreto está bajo una carga sostenida por un tiempo prolongado, lo que se traduce en una deformación no deseada.
- El concreto es un material sensible a los ataques químicos como los sulfatos, el cual se genera cuando los productos de la hidratación como los sulfoaluminatos se combinan con sulfatos presentes en el ambiente. 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 .
- Residuos de la producción como CO_2 , 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.

2.1.2. Concreto en Estado Fresco

Las propiedades en estado fresco del concreto deben permitir que se llenen adecuadamente el encofrado y los espacios alrededor del acero de refuerzo o armadura, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

Es claro que las propiedades del concreto en el sitio no pueden ser obtenidas directamente en su estado fresco, puesto que las características de los elementos estructurales se ven afectadas por las prácticas en obra. Sin embargo, el control de calidad en este momento es la única herramienta para tomar decisiones rápidas durante su colocación.

Las principales propiedades del concreto en estado fresco, que debemos tener en cuenta durante la elaboración de la mezcla para crear el concreto, son:

a) Trabajabilidad

Es aquella que determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre este el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada. En otras palabras, es la capacidad que él tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna.

b) Segregación

Un aspecto importante de la trabajabilidad y que generalmente se considera como otra propiedad es la inclinación a la segregación, definida como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto colocado, esto por su falta cohesividad, con lo cual su distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo. Esto conduce a que la no segregación sea una condición implícita del concreto para mantener una trabajabilidad adecuada.

c) Exudación

Es una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién

colocado. Esto obedece a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación del concreto está influenciada por las proporciones de la mezcla y las características de los materiales, el contenido de aire, el uso de aditivos convencionales o minerales y particularmente por la angularidad y gradación del agregado fino.

d) Contenido de aire

Este elemento está presente en todos los tipos de concreto, localizado en los poros no saturables de los agregados y formado burbujas entre los componentes del concreto, bien sea porque es atrapado durante el mezclado o al ser intencionalmente incorporado por medio del uso de agentes inclusores, tales como cementos o aditivos incorporadores de aire.

e) Contenido de agua y de cemento

El contenido de agua es un factor determinante para el desempeño del concreto. Cuando se presenta variación en las propiedades en estado fresco de un vaciado a otro, es probable que se deba a un cambio en el contenido de agua de la mezcla, lo cual originaría un efecto desfavorable en las propiedades del concreto endurecido. Para determinar si las variaciones de las propiedades son debidas a cambios en el contenido de agua es importante asegurar que la cantidad real de agua es las estipuladas en el diseño.

f) Tiempo de Fragua:

Al considera el cambio de estado plástico al endurecido del concreto, de acuerdo con la regulación de los tiempos de mezclado, transporte, colocación y compactación, se encuentra que hay que ajustar los tiempo a los interese particulares de las personas que trabajan con este material.

2.1.3. Concreto en estado endurecido

El concreto endurecido es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, dependiendo de las propiedades tanto físicas, químicas, mecánicas de sus componentes y de la interacción de cada uno de ellos. Dentro de las muchas características que posee el concreto se puede mencionar: la masa unitaria, las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, acústicas, su apariencia, etc.

En general, las propiedades mecánicas del concreto están gobernadas por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y la interface pasta-agregado, las cuales a su vez son modificadas por los procesos de colocación y condiciones de curado. Para este caso, los siguientes puntos serán cuidadosamente observados durante el ensayo de los especímenes de concreto tanto con el curado estándar y los especímenes de concreto curados con el procedimiento B (curado con agua hervida) y el procedimiento D (curado con alta temperatura y presión).

a) Calor de Hidratación

De acuerdo a la (NTP 334.001, 2001) tenemos.

Que, el calor de hidratación es la cantidad de calor producido durante los procesos de fraguado y endurecimiento del cemento debido a las reacciones fisicoquímicas.

El calor de hidratación también se define como la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada. Depende de la composición del cemento y es aproximadamente igual a la suma de los calores de hidratación de los compuestos individuales.

Durante el proceso de hidratación se efectúan reacciones químicas exotérmicas, es decir, reacciones que liberan calor, haciendo que los concretos aumenten su temperatura al fraguar y endurecer. Este incremento es importante cuando se elaboran estructuras que involucran grandes volúmenes de concreto, tales como presas, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso de la temperatura, se origina contracciones de material, que puede conducir a la formación de grietas y fisuras.

Sus respectivos ensayos están en la (NTP 339.064, 2009) y en la (ASTM C186, 1998).

b) Desarrollo de resistencia del concreto

Es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se pueda considerar de cuatro maneras: compresión, tracción, flexión y corte. El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los de tracción, razón por la cual, la resistencia a la compresión simple es la propiedad a la que se le da mayor importancia.

Naturaleza de la resistencia del concreto.

Por su naturaleza, el concreto es una masa endurecida y heterogénea cuya resistencia depende únicamente de los siguientes factores:

- Resistencia de la pasta endurecida
- La resistencia propia de las partículas del agregado
- La adherencia entre la pasta y los agregados.

En cuanto a la resistencia de la pasta hidratada, se conoce que el cemento al contacto con el agua se hidrata y forma una masa semicristalina discontinua llamada "gel", que con el transcurso del tiempo adquiere resistencia, la cual será mayor a medida que se incrementa el grado de hidratación.

En lo que se refiere a la resistencia de las partículas del agregado, esta es función de sus propiedades, las cuales están bien definidas y son independientes del tiempo. Generalmente los agregados son más resistentes que la pasta, excepto en el caso de agregados livianos (ligeros) o concretos de alta resistencia.

La adherencia entre la pasta de cemento y los agregados se debe a que durante el proceso fraguado y endurecimiento, se genera una superficie de cohesión producida por la trabazón entre los agregados y la pasta. La interacción entre los dos elementos, además de variar con el tiempo, algunas veces lo hace también con la composición mineral de los materiales, en cuya acción se presentan fenómenos tanto físicos como químicos. La zona de contacto, llamada interfase "agregados-matriz", es la fase más importante del concreto que establece el enlace crítico y normalmente se constituye en el elemento más débil de la masa endurecida.

Factores que inciden en la resistencia.

- *Relación Agua-Cemento*
- *Contenido y tipo de cemento*
- *Características de los agregados o áridos*
- *Tipo y dosificación de aditivos*
- *Fraguado del concreto*
- *Edad del concreto*

2.2. FUNDAMENTO TEORICO DEL CEMENTO.

De acuerdo a la (NTP 339.047, 2016) tenemos que:

Es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda.

Según bibliografía disponible, los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos se fraguan y se endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular, la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto.

La hidratación empieza así que el cemento entra contacto con el agua. En la superficie de cada partícula de cemento se forma una camada fibrosa que gradualmente se propaga hasta que se enlace con la camada fibrosa de otra partícula de cemento o se adhiere a la substancias adyacente. El crecimiento de las fibras resulta en rigidización, endurecimiento y desarrollo progresivo de resistencia. La rigidización del concreto puede reconocerse por la pérdida de trabajabilidad, la cual normalmente ocurre después de 3 horas, pero eso depende de muchos factores más y finalmente la hidratación continua desde que existan condiciones favorables de temperatura y humedad (curado) y espacio disponible para la formación de los productos de hidratación.

Actualmente en diversas partes del mundo, se fabrican diferentes tipos de cemento portland para satisfacer a varios requisitos físicos y químicos para aplicaciones específicas, estas se producen según las especificaciones ASTM C 150.

La ASTM C 150, Especificaciones de Norma para el Cemento Portland, designa ocho tipos de cementos, usando los números romanos, como sigue:

- Tipo I Normal
- Tipo IA Normal con aire incluido
- Tipo II Moderada resistencia a los sulfatos
- Tipo IIA Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
- Tipo III Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
- Tipo IIIA Alta resistencia inicial con aire incorporado
- Tipo IV Bajo calor de hidratación
- Tipo V Alta resistencia a los sulfatos

Para esta oportunidad, el trabajo va a tener en cuenta el uso del Cemento Portland Tipo I para los fines establecidos en este proyecto (PCA, 2004).

2.2.1. Cemento Portland tipo I

De acuerdo a la (NTP 334.009, 2005) tenemos.

Que, el cemento Tipo I es para uso general que no requiere propiedades especiales de cualquier otro tipo.

El cemento tipo I es un cemento, como ya se mencionó, es para uso general, apropiado para todos los usos donde las propiedades especiales de otro cementos no sean necesarias. Sus empleos en concreto incluyen pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tanques, embalses, tuberías, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado y precolado (PCA, 2004).

2.2.2. Propiedades del cemento

En las bibliografías consultadas se encontró que las propiedades del cemento, permite conocer algunos aspectos de su bondad como material cementante. Estas propiedades son de carácter químico, físico y mecánico y dependen del estado en el cual se encuentren.

a) *Compuesto químicos:*

El proceso de clinkerización del cemento involucra la transformación de las materias primas a productos más complejos, por medio de reacciones en estado sólido. Razón por la cual, la química del cemento frecuentemente emplea un modelo basado en abreviaturas para las fórmulas químicas de óxidos más frecuentes, tal como se ilustra en la Tabla N° 1. Los cuatro compuestos principales del cemento se forman a partir de estos óxidos, son los que se enumeran en la Tabla N° 2.

Tabla N° 1. Abreviatura de los óxidos del cemento.

FORMULA	NOMBRE	ABREVIATURA
CaO	Óxidos de Calcio "Cal"	A
SiO_2	Dióxido de Sílice "Silicato"	S
Al_2O_3	Óxido de Aluminio "Aluminato"	A
Fe_2O_3	Óxido de hierro "Hierro"	F

Fuente: ASOCRETO (3° ed.), Tabla 3.3

Tabla N° 2. Compuestos principales del cemento.

NOMBRE	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	C_3S
Silicato didálcico	C_2S
Aluminato tricálcico	C_3A
Ferroaluminato tetracálcico	C_4AF

Fuente: ASOCRETO (3° ed.), Tabla 3.4

Finalmente, las cantidades efectivas de los diferentes tipos de compuestos varían considerablemente de un cemento a otro y realmente es posible obtener distintas clases de él. Agregando en forma proporcional los materiales correspondientes. En la Tabla N° 3, se mostrará el valor típico de la composición del Cemento Portland Tipo I.

Tabla N° 3. Valor típico de los compuestos del cemento Portland Tipo I.

CEMENTO	COMPOSICIÓN QUÍMICA EN %			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Portland Tipo I	48	27	12	8

Fuente: ASOCRETO (3° ed.), Tabla 3.5

Según la (NTP 334.009, 2005), Para determinar las propiedades químicas del cemento Portland Tipo I, se utilizarán los siguientes métodos de ensayos, según las normas Técnicas Peruanas que se indicarán.

- Falso fraguado: NTP 334.052
- Calor de hidratación: NTP 334.064
- Resistencia a los sulfatos: NTP 334.065
- Análisis Químico: NTP 334.086
- Expansión de barras de morteros de cementos Portland curado en:
NTP 334.093
- SO_3 Optimo: NTP 334.075

b) Requisitos Químicos

Tabla N° 4. Requisitos químicos

COMPOSICIÓN QUÍMICA	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	CEMENTO TIPO I
Oxido de Magnesio, (MgO), %, máx.	334.086	6.0
Trióxido de Azufre, (SO_3), %, máx.		3.0
- Cuando (C_3A) < 8%		
- Cuando (C_3A) > 8%		3.5
Pérdida por Ignición, %, máx.		3.0
Resido Insoluble, %, mín.		0.75

Fuente: NTP 334.009 (3° Ed.), Tabla 1 – Requisitos químicos.

c) *Requisitos Físicos*Tabla N° 5. *Requisitos Físicos*

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAYO APLICABLE	CEMENTO TIPO I
Contenido de aire del mortero, % volumen, Máx. Mín.	NTP 334.048	12 -
Finura, Superficie Especifica, (m^2/Kg) - Ensayo de Turbídmetro, mín. - Ensayo de Permeabilidad, mín.	NTP 334.072 NTP 334.002	160 280
Expansión en Autoclave, %, máx.	NTP 334.004	0.8
Resistencia, no menor que los valores mostrados para las edades indicadas a continuación, Resistencia a la Compresión, MPa - 1 día - 3 días - 7 días - 28 días	NTP 334.051	- 12.0 19.0 -
Ensayo de Gillmore (minutos) - Fraguado Inicial: No menor que, mín. - Fraguado Final: No mayor que, mín.	NTP 334.056	60 600
Ensayo de Vicat (minutos) - Tiempo de fraguado: No menor que, mín. - Tiempo de fraguado: No mayor que, mín.	NTP 334.006	45 375

Fuente: NTP 334.009 (3° Ed.), Tabla 3 – *Requisitos físicos.*

2.3. FUNDAMENTO TEÓRICO DE LOS AGREGADOS.

Según (NTP 400.011, 2012) define a los agregados como:

Un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre límites fijados por la Norma Técnica Peruana (NTP) antes mencionada. Se les llama también áridos.

En términos generales, son el mayor constituyente del concreto, generalmente componen más del 70 por ciento del material en un metro cubico de concreto y son los que hacen que este sea un material económico de construcción.

Los agregados son materiales inertes que poseen una resistencia propia suficiente, que no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento y que garantizan una adherencia con la pasta de cemento endurecida. Estos materiales pueden ser naturales o artificiales, dependiendo de su origen.

La razón principal para utilizar agregados dentro del concreto, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, proporcionan parte de la resistencia a la compresión.

Cuando la mezcla de concreto para el estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado del concreto, los agregados, tanto agregado grueso como agregado fino, controlan los cambios volumétricos de la pasta evitando que se generen agrietamiento por retracción plástica, los cuales pueden afectar la resistencia del concreto.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Como ya se ha mencionado antes, el agregado fino y el agregado grueso ocupan del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.

Según la (NTP 400.011, 2012), los agregados pueden ser clasificados, por su forma como se muestra en la Tabla N° 6.

Tabla N° 6. Clasificación de los agregados por su forma.

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS
Redondeado	Completamente desgastada por agua o fricción	Grava de río o playa: arena del desierto, de la playa o del viento.
Irregular	Naturalmente irregular o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos.	Otras gravas, pedernal de tierra o excavado.
Laminar	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones	Roca laminada
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas	Rocas trituradas de todos tipos, escoria triturada.
Alargada	Material angular en que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.	_____

Fuente: NTP 400.011 (2° Edición), Capítulo 5.4 - Por la Forma.

2.3.1. Agregados Finos

Según la (NTP 400.011, 2012) define que:

Los agregados finos son agregados artificiales de rocas o piedras provenientes de la disgregación natural o artificial, que pasas por el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8 pulgadas) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada (partida, machacada, pedrejón arena de trituración) con la mayoría de sus partículas menores que 5mm.

2.3.2. Agregados Gruesos

Según la NTP 400.011 (2008), se define que:

Los agregados gruesos son agregados retenido en la tamiz normalizada 4.75 mm (N° 4) que cumple los límites establecidos en la NTP 400.037, proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca. Además, Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantes mayores que 5mm y generalmente entre 9.5mm y 37.5mm.

2.3.3. Características de los agregados

Las características más importantes de los agregados para el concreto se presentan en la Tabla N° 7. Para este trabajo solo nos enfocaremos en los ensayos realizados en el laboratorio para nuestros fines.

Tabla N° 7. Características y Ensayos de los Agregados.

CARACTERÍSTICA	IMPORTANCIA	REQUISITOS	NORMA
Densidad suelta (peso volumétrico, densidad a granel, masa unitaria)	Cálculos del diseño de la mezcla, clasificación	Peso compactado y peso suelto	NTP 400.017
Granulometría	Trabajabilidad del concreto fresco y economía.	Porcentaje mínimo y máximo que pasan por lo tamices estándar.	NTP 400.012 NTP 400.018
Absorción y humedad superficial	Control de la calidad del concreto (relación agua – cemento).	-	NTP 339.185 NTP 400.021 NTP 400.022
Densidad relativa (gravedad específica)	Cálculos del diseño de la mezcla.	-	NTP 400.021 NTP 400.022

Fuente: Diseño y control de Mezclas - PCA (1° Ed.), Extracción parcial de la Tabla 5-2. Características y Ensayos de los Agregados.

2.3.4. Principales ensayos físicos para los agregados.

a) Granulometría:

Según la (NTP 400.011, 2012), establece que:

La granulometría es la representación de la distribución de los tamaños que posee el agregado. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados y esto se logra a través del análisis de los tamices.

El tamaño de las partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas, se mostrará esto en Tabla N° 8.

Tabla N° 8. Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico

AGREGADOS	TAMICES NORMALIZADOS
FINO	150 μm (N° 100)
	300 μm (N° 50)
	600 μm (N° 30)
	1.18 mm (N° 16)
	2.36 mm (N° 8)
	4.75 mm (N° 4)
GRUESO	9.50 mm (3/8)
	12.5 mm (1/2)
	19.0 mm (3/4)
	25.0 mm (1)
	37.5 mm (1 1/2)
	50.0 mm (2)
	63.0 mm (2 1/2)
	75 mm (3)
	90 mm (3 1/2)
	100 mm (4)

Fuente: NTP 400.011 (2° Edición), Tabla 1 – Tamices a utilizar para realizar el análisis granulométrico

- b) Densidad Suelta (Peso volumétrico, Peso Unitario, Masa unitaria, Peso Específico) y Vacíos:

La densidad suelta (peso volumétrico, peso unitario, masa unitaria, peso específico, densidad a granel) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquel ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado.

La densidad suelta aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/cm². La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos entre partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino.

- c) Masa Especifica Relativa (Densidad Relativa, Gravedad Especifica):

La densidad relativa (densidad absoluta, gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de la proporción y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla.

Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas que varían de 2.4 a 2.9, con densidad correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/cm³. Los métodos de ensayo para la determinación de la densidad relativa de los agregados fino y grueso se describen en las normas NTP 400.022.

- d) Absorción y Humedad superficial

La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas NTP 400.022 y NTP 339.185 así el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la revoltura se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida y vacía que pueden o no contener agua.

Los agregados gruesos y finos generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. EL contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquel del agregado fino

2.4. FUNDAMENTO TEÓRICO DEL AGUA.

Teniendo como referencia la ASTM D1129, el agua es un ingrediente fundamental en la elaboración de concreto y mortero debido a que desempeña una función importante en estado fresco y endurecido. Generalmente se hace referencia a su papel en cuanto a la cantidad para proveer una relación agua/cemento acorde con las necesidades de trabajabilidad y resistencia, pero es evidente, que para usarla en el lavado de agregados (áridos), en la preparación de la mezcla o durante el curado del concreto, no solamente su cantidad es importante, sino también su calidad química y física.

El agua como componente del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Al mezclarse con el cemento se produce la pasta, la cual puede ser más o menos fluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte permanece en la estructura rígida de la pasta (agua de hidratación), y el resto es agua evaporable.

2.4.1. Requisitos para la calidad del uso del agua

Según la (NTP 339.088, 2016); el agua de mezcla consistirá de:

- Agua de la tanda (agua pesada o medida en la planta de dosificación)
- Hielo
- Agua adicionada por el operador del camión mezclador
- Humedad libre de los agregados
- Agua introducida con los aditivos cuando esta incrementa la relación agua/materiales cementosos por más de 0.01.

2.4.2. Sales y sólidos disueltos en el agua

Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el ejemplo de fraguado.

Sigue el resumen de los efectos de ciertas impurezas del agua de mezcla sobre la calidad del concreto normal.

- a) Carbonato alcalino y bicarbonato: los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado de diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato puede tanto acelerar como retrasar el fraguado. Estas sales, cuando se encuentran en grandes concentraciones, pueden reducir la resistencia del concreto.
- b) Cloruro: el efecto adverso de los iones de cloruro sobre la corrosión de la armadura es la principal razón de preocupación con respecto del contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del concreto. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protector que se forma sobre el acero resultante de alta alcalinidad presente en el concreto.
- c) Sulfato: la preocupación a respecto del alto contenido de sulfato en el agua usada para la preparación del concreto se debe a las reacciones expansivas potenciales u al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto será expuesto a suelos o agua con alto contenido de sulfatos.
- d) Otras sales comunes: los carbonatos de calcio y magnesio no son muy solubles en el agua y raramente se encuentran en concentraciones suficientes para afectar la resistencia del concreto. El sulfato de magnesio y el cloruro de magnesio pueden estar presentes en altas concentraciones sin que causen daño sobre la resistencia.

CAPITULO III: MARCO TEÓRICO DEL CURADO ACELERADO

Se proporcionará un breve resumen del curado del concreto como también de los métodos de curado acelerado que se va a presentar, como el que está basado en el uso de agua hervida; y por otra parte, el que está basado en la alta temperatura y presión.

Se iniciará con un tema de importancia en el procedimiento de curado como es el Calor de Hidratación Interna en el Concreto y el Efecto de la Temperatura Elevadas en el Concreto, factores que influyen en el resultado final.

3.1. CALOR DE HIDRATACION EN EL CONCRETO

El calor de hidratación es la reacción química que se genera por la reacción entre el cemento y el agua, tanto en profundidad como cerca de la superficie. La cantidad de calor generado depende, primariamente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A (*Aluminato Tricalcico*) y el C_3S (*Silicato Tricalcico*) los compuestos más importantes para la evolución de calor y estos generan el calor durante su endurecimiento como consecuencia del proceso químico a través del cual el cemento reacciona con el agua para formar una pasta endurecida y estable. Por otra parte, el calor generado durante la hidratación aumenta la temperatura del concreto en mayor o menor grado dependiendo del volumen de concreto colocado, del medio ambiente circundante, de la cantidad de cemento y del tipo de cemento portland empleado.

La relación agua – cemento, finura del cemento y temperatura de curado también son factores que intervienen. Un aumento de la finura, del contenido del cemento y de la temperatura de curado aumenta el calor de hidratación. A pesar que el cemento portland pueda liberar calor por muchos años, la tasa de generación de calor es mayor en las edades tempranas, a su vez esto genera una gran cantidad de calor en los tres primeros días, con la mayor tasa de liberación de calor normalmente ocurriendo a los largo de las primeras 24 horas.

Como se muestra en la Ilustración N° 3 con respecto al Calor de Hidratación, La etapa 1 es el calor de humedecimiento o de la hidrolisis inicial. La etapa 2 es el periodo de incubación 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 y es caracterizada por la formación estable de productos de hidratación, estabilizando la tasa de aumento de resistencia a edades avanzadas. (PCA, 2004)

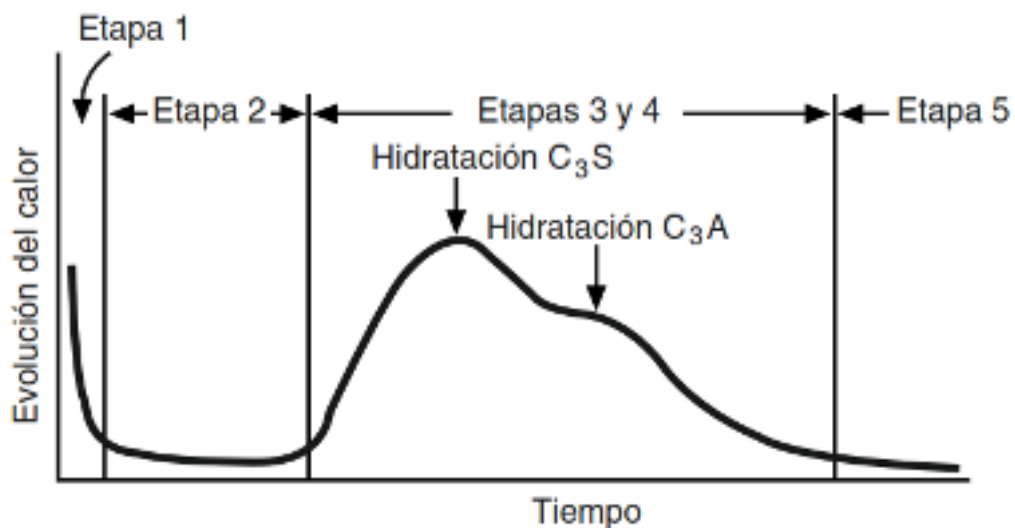


Ilustración N° 1. Evolución del calor en función del tiempo para pasta de cemento en condiciones normales de curado.

Fuente: Fig. 2-45, PCA (2004).

3.2. TEMPERATURAS ELEVADAS EN EL CONCRETO

Una temperatura de curado más elevada proporciona un desarrollo más temprano de la resistencia que una temperatura más baja, pero puede disminuir la resistencia a los 28 días.

Temperaturas más altas que 95° C, cuando se sostienen por varios meses o solamente por algunas horas, pueden afectar considerablemente el concreto. La cantidad total de cambio de volumen, es la suma de los cambios de volumen de la pasta de cemento y de los agregados. A temperaturas elevadas, la pasta se retrae debido a la deshidratación, mientras que los agregados se expanden.

Para el concreto con agregados normales, la expansión del agregado excede la contracción de la pasta, resultando en una expansión del concreto. Algunos agregados, tales como el esquisto (pizarra) expandido, la andesita o la piedra pómez, con coeficientes de expansión bajos, pueden producir un concreto con gran estabilidad de volumen en ambientes de temperaturas altas. Por otro lado,

algunos agregados presentan cambios de volumen grande y repentino en ciertas temperaturas, causando la falla del concreto. Por ejemplo, en un estudio, un agregado de caliza dolomita conteniendo impurezas de sulfuro de hierro causo expansión, agrietamiento y desintegración severos en el concreto expuesto a una temperatura de 150°C por cuatro horas. A temperaturas mayores y menores que 150°C no hubo expansión perjudicial. El coeficiente de expansión térmica tiende a aumentar con el incremento de la temperatura.

Además del cambio de volumen, las altas temperaturas sostenidas pueden también tener otros efectos irreversibles, tales como reducción de la resistencia, del módulo de elasticidad, de la conductividad térmica y aumento de la fluencia. En temperaturas más altas que 100°C, la pasta empieza a deshidratarse (perdida de agua químicamente combinada de la hidratación), resultando en pérdidas considerables de resistencia. La resistencia disminuye con el aumento de la temperatura hasta que el concreto pierde prácticamente toda su resistencia.

Si se usan agregados estables y si, en el diseño de la mezcla, se llevan en consideración la reducción de la resistencia y los efectos sobre otras propiedades, el concreto de alta calidad se puede exponer a temperaturas de 90°C a 200°C por periodos prolongados. Se recomienda siempre hacer pruebas para determinar las propiedades térmicas del concreto, esto evitara cualquier esfuerzo inesperado.

Por otro lado, en investigación más recientes, cuando se trata de realizar el curado con temperaturas elevadas, los resultados de la resistencia de compresión son 6 veces mayores que en un curado con temperaturas que oscilen en los 20°C, esto es debido a que principalmente a la reacción de hidratación rápida, aumentado las velocidades de polimerización del gel C-SH, y un número medio mayor de unidades en el SiO_4 durante el periodo de hidratación inicial que se atribuyen a un curado a temperatura elevada. Pero el estudio también arrojó que la tasa de hidratación más rápida inicial produce una distribución desigual de los productos de hidratación, debido al tiempo insuficiente y el espacio disponible para el producto de hidratación pueda separarse de los granos de cemento y precipitar de manera uniforme en el espacio; además, la alta concentración resultante de los productos fue de manera desigual e impulso a tener mayor porosidad, que al final

afectan adversamente a largo plazo la fuerza de compresión. (FAN, ZHANG, YU, LI, & CROSGROVE, 2017).

3.3. CURADO DEL CONCRETO

El curado del concreto es un procedimiento en la construcción civil o en laboratorios que se toma para mantener las condiciones de humedad y temperatura en una mezcla cementosa recién colocada para ayudar a permitir la hidratación del cemento hidráulico. Una mezcla está debidamente proporcionada y adecuadamente curada cuando las propiedades del concreto en el lugar llegan a igualar o exceden las propiedades de diseño del concreto.

El periodo de curado comienza en la colocación y continúa hasta que se hayan desarrollado las propiedades del concreto deseadas. Los objetivos del curado son evitar la pérdida de humedad del hormigón durante un periodo de tiempo suficiente. El curado adecuado permite que el material cementoso dentro del concreto se hidrate adecuadamente.

El curado tiene una influencia significativa en las propiedades del concreto endurecido, tales como resistencia, permeabilidad, resistencia a la abrasión, estabilidad de volumen, propensión a agrietarse en edades tempranas y resistencia a la congelación y descongelación y a los químicos descongeladores.

La palabra “curado” es también un término que se utiliza en un sentido más general para describir el proceso por el cual el concreto cementante hidráulico madura y desarrolla propiedades endurecidas con el tiempo como resultado de la hidratación continua de los materiales cementosos en presencia de suficiente agua y calor. Si bien todo el concreto se hidrata a distintos niveles de madurez con el tiempo, la velocidad y el alcance de este desarrollo depende del entorno natural que rodea al concreto y de las medidas que se tomen para modificar este entorno limitando la pérdida de agua, calor o ambos, del concreto. Proporcionando externamente humedad y calor.

De acuerdo con (NTP 339.033, 2009), de conseguir un buen proceso de curado según los métodos de la norma antes mencionada, se puede lograr:

- La aceptación de los ensayos para una resistencia especificada.
- La verificación de las proporciones de la mezcla para una resistencia especificada.

- El control de calidad.
- La decisión sobre el momento en que la estructura puede ser puesta en servicio.
- Comparar los resultados con especímenes curados según otros métodos o con otros resultados de otros métodos aplicados en el lugar.
- Evaluar la suficiencia del curado y la protección del concreto en la estructura.
- Determinar el tiempo requerido para remover los encofrados o puntales.

3.3.1. Curado Acelerado del Concreto

El procedimiento de curado Acelerado provee a edades tempranas, una indicación del potencial de resistencia de una mezcla de concreto específica. Este procedimiento también provee información de la variabilidad del proceso de producción para usos de control de calidad.

Las Resistencias tempranas aceleradas obtenidas de cualquiera de los procedimientos de este método de ensayo pueden ser usadas para evaluar las resistencias del concreto en el mismo tiempo convencional de resistencia a los 28d como eran usados en el pasado, con cambios sustanciales en los valores de resistencia esperados. Debido a que la práctica del uso de valores de resistencia obtenidas de cilindros con curado estándar a los 28 días es de prolongada espera, los resultados de ensayos de resistencia acelerados son a menudo usados para estimar resistencias a edades mayores de resistencia acelerados bajo curado estándar. Tales estimaciones son limitadas a concretos que usan los mismos materiales y proporciones de mezcla como aquellos usados para establecer las correlaciones. El Anexo A2, en la NTP339.213, provee un proceso para estimar con un intervalo de confianza del 90% el promedio de resistencias a edades mayores basadas en resultados de ensayos de resistencia aceleradas.

La correlación entre la resistencia acelerada y la resistencia alcanzada a la misma edad prolongada por el uso de un método de curado convencional dependen de los materiales que componen el concreto, la proporciones de mezcla y del procedimiento de ensayo acelerado especificado.

Existen Varios Procedimientos de Curado Acelerado, aquí presentaremos 4 de los principales de curado acelerados que involucra tiempos de curado de 5 a 49 horas,

posteriormente se detallaran 2 de los 4 ensayos de curado acelerados para los fines del proyecto de tesis:

Proceso	Moldes	Fuentes de Aceleración	Temp. De Curado Acelerado °C	Edad de Inicio de Curado	Duración de Curado	Edad de Ensayo
A	Reusable o de Uso Simple	Calor de Hidratación	35	Inmediatamente después vaciado	23.5 h +/- 30 min	24 h +/- 15 min
B	Reusable o de uso Simple	Agua Hirviendo	Hirviendo	23 h +/- 30 min después vaciado	3.5 h +/- 5 min	28.5 h +/- 15 min
C	Simple Uso	Calor de Hidratación	T inicio + Calor de Hidratación	Inmediatamente después vaciado	48 h +/- 15 min	49 h +/- 15 min
D	Reusable	Calor Externo	150	Inmediatamente después vaciado	5 h +/- 5 min	5.25 h +/- 5 min

*Agregar 30 min si se utiliza capa compuesta de azufre.

Tabla N° 9. Tabla 1 – Características de los procedimientos de curado acelerado (NTP 339.213, 2015).

Los especímenes de concreto están expuestos a condiciones de curado acelerado que les permitan desarrollar una porción significativa de su resistencia última dentro un periodo de tiempo en el rango 5h a 49 h, dependiendo del procedimiento usado. En los procedimientos A y B se usan almacenes de especímenes con agua caliente a una temperatura de curado elevada sin pérdida de humedad. La función primaria del agua caliente moderada usada en el procedimiento A es de la de su aislamiento para conservar el calor generado por la hidratación. El nivel de temperatura empleado en el procedimiento B provee aceleración térmica. El procedimiento C involucra el almacenamiento de especímenes en contenedores de curado aislado en el que la temperatura de curado elevada es obtenida del calor de hidratación del cemento. Los contenedores sellados también previenen la pérdida de humedad. El procedimiento D desarrolla una aplicación simultanea de elevada presión y temperatura al concreto usando contenedores especiales. Los procesos de muestreo y ensayos son los mismos como para un curado normal de especímenes (NTP 339.036 y NTP 339.034, respectivamente).

3.4. METODO DE CURADO ACELERADO CON AGUA HIRVIENDO

3.4.1. Fundamentos teóricos del curado acelerado con agua hirviendo

Según la norma (NTP 339.213, 2015) dice que:

La función primaria del agua hirviendo que se va a usar en este procedimiento (Método B) es la de aislar el espécimen para conservar el calor generado por la hidratación y además de proveer de una aceleración térmica.

Es evidente que sería una ventaja de ser capaz de obtener la resistencia a los 28 días a las pocas horas de la colocación del concreto. La resistencia del concreto a las 24 horas es una prueba confiable en este sentido, no solo porque los diferentes cementos mezclados ganan fuerza a tasas variables, sino también porque incluso pequeñas variaciones de temperatura durante las primeras variaciones de la fundición tienen un efecto considerable en la resistencia inicial (NEVILLE, 2011).

En la actualidad en los sectores afines a la construcción, los fines del control de calidad de la probeta de concreto en los ensayos de resistencia a la compresión estándar se basan en mantener el concreto en una poza o tanque, usualmente alrededor de una temperatura 20°C durante 28 días. El punto débil de este método es la necesidad de retrasar los resultados de resistencia a la compresión de las probetas de concreto durante 28 días. Este periodo es demasiado largo en la tecnología del concreto de nuestros días y para eso un procedimiento desarrollado en los años 50 (KING, 1957) propone este procedimiento para los fines antes mencionado; y así, el aumento de la temperatura del concreto da la oportunidad de determinar a edades tempranas un enfoque básico de los métodos de ensayos acelerado (HULUSI OZKUL, 2001).

Ahora debemos considerar lo siguiente, que los resultados de los ensayos muestran que tanto el tipo de cemento y el método de curado acelerado afectan la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia por un método de curado acelerado con agua hirviendo (HULUSI OZKUL, 2001). En la predicción de la resistencia a los 28 días mediante el uso de los resultados de la resistencia de ensayo acelerado, se aplicará un análisis de regresión lineal (WILL, 1975) (CARINO, 1994) y también se debe considerar los efectos de varios factores como, por citar algunos de ellos, por ejemplo: tamaño máximo de los agregados (TOKYAY, 1999) o relación agua/cemento (AL-RAWI, 1978).

Según la norma (NTP 339.213, 2015), las características del curado acelerado con agua hirviendo están anunciadas en la Tabla N° 10:

Tabla N° 10. Características del procedimiento de curado con agua hirviendo.

PROCEDIMIENTO	B
MOLDES	Reusable o uso simple
FUENTES DE ACELERACIÓN	Agua Hirviendo
TEMP. DE CURADO ACELERADO °C	Hirviendo
EDAD DE INICIO DE CURADO	23 h +/- 30 min después del vaciado
DURACIÓN DE CURADO	3.5 h +/- 5 min
EDAD DE ENSAYO	28.5 h +/- 15 min

Fuente: Tabla 1 – Características de los procedimiento de curado acelerado (NTP 339.213, 2015).

3.4.2. Tanque de curado acelerado con agua hirviendo.

Siguiendo con este marco teórico, ahora se abordará los detalles y características de un tanque de curado que con el uso de agua hervida hará posible el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto.

El aparato de curado acelerado que se va a operar para el desarrollo del proyecto de tesis es la que se presenta en la Ilustración N° 2 basado en las características que nos brinda la NTP339.213 y teniendo como base las herramientas usadas en una tesis sustentada recientemente (VARGAS H., 2018). Este aparato consiste en:

Tablero de control: es un gabinete que está conformado por equipos de protección, maniobra, control, comunicación, medición, y finalmente señalización que realiza funciones específicas dentro de un proceso automatizado.

Este tablero está conformado por:

- Llave Diferencial
- Contactos de 32 A
- Llave térmica
- Pirometro controlador
- Termocupla tipo J

Una característica importante es que puede controlar la temperatura y encenderse y apagarse para regular la temperatura de los ensayos.



Imagen N° 1. Vista interna de la caja de control.
Elaboración Propia.

Poza de acero inoxidable: conformado por placas de acero inoxidable que forman un cubo de 80 cm x 80 cm x 80 cm; relleno con fibra de vidrio para el aislamiento térmico, tienen una tapa que hace la función de una tapa de olla de presión, además de un agujero de salida para la decantación del agua vaporada.



Imagen N° 2. Tablero Eléctrico Simple.
Elaboración Propia..



Imagen N° 3. Vista del tablero eléctrico en funcionamiento.
Elaboración Propia.



Imagen N° 6. Sistema para el decantado del vapor de agua.
Elaboración Propia.

Esta poza está conformada por:

- Llave diferencial (1)
- Pirómetro Mecánico (1)
- Resistencia tubulares de 5000W (2)



Imagen N° 4. Termocupla tubular de 5000 Watts.

Elaboración Propia.

- Soporte de Probetas (6)



Imagen N° 5. Soporte de probetas para la extracción segura de las mismas a 100 °C.

Elaboración Propia.



Imagen N° 7. Vista interna de la poza de curado con las probetas de curado encima del soporte.

Elaboración Propia.



Imagen N° 8. Pirómetro mecánico de 400°C.

Elaboración Propia.

Entre otros accesorios que nos ayudarán a realizar los ensayos de curado acelerado con Agua Hirviendo (Procedimiento B)



*Imagen N° 9. Vista total del aparato de curado acelerado con Agua Hervida.
Elaboración Propia.*



*Imagen N° 10. Vista del curado al finalizar el procedimiento de curado acelerado.
Elaboración Propia.*

3.4.3. Funcionamiento del aparato de curado acelerado.

El tanque de curado tiene características similares a la figura que se muestra a continuación en la Ilustración N° 2 que ha estado siendo usada satisfactoriamente y cuyas dimensiones mínimas están en la Tabla N° 11.

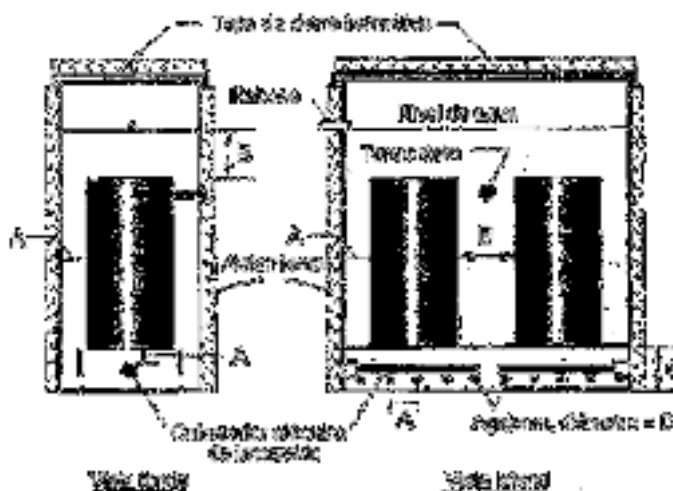


Ilustración N° 2. Diseño sugerido en la norma para el tanque de curado acelerado con agua hirviendo para el procedimiento B.

Fuente: (NTP 339.213, 2015).

Tabla N° 11. Dimensiones del tanque de curado acelerado con agua hirviendo para procedimiento B.

Dimensiones:

A = 50 mm

B = 100 mm

C = 75 mm

D = 16 mm

Fuente: Figura A1.1 (NTP 339.213, 2015).

Según la norma, el tanque de curado apropiado debe asegurar una distribución uniforme de la temperatura interior del tanque sin la necesidad de algún otro aparato interior que lo agite o que haga la misma función. La idea general es que el calor entre en circulación por convección activa.

El tanque deberá contener entre dos o tres especímenes de concreto; además, se puede considerar dos elementos de acople (1500 W y 5000 W) que han sido hallados idóneos para el uso con el procedimiento B. Mientras el pequeño elemento mantiene la temperatura de curada especificada, el mayor es requerido

como un impulsor para reestablecer el hervor dentro del tiempo especificado después que los especímenes han sido sumergidos.

Por último, en el rebose, se necesita de un cierre hermético y que además este aislado en el exterior y evitar la fuga de vapor de agua ya que si esto sucede se perdería agua y ya no cubriría totalmente a los especímenes de concreto.



Imagen N° 11. Vista del tanque de curado acelerado para el procedimiento B.

Elaboración Propia.



Imagen N° 12. Vista interna del tanque de curado con las características mínimas para su desarrollo.

Elaboración Propia.

Las características del tanque es de 0.8m x 0.8m x 0.8m, material de acero inoxidable y 4 ruedas en la parte inferior.

3.4.4. Manual para el curado acelerado para el procedimiento B.

Previamente a estos pasos se ha elaborado y vaciado el concreto en sus embaces correspondientes. Luego se debió almacenar para fraguado en el tiempo que la norma lo especifique.

- 1) Mantener las probetas en sus moldes durante y después de 23 horas; estos moldes no deben ser perturbados por ni un motivo para evitar deformaciones respecto a su horizontalidad y verticalidad y así no tendrá problemas al momento de realizar el ensayo a compresión axial. También deben ser cubiertos para evitar la pérdida de humedad. Consultar y seguir las indicaciones según la norma de elaboración y curado de probetas de concreto (NTP 339.033, 2009).



*Imagen N° 13. Probetas de concreto desmoldadas después de 23 horas.
Elaboración Propia..*

- 2) Precalentar el tanque de curado; para que cuando inicie el procedimiento de curado acelerado con agua hirviendo, el espécimen inicie su curado acelerado con agua ya estando hervida.



*Imagen N° 14. Tanque de curado a punto de comenzar su calentamiento.
Elaboración Propia..*

- 3) Alistar el tanque de curado y revisar los instrumentos de medición; para que cuando inicie el procedimiento y durante el procedimiento no existan interrupciones, ya que una falla, puede arruinar un día de trabajo porque cambia las condiciones de su curado que recomienda la NTP339.213.

- 4) Verificar el agua contenido en el tanque de curado y hacer su mantenimiento respectivo; esto es para seguir el requerimiento de la norma y así evitar contaminaciones en los procesos químicos al momento de proceder el curado del concreto con agua hirviendo.
- 5) Ya estando el tanque de curado acelerado encendido, colocar las probetas de concreto en el tanque con la debida indumentaria o EPP para evitar daños en la piel, verificar las distancias mínimas entre probetas para cumplir con la norma y así permitir el flujo natural del agua. Llenar el tanque con agua hervida hasta el límite requerido para que cubra todos los requerimientos mínimos de recubrimiento.



*Imagen N° 15. Las probetas deben estar como mínimo 5 cm sumergidos desde la parte superior.
Elaboración Propia..*

- 6) Controlar cada 30 min la perdida de agua por la evaporización reponiéndolo externamente con agua hervida; esto se debe a que el mismo proceso de tener el agua hirviendo, este se va a consumir durante las horas que va a estar hirviendo, entonces este líquido (agua) debe ser reincorporado con la misma temperatura (100°C).
- 7) Esperar las 3.5 horas requeridas para completar el procedimiento; siempre debemos estar pendientes de los valores de temperatura y tiempo que los especímenes son expuestos para un correcto curado y evitar alteraciones en los resultados.
- 8) Extraer con cuidado las probetas de concreto con la debida indumentaria o EPP y dejar que enfríen las probetas entre 30 a 45 minutos.
- 9) Capear las probetas debidamente

- 10) Realizar el ensayo a compresión axial, según la norma de compresión axial de probetas de concreto (NTP 339.034, 2008), requerido asegurando la integridad de las muestras y del lugar del ensayo para que no hallan errores en el proceso y así no perder un día de trabajo.



*Imagen N° 16. Probeta de concreto de 15 cm x 30 cm después del ensayo de compresión axial.
Elaboración Propia.*

- 11) Promediar los ensayos de compresión axial con la misma relación a/c y tipo de curado.
- 12) Finalmente, con el uso de la estadística, específicamente de la Ecuación de regresión Lineal, se establecerá una ecuación lineal que pueda establecer una relación entre el curado estándar y el curado con agua hirviendo, con su respectivo margen de error.

§ 5 METODO DE CURADO ACELERADO CON ALTA PRESIÓN & TEMPERATURA

3.5.1. Fundamentos teóricos del curado acelerado con alta presión & Temperatura.

Al igual que el sub-capítulo anterior, es evidente que sería una ventaja en ser capaz de obtener la resistencia de 28 días, a las pocas horas de la colocación del concreto y como antes se ha mencionado, Las resistencia a 5.5 horas tiene muchos factores que pueden alterar su resistencia tal como su almacenamiento, la calidad del agua de guardado, las condiciones que son sometidas como un posible sobrepeso o inclinación de las bases de la probeta y finalmente las pequeñas variaciones de temperatura durante las primeras horas después de la fundición, etc. (NEVILLE, 2011).

Además, también sabemos que los fines en que las entidades o empresas, para el control de calidad de una probeta de concreto en los ensayos de resistencia a la compresión estándar, se basan en someterlo sumergido en agua a 28 días y también como antes se mencionó, esto genera retraso en los resultados para posibles avanzases y aumentando los costos de alquiler y mantenimiento de personal. Por eso, un procedimiento elaborado y posterior patente de una máquina que genera alta presión y temperatura desarrollado (Canada Patente nº 604,878, 1975) a mediados de los años 80. Además, anteriores estudios donde la aplicación de una presión de confinamiento al concreto fresco combinado con la eliminación de exceso de agua aumenta la densidad y no impide la mejora de la resistencia a esfuerzos de compresión (RICHARD & CHEYREZY, 1995).

Por otro lado, las consideraciones en los resultados del ensayo muestran que tanto el tipo de cemento a usar y el procedimiento de curado acelerado afectan la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia por el método de curado a alta presión & temperatura. En la predicción de la resistencia a los 28 días mediante el uso de los resultados de la resistencia de ensayo acelerado, también se aplicará un análisis de regresión lineal (WILL, 1975) (CARINO, 1994) y también se debe considerar los efectos de varios factores como por ejemplo: Diámetro máximo de los agregados (SADREKARIMI, 2004) (RICHARD & CHEYREZY, 1995) o también la relación a/c (AL-RAWI, 1978), por citar algunos de ellos.

Según la norma (NTP 339.213, 2015), las características de un curado acelerado con alta Presión & temperatura están en la Tabla N° 12:

Tabla N° 12. Características del procedimiento de curado con agua hirviendo.

PROCEDIMIENTO	D
MOLDES	Reusable
FUENTES DE ACELERACIÓN	Calor Externo y Presión
TEMP. DE CURADO ACELERADO °C	150
EDAD DE INICIO DE CURADO	Inmediatamente después del vaciado
DURACIÓN DE CURADO	5 h +/- 5 min
EDAD DE ENSAYO	5.25 h +/- 5 min

Fuente: Tabla 1 – Características de los procedimiento de curado acelerado (NTP 339.213, 2015).

3.5.2. Equipo de curado con alta Presión & Temperatura

Siguiendo con este marco teórico, ahora se abordará los detalles y características de una máquina de compresión hidráulica que dará una presión vertical y de 3 envases de acero inoxidable, cubiertos cada uno con una resistencia que enrolla a todo el envase y hará la función de calentar el espécimen de concreto y todo esto hará posible el desarrollo de los objetivos planteados en este proyecto. Cabe recordar que tanto este proyecto como los proyectos consultados dieron referencias de lo difícil y caro que resulta armar un aparato como se muestra en la Ilustración N° 3 ya que no es algo que esté disponible en el mercado. (TUMIDAJSKI, GONG, & BAKER, 2003)

El aparato de curado acelerado que se va a operar para el desarrollo del proyecto de tesis, es la que se presenta en la Ilustración N° 3. Basado en los requerimientos que la NTP339.213 y teniendo como base las herramientas usadas en una tesis sustentada recientemente. (VARGAS H., 2018), este consiste en:

Prensa hidráulica (20 Ton): Es un aparato que se basa en la conformación de vasos comunicantes, que a su vez se impulsan entre ellos por medio de pistones de diferentes áreas y eso ayuda a que con una pequeña fuerza en el área más pequeña, genere una mayor fuerza en el área más grande.



Imagen N° 17. Prensa hidráulica
Elaboración Propia.

Tablero de control: es un gabinete que está conformado por equipos de protección, maniobra, control, comunicación, medición, y finalmente señalización que realiza funciones específicas dentro de un proceso automatizado.

Este tablero está conformado por:

- Llaves térmicas (3)
- Llaves diferenciales (3)
- Contactores de 32 A (3)



Imagen N° 21. Tablero de Control Eléctrico.
Elaboración Propia.



Imagen N° 18. Contactor de 32 A.
Elaboración Propia.



Imagen N° 22. Vista interna del Tablero Eléctrico.
Elaboración Propia.

- Pirómetro (3)



Imagen N° 19. Pirómetros y Cableado de la Termocupla.
Elaboración Propia.

- Temporizador (1)
- Termocuplas (3)



Imagen N° 20. Termocupla Tipo J.
Elaboración Propia.

Moldes para la probeta de concreto:

Moldes de acero inoxidable que está conformado por un embace tubular de altura 150 mm y diámetro 75 mm, este molde contiene un recubrimiento de fibra de vidrio y lana de vidrio para su aislamiento térmico, cada uno con sus respectivos tomacorrientes y un agujero para la introducción de la termocupla.

Una tapa inferior de acero inoxidable empernable que hará la función de la base del molde con su respectiva Junta Tórica que está ubicado en la parte lateral central de cada uno de ellos para evitar la fuga de agua caliente.



Imagen N° 23. Tablero Eléctrico en funcionamiento.
Elaboración Propia.



Imagen N° 24. Envase de acero inoxidable con recubrimiento de fibra de vidrio.
Elaboración Propia.

Una tapa superior de acero inoxidable limitará el volumen de concreto y que ayudará a la transmisión de la carga proveniente de la Prensa Hidráulica con su respectiva Junta Tórica que está ubicado en la parte lateral central de cada uno de ellos para evitar la fuga de agua caliente.



*Imagen N° 25. Tapas de Acero inoxidable.
Elaboración Propia.*



*Imagen N° 26. Vista interna del molde de
acero.
Elaboración Propia.*

Junta Tórica: se denomina Junta Tórica, o mayormente conocido como O-Ring, es una junta de forma toroidal generalmente de goma, cuya función es la de asegurar un envase o sistema a que este totalmente hermético y así estanquear flujos. Esta Junta Tórica ayudará a evitar las fugas de agua caliente y permutará el uniforme fraguado de los especímenes de concreto. Estos estarán ubicados en una ranura que se ubica en el centro perimétrico de cada tapa de acero.



*Imagen N° 28. Vista de la Junta Tórica.
Elaboración Propia.*



Imagen N° 27. Junta Tórica de Modelo Comercial.
Elaboración Propia.



Imagen N° 29. Junta tórica.
Elaboración Propia.

Para este proyecto se uso el modelo CAT 5P-4882, muy resistente a la fricción y capaz de soportar hasta temperaturas de 1200°C

Entre otros accesorios que apoyaran en el desarrollo del curado acelerado de Alta Presion y Temperatura (Procedimiento D), las características se muestran en la Ilustración N° 3.



Imagen N° 30. Vista del Procedimiento de Curado acelerado de Alta Temperatura y Presión.
Elaboración Propia.



Imagen N° 31. Desmoldamiento de las probetas de concreto.
Elaboración Propia.

3.5.3. Funcionamiento del equipo de curado acelerado

Los detalles de un equipo satisfactorio que pueda producir alta temperatura y presión para el procedimiento D son mostrados en la Ilustración N° 3. Por otro lado, también la elaboración del equipo ha tenido presente las características sugeridas de una patente canadiense desarrollada por K. Nassir (Canada Patente n° 604,878, 1975) para el desarrollo de esta y que a su vez que cumpla con las mismas funciones.

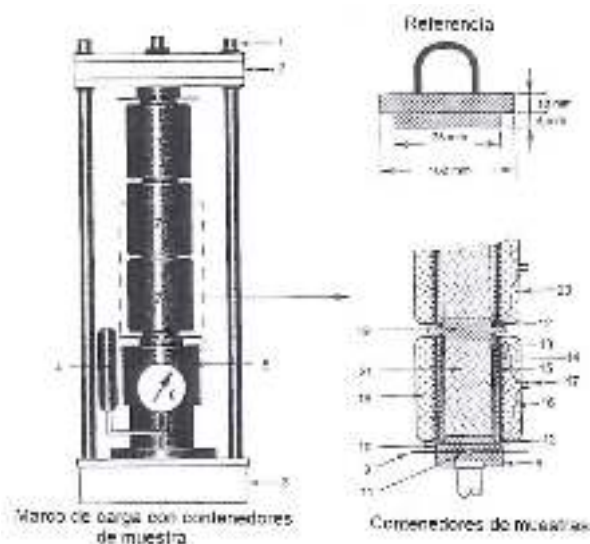


Ilustración N° 3. Diseño sugerido para la máquina de curado acelerado mediante la alta presión & temperatura del procedimiento D.

Fuente: (NTP 339.213, 2015)

Tabla N° 13. Dimensiones de la máquina de curado acelerado con alta presión & temperatura del procedimiento D.

Nomenclatura:		
1. Pernos sujetadores	8. Disco principal de cojinete	15. Aislamiento del alambre
2. Miembros principales	9. Protector de calor	16. Alambre de calentamiento
3. Base	10. Casquillo y pistón	17. Conector eléctrico
4. Acumulador	11. Bola de rodadura	18. Aislamiento de lana de vidrio
5. Gato hidráulico	12. Anillo de O	19. Pistón
6. Manómetro de presión	13. Delineador de plástico	20. Cobertura del contenedor
7. Contenedor de muestra	14. Molde de cilindro	21. Especímenes de concreto

Fuente: Figura A1.3 (NTP 339.213, 2015).

La norma menciona que los moldes apropiadamente diseñados aseguran una distribución uniforme de temperatura a través del concreto. Los alambres del calentador están normalmente cerrados y espaciados juntos cerca de los bordes de los moldes y más próximos a su región central.

Para un molde cilíndrico de 75 mm x 150 mm, un elemento de calentamiento de 100 W aumentará y mantendrá la temperatura especificada durante el periodo de curado. El aislamiento regular de la fibra de vidrio con grado R20 es suficiente para el elemento de calentamiento sugerido de manera que si uno falla la función, los otros dos remanentes curarán los especímenes de manera satisfactoria. El sistema eléctrico tendrá indicadores actualizados, un cronometro y zumbador a fin de hacer el proceso de curado automático y de simple monitoreo.

La prensa hidráulica y el acumulador serán equipados con un manómetro de presión para indicar la presión que se aplica al concreto en los moldes. El acumulador será calibrado tal que mantendrá la presión requerida de 10.3 MPa +/- 0.2 MPa.

Si se requiere usar el aparato para ensayar los especímenes, entonces el aparato será designado para funcionar como una máquina de ensayo de compresión que deba satisfacer los requisitos de la (NTP 339.213, 2015).



Imagen N° 32. Vista del manómetro en la máquina de Alta temperatura & Presión.

Elaboración Propia.



Imagen N° 33. Embaces que contendrán y mantendrán las probetas de concreto en las condiciones requeridas.

Elaboración Propia.

Al igual que el Procedimiento de Curado Acelerado B, El procedimiento de Curado D también tiene su tablero de control, conformado por controladores electrónicos, contactores de alta capacidad para evitar las sobrecargas de energía en los circuitos, termocuplas, tomacorrientes, etc. Todo esto dentro de una caja de seguridad que nos ayudará a controlar todos los componentes y características del aparato como la temperatura interna de los moldes.



Imagen N° 34. Tablero de control electrónico para el procedimiento D de Curado Acelerado.

Elaboración Propia.

3.5.4. Manual para el curado acelerado para el procedimiento D

Previamente a estos pasos se ha elaborado y vaciado el concreto en sus embaces correspondiente, luego seguirá las pases para elaborar el procedimiento de curado acelerado aplicando Alta Presión & Temperatura.

- 1) Tener listo los moldes de acero de 75 mm x 150 mm, estos moldes deben estar sellados con sus bases empernadas antes del vaciado del concreto en ellas. Por otro lado, la ranura en donde debe colocarse el O-Ring debe estar complemente libre de residuos u otro material que perjudique la vida útil de este objeto.
- 2) Las probetas deben ser llenadas, según lo especifica la norma en el capítulo 15.4.1 (NTP 339.213, 2015) solo con un TNM de 25 mm, en dos capas y serán compactados cada capa unas 10 veces. De lo contrario; si el tamizado en húmedo tiene un TMN superior a 25 mm, consultar con la norma sobre muestreo con concreto fresco (NTP 339.036, 1999).



*Imagen N° 35. Fotografía superior del vaciado del concreto en los moldes de acero para el procedimiento D.
Elaboración Propia.*

- 3) Habilitar la máquina de presión & temperatura y también revisar los instrumentos de medición como el manómetro y alambres del calentador; con esto evitaremos algún contratiempo en el desarrollo del curado.
- 4) Colocar las probetas completamente vertical en la máquina de curado; es una recomendación muy importante ya que se debe alisar la parte superior del concreto con un accesorio especial a fin de determinar el nivel del

concreto requerido para alcanzar el tope de la base de metal de la máquina de presión que transmitirá la presión diseñada de 10.3 +/- 0.2 MPa al concreto en el molde.

- 5) Antes de iniciar, cubrir cada molde con una tapa de metal para que estén sellados herméticamente. Ajustar y verificar los dispositivos de seguridad y también la prensa hidráulica y el acumulador de presión.
- 6) Estar atento durante el procedimiento de curado en la máquina de alta presión & temperatura, Aplicar u mantener una presión de 10.3 MPa +/- 0.2 MPa sobre el concreto en los moldes. Activar el elemento calentador para elevar la temperatura del espécimen a 150° C +/- 3°C entre 5 a 10 minutos y finalmente Tomar el tiempo cuando el elemento que transmite calor este totalmente activado y la termocupla con su respectivo controlador indiquen la temperatura que pide la NTP339.213.
- 7) Esperar las 5 horas +/- 15 min requeridas para completar el procedimiento; cuando se desarrolle el curado acelerado, durante las primeras 3 horas mantener el especímenes en las condiciones iniciales; luego para las últimas 2 horas, apagar el elemento de calor y mantener la presión con sus mismo valores iniciales, ya que este podrá mantener la temperatura durante el tiempo restante.
- 8) Extraer con cuidado las probetas de concreto al final de periodo de curado, liberar la presión, retirar los moldes del aparato de presión y retirar los especímenes de concreto de los moldes.
- 9) Dejar que enfríen las probetas 15 minutos y luego capear las probetas debidamente.



*Imagen N° 36. Probetas del procedimiento D que han sido capeados para el ensayo.
Elaboración Propia.*

- 10) Realizar el ensayo a compresión axial dentro de 30 min según la norma sobre compresión axial de probetas (NTP 339.034, 2008), asegurando la integridad de las muestras y del lugar del ensayo para que no hallan errores en el proceso y así no perder un día de trabajo.



*Imagen N° 37. Fotografía de probetas 7.5 cm x 15.0 cm después de sus ensayos de compresión axial.
Elaboración Propia.*

- 11) Promediar los ensayos de compresión axial con la misma relación a/c y tipo de curado.
- 12) Finalmente, con el uso de la estadística, específicamente de la Ecuación de regresión Lineal, se establecerá una ecuación lineal que pueda establecer una relación entre el curado estándar y el curado con Alta temperatura y Presión, con su respectivo margen de error.

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.

Siguiendo lo expuesto en el Sub Capítulo 2.3 (página 34) se darán los resultados de los ensayos de las propiedades físicas de los agregados grueso y fino. Estos ensayos se han realizado en el Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM – UNI), durante el mes de Septiembre del 2018. Se tiene que aclarar que durante el desarrollo de este proyecto de tesis se ha estado reconfirmando y actualizando algunos datos de las propiedades físicas de los agregados, dándose mayor énfasis a actualizar los valores de % de absorción y % de humedad. Todos estos ensayos han sido supervisados por los encargos de cada ambiente del laboratorio para la realización de los ensayos necesarios para este proyecto y que a continuación se va a presentar.

4.1. IMPORTANCIA DE LA ELECCIÓN DE LOS AGREGADOS.

La Elección de los agregados de las Canteras Romaña y Torreblanca y su puesta en el Título Principal de este proyecto de Tesis es debido a que ambos agregados son parte de las consideraciones principales de este proyecto de Tesis, con esto, se quiere resaltar que los resultados (Ecuación de Regresión, Gráficos, Banda de Confiabilidad, Etc.) y sus conclusiones serán totalmente alterados por la procedencia de los agregados de las canteras que se use. Esto, porque las propiedades físicas y químicas del agregado en cada agregado no son iguales a las que otras canteras y esto afecta significativamente en el procedimiento de curado acelerado que se usarán y en los resultados de las Ecuaciones de Regresión Lineal y La Banda De Confiabilidad cuando se quiera relacionar los Procedimientos de curado Acelerado B y D según la NTP 339.213 y el Procedimiento de Curado Estándar.

En otras palabras, Usar los resultados de este proyecto de tesis, sin usar las mismos agregados de las canteras que se especifica en el Título. No va a tener los resultados esperados que se anunciarán en las conclusiones.

Finalmente, los anterior mencionado esta también sustentado en el Anexo A2 de la NTP 339.213, que dice: “... Finalmente, se enfatiza que una ecuación particular de regresión es válida solamente para un procedimiento de ensayo específico acelerado o combinación de materiales. De Ahí que, cada laboratorio debe

desarrollar ensayos con un determinado conjunto de materiales y cierto proceso para establecer la línea de regresión y su banda de confianza antes que las estimaciones de resistencia con curado estándar sean posibles.”

El agregado fino ha sido procedente de la **Cantera Torreblanca** – en el Distrito de **Carabaylo**.



*Ilustración N° 4. Ubicación de la Cantera Torreblanca.
Fuente: GoogleEarth.*

El agregado grueso ha sido procedente de la **Cantera Romaña** – en el Distrito de **Ventanilla**.



*Ilustración N° 5. Ubicación de la Cantera Romaña.
Fuente: GoogleEarth.*

4.2. PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE HUMEDAD.

4.2.1. Peso Unitario

Peso Unitario Suelto

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso de la muestra + Recipiente (Kg)	5.69	18.00
Peso del recipiente (Kg)	1.57	4.36
Peso de la muestra (Kg)	4.11	13.64
Volumen del recipiente (m ³)	2.83 x 10 ^{^-3}	9.43 x 10 ^{^-3}
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1452.86	1445.94

Peso Unitario Compactado

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso de la muestra + Recipiente (Kg)	6.28	19.01
Peso del recipiente (Kg)	1.58	4.36
Peso de la muestra (Kg)	4.69	14.65
Volumen del recipiente (m ³)	2.83 x 10 ^{^-3}	9.43 x 10 ^{^-3}
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1660.35	1553.00

4.2.2. Contenido de Humedad

	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso en estado ambiente (g)	1000	4000
Peso secado al horno (g)	966.18	3985.27
Peso del agua perdida (g)	33.82	14.73
Contenido de humedad (%)	3.5%	0.37%

4.3. PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.

Agregado Fino

Peso de la arena superficialmente seca	500.1
P. de la arena superficialmente seca + P. del balón + P. del agua	1006.5
Peso del balón	197.2
Peso del agua	309.2
Peso de la arena seca al horno	498.0
Volumen del balón	500

Peso específico de masa	2.61
Peso específico de masa superficialmente seco	2.62
Peso específico aparente	2.638
Porcentaje de absorción	0.4%

Agregado Grueso

Peso de la muestra secada al horno	3964.3
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	4000.1
Peso de la muestra saturada en agua + Peso de la canastilla	2495.2
Peso de la canastilla	0
Peso de la muestra saturada en agua	2495.2

Peso específico de masa	2.634
Peso específico de masa superficialmente seco	2.658
Peso específico aparente	2.698
Porcentaje de absorción	0.90%

4.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y MÓDULO DE FINURA.

En este análisis, se tendrá una muestra de agregado seco, de masa conocida, en la que se separará a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor y esto es con la finalidad de determinar la distribución del tamaño de las partículas. Este ensayo se elaborará siguiendo lo indicado en la (NTP 400.011, 2012) y (NTP 400.012, 2013).

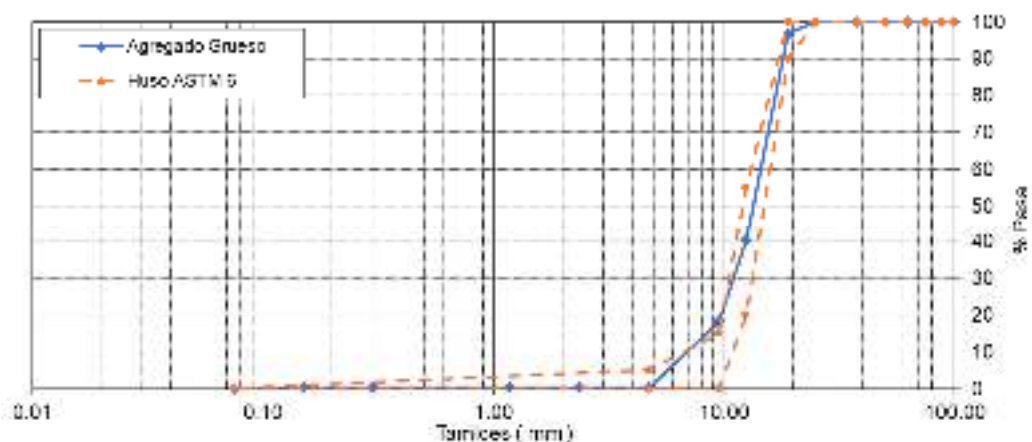
4.4.1. Características del agregado grueso

a) Análisis Granulométrico del agregado grueso.

Tamiz	Peso Ret. 1 (g)	Peso Ret. 2 (g)	Peso Ret. 3 (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
1 1/2"				0.00	0.00	100.00
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.00
3/4"	122.83	325.03	574.61	3.3	3.3	96.7
1/2"	5330.47	5628.45	5851.22	56.3	59.5	40.5
3/8"	2399.90	2221.20	1714.03	22.2	81.7	18.3
N° 4	2055.05	1788.49	1823.61	17.9	99.6	0.40
Fondo	91.75	36.83	36.53	0.4	100.00	0.00
Total	10000.00	10000.00	10000.00			

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso es: 1/2"

b) Curva de Granulometría



c) Módulo de Finura del Agregado Grueso

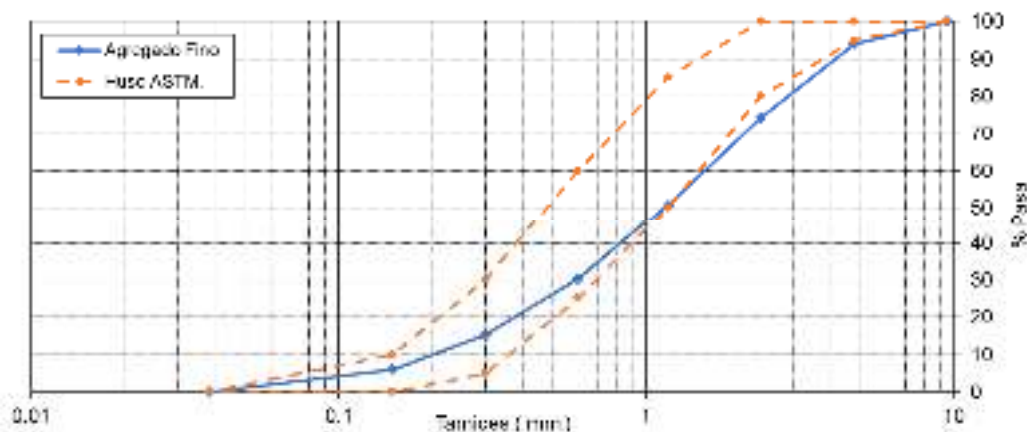
$$MF_{grueso} = \frac{1'' + 3/4'' + 1/2'' + 3/8'' + \#4 + \#8 + \#16 + \#50 + \#100}{100} = 6.74$$

4.4.2. Características del agregado fino

a) Análisis Granulométrico del agregado fino

Tamiz	Peso Ret. 1 (g)	Peso Ret. 2 (g)	Peso Ret. 3 (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
3/8"				0.00	0.00	100.00
N° 4	37.30	27.50	36.00	6.00	6.00	94.00
N° 8	136.20	139.90	118.90	19.82	25.82	74.18
N° 16	154.10	159.20	140.70	23.45	49.27	50.73
N° 30	116.40	116.90	122.70	20.45	69.72	30.28
N° 50	78.50	78.90	89.70	14.95	84.67	15.33
N° 100	46.20	47.40	55.60	9.27	93.93	6.07
Fondo	31.30	31.60	37.50	0.30	100.00	0.00
Total	600.00	600.00	600.00			

b) Curva de Granulometría



c) Módulo de Finura del Agregado Fino

$$MF_{fino} = \frac{3/8" + \#4 + \#8 + \#16 + \#30 + \#50 + \#100}{100} = 3.29$$

4.5. PROPIEDADES FÍSICAS RESULTANTES

	Agregado Grueso	Agregado Fino
Módulo de Finura	6.74	3.29
Peso Unitario Suelto (Kg/m ³)	1445.94	1452.86
Peso Unitario Compactado (Kg/m ³)	1553.00	1674.31
Peso Específico (g/cm ³)	2.634	2.610
Contenido de Humedad (%)	0.37%	3.50%
Porcentaje de Absorción (%)	0.90%	0.40%

CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO

5.1. DETERMINACIÓN DE LA RELACION A/C

En este Sub-Capítulo se detallará una consideración muy importante para el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, para obtener la Ecuación de Regresión Lineal que después se mencionará (Página 113); se ha optado por hacer un sistema de muestreo en donde se realizará de forma segmentada. La segmentación es respecto a un rango de relación Agua-Cemento, que es una variable para la creación de la Ecuación de Regresión que nos ayudará a relacionar la Resistencia de Curado Acelerado con la Resistencia de Curado Estándar.

En Segundo lugar, esta relación debe estar dentro de valores comerciales y/o que se oferten en el campo de la industria de la construcción; por este motivo el rango escogido será desde una relación a/c: 0.70 hasta una relación a/c: 0.35, separados cada 0.05; en total se realizará el muestreo de 8 relaciones a/c (a/c: 0.70, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40, 0.35).

Estas consideraciones implica que en el diseño del concreto para el desarrollo del proyecto no se tomará la idea de diseñar un concreto con respecto a la resistencia a la compresión deseada; por el contrario, estará sujeta a solo la variación de la relación a/c y con ello, a sus variaciones en las proporciones de sus demás componentes (Agregado Grueso, Agregado Fino y Aditivos si es necesario). En otras palabras, solo importará la variación de la relación a/c para el diseño del concreto.

Un aspecto importante de esta consideración es que tampoco debemos descuidar los resultados de la resistencia a compresión axial obtenidas en el diseño de mezcla de concreto. Estos resultados (únicamente en el ensayo de compresión axial con curado estándar) deben estar dentro de los rangos de la Tabla N° 22 en el Capítulo de Anexos. Así, al menos podemos tener un medio para poder controlar la calidad de los resultados y de los avances del trabajo de este proyecto.

Para el diseño del concreto, se debe saber que el concreto está conformado por Elementos Activos (Cemento, Arena, Piedra, Agua y por un motivo opcional el Aditivo) y Elementos Pasivo (Aire). Estos elementos se pueden separar en proporciones típicas en volumen absolutas:

- 13) Volumen de Agregados está entre 60% al 75%
- 14) Volumen de Agua está entre 15% al 22%
- 15) Volumen del Cemento está entre 7% - 15%
- 16) Volumen del Aire está entre 1% - 3%
- 17) Volumen del Aditivo está entre 0.1% - 0.2%

5.2. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.

Para los fines de este proyecto, se realizará una mezcla de concreto fresco con una consistencia trabajable y adecuada que estará en el rango de 2.5" a 4". Además, nos apoyaremos en las consideraciones de la Norma (ACI 211.2, 2004).

5.2.1. Condiciones Generales:

Cemento:

- 18) Marca : Sol Cementos Lima S.A.
- 19) Tipo : Cemento Portland Tipo I
- 20) Peso Específico : 3.13 Tn/m^3

Agua:

- 21) Agua potable de la Red Publica
- 22) Peso Específico : 1.00 Tn/m^3

Características del concreto: Este concreto estará expuesto a condiciones normales.

- 23) Resistencia : min. 175 Kg/cm^2
- 24) Asentamiento : 3" – 4"
- 25) Temperatura : $[18 - 27]^\circ\text{C}$
- 26) Humedad Relativa : 80% en promedio.

5.2.2. Datos de los Agregados Finos y Agregados Gruesos

Agregados	Fino	Grueso
Cantera de Procedencia	Torreblanca - Carabayllo	Romaña – Ventanilla
Perfil	-	Chancada
Peso Unitario Seco	1.452 Tn/m ³	1.445 Tn/m ³
Peso Unitario Compactado	1.660 Tn/m ³	1.553 Tn/m ³
Peso Específico	2.610 Tn/m ³	2.635 Tn/m ³
Módulo de Finura	3.29	6.74
% de Absorción	0.40%	0.90%
% de Humedad*	[2.48 – 3.50]%	[0.27 – 0.37]%
TMN	-	½"

(*) El valor de % de Humedad está en rangos. Esto se debe a las variaciones de las condiciones climáticas ya que el proyecto ha sido realizado entre los meses de Agosto del 2018 y Enero del 2019. Por ende, las condiciones de desarrollo de la mezcla de concreto se debieron actualizar constantemente en este proyecto.

5.2.3. Aire Incorporado

El aire incorporado se debe usar en todo concreto que será expuesto a congelación – deshielo y a productos químicos descongelantes; se le puede utilizar para mejorar la durabilidad, incluso donde no se le requiera solo con fines de obtener una mayor trabajabilidad.

En esta ocasión, debido a las condiciones del desarrollo del proyecto, no se requerirá de la incorporación de aire ya que no será sometido a tales condiciones.

5.2.4. Agua

Brevemente hablando, algunos aspectos estudiados anteriormente, se puede entender que la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se necesita para producir un asentamiento dado depende del tamaño máximo del agregado, la forma y textura de las partículas así como de la gradación de los agregados, de la cantidad de aire incluido y de los aditivos reductores de agua (cuando son requeridos). Como se puede apreciar son muchos los factores que intervienen para determinar este parámetro y de allí que su estimación exacta sea difícil. Sin embargo, se han desarrollado algunos estudios que tienen en cuenta algunos factores más importantes y que proporcionan valores que pueden ser mayores o menores a los requisitos reales del agua en la mezcla, pero que ofrecen suficiente aproximación para una primera mezcla de prueba (PCA, 2004).

La determinación de la cantidad de agua por metro cúbico para una primera aproximación será proporcionada por medio de la Tabla N° 20 en el Capítulo de Anexos.

Con los valores previos se obtiene lo siguiente: un Asentamiento de **3" – 4"** (página 77) y por las conclusiones obtenidas en la granulometría del agregado grueso (página 73) del cual se ha obtenido un TMN de $\frac{1}{2}$ ", con estos datos se concluye que la cantidad de litros por metro cúbico en el diseño de mezcla será de **216 l/m³**.

5.2.5. Determinar el Contenido de Aire

La determinación del contenido de aire atrapado por metro cúbico sin aire incorporado será proporcionado por medio de la Tabla N° 21 en el Capítulo de Anexos.

Con los valores previos obtenidos en la granulometría del agregado grueso (página 73) se ha obtenido un TMN de $\frac{1}{2}$ ", con este valor se concluye que el contenido de aire atrapado por metro cúbico es de **2.5%** del volumen.

Es importante anotar que cuando se prevea el desarrollo de la mezcla de concreto, esta estará expuesta a ambientes no severos, para que no exista necesidad de tener aire incluido notoriamente altos (PCA, 2004).

5.3 DETERMINACIÓN DE LA PROPORCIÓN DE ELEMENTOS DEL CONCRETO – SEGÚN METODO ACI.

El método de diseño de concreto que se usará como referencia para el cálculo inicial de las proporciones del concreto; y así, continuar con el desarrollo de este proyecto estará guiada por (ACI 211.2, 2004).

Esta norma ACI discute que su método se limita a los agregados ligeros estructurales, este se entiende como concreto que: Primero, se fabrica con agregados livianos de acuerdo con (ASTM C330, 2004) o su equivalente en las normas técnica peruana. También que, la resistencia a la compresión sea superior a 175 Kg/cm^2 a 28 días de edad cuando se analizan de acuerdo con los métodos indicados en (ASTM C330, 2004); También, que tenga un peso seco no superior a 1840 Kg/cm^2 según lo determinado por (ASTM C567, 2000) o su equivalente en las normas técnicas peruanas. Por último el agregado fino debe cumplir con los requisitos de (ASTM C33, 2003) o su equivalente en las normas técnicas peruanas.

5.3.1. Estimación del contenido del agregado grueso.

Siguiendo con los detalles para el primer cálculo del concreto se continuará con lo siguiente:

La determinación de la relación de contenido de agregado grueso será con respecto al Módulo de Finura del agregado fino (página 74) y del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso (página 73). La Tabla N° 23 en el Capítulo de Anexos, nos proporcionará el valor de la relación b/b_o y así obtener el peso del agregado grueso por metro cubico de concreto.

Como resultado de un $MF_{ag. \text{ fino}}: 3.29$ y también como resultado de un TMN de $1/2''$, su valor de $b/b_o: 0.501$.

5.3.2. Determinación del factor cemento de un aditivo.

a) Datos Técnicos:

a. Aditivo: Sika Cem. Plastificante

b. Densidad: $1.20 \text{ kg/L} \pm 0.02$

b) Detalles de Aplicación:

c. Como plastificante: **250 mL** por bolsa de cemento de **42.5 Kg**.

d. Como super-plastificante: hasta **500 mL** por bolsa de cemento de **42.5 Kg**.

c) Calculo del volumen de aditivo:

Para los detalles del cálculo del volumen de aditivo para el diseño de concreto y por las condiciones que se observaron en diseños de prueba; se usará un valor de **375 mL** por bolsa de cemento de **42.5 Kg**.

Para el cálculo inicial de los componentes del concreto; el volumen de Aditivo, se necesita del Volumen de Agua (página 79) y de la Relación a/c (página 76). Es importante tiene que aclarar que cualquier variación de la relación a/c y recalcu del contenido de agua en el diseño de concreto, se tendrá que realizar una actualización del valor del volumen del aditivo y realizar un nuevo cálculo del diseño de concreto.

CAPITULO VI: DESARROLLO Y RESULTADOS DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

6.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL CONCRETO FRESCO

Para este sub-capitulo se mostrará solo los resultados finales del diseño de concreto de cada relación a/c que se ha desarrollado en este proyecto. Estos resultados son aquellos que ya fueron corregidos en campo según algunas modificaciones como por ejemplo: corrección en agua, correcciones de proporción porcentual de agregados y/o cantidad de aditivo. Por otro lado, estas correcciones siempre van a conservar la relación a/c para los fines de este proyecto.

6.1.1. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.70

Diseño de concreto a/c: 0.70	[24 de Octubre al 12 de Noviembre del 2018]		
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	Asentamiento: 4.5"
Agua	0.210	209.738	
Cemento	0.095	299.626	
Ag. Grueso	0.333	878.466	
Ag. Fino	0.333	867.987	
Aditivo	0.004	3.331	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2259.147	

6.1.2. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.65

Diseño de concreto a/c: 0.65	[13 de Noviembre al 22 de Noviembre del 2018]		Asentamiento: 4.3"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.215	215.207	
Cemento	0.105	331.087	
Ag. Grueso	0.325	855.782	
Ag. Fino	0.325	848.963	
Aditivo	0.005	3.681	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2254.720	

6.1.3. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.60

Diseño de concreto a/c: 0.60	[26 de Noviembre al 29 de Noviembre del 2018]		Asentamiento: 4.0"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.217	216.581	
Cemento	0.115	360.968	
Ag. Grueso	0.331	871.237	
Ag. Fino	0.308	804.219	
Aditivo	0.005	4.013	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2257.017	

6.1.4. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.55

Diseño de concreto a/c: 0.55	[03 de Diciembre al 06 de Diciembre del 2018]		Asentamiento: 4.0"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.220	219.619	
Cemento	0.127	399.306	
Ag. Grueso	0.329	866.185	
Ag. Fino	0.294	768.126	
Aditivo	0.006	4.439	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2257.675	

6.1.5. Resultados de diseño de concreto: a/c: 0.50

Diseño de concreto a/c: 0.50	[10 de Diciembre al 13 de Diciembre del 2018]		Asentamiento: 3.7"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.234	234.397	
Cemento	0.149	468.795	
Ag. Grueso	0.309	813.615	
Ag. Fino	0.276	721.507	
Aditivo	0.007	5.212	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2243.526	

6.1.6. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.45

Diseño de concreto a/c: 0.45	[17 de Diciembre del 2018 al 28 de Enero del 2019]		Asentamiento: 3.3"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.237	237.345	
Cemento	0.167	527.433	
Ag. Grueso	0.297	782.494	
Ag. Fino	0.266	693.910	
Aditivo	0.007	5.864	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2247.046	

6.1.7. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.40

Diseño de concreto a/c: 0.40	[26 de Diciembre del 2018 al 30 de Enero del 2019]		Asentamiento: 2.8"
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)	
Agua	0.239	238.649	
Cemento	0.189	596.622	
Ag. Grueso	0.276	727.500	
Ag. Fino	0.262	685.122	
Aditivo	0.008	6.633	
Cont. de Aire	0.025	2.5 %	
Vol. y Masa de concreto	1.000	2254.525	

6.1.8. Resultados de diseño de concreto; a/c: 0.35

Diseño de concreto a/c: 0.35	[05 de Febrero al 07 de Febrero del 2019]	
	Volumen (m^3)	Masa (Kg)
Agua	0.238	237.747
Cemento	0.216	679.276
Ag. Grueso	0.280	738.968
Ag. Fino	0.232	604.610
Aditivo	0.010	7.552
Cont. de Aire	0.025	2.5 %
Vol. y Masa de concreto	1.000	2268.153

Asentamiento:
3.0"

6.2. RESULTADOS MECANICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO MEDIANTE PROCEDIMIENTOS DE CURADO ACELERADO.

El procedimiento estará sujeto a las especificaciones de la (NTP 339.213, 2015) y de otras normas peruanas requeridas para que el proyecto tenga éxito y este bajo todos los controles de calidad que la norma exige. Para este sub-capítulo se mostrará el desarrollo de los procedimientos de curado acelerado B (agua hirviendo) y curado acelerado D (alta temperatura y presión).

6.2.1. Resultados de la resistencia del concreto endurecido a través del procedimiento de curado acelerado B (Agua hirviendo)

Los especímenes de concreto estarán expuestos a condiciones de curado acelerado que les permiten desarrollar una porción significativa de su resistencia última dentro de un periodo de tiempo en el rango de 24 horas. El procedimiento B se basa en un gran contenedor metálico que va a contener especímenes de concreto con agua hirviendo para su aislamiento y conservar el calor generado por la hidratación y su nivel de temperatura es empleado para proveer aceleración térmica. Finalmente las probetas sometidas serán sometidas a ensayo de compresión axial según (NTP 339.034, 2008). En la página 53 se mostró los pasos a seguir para el desarrollo paso a paso del procedimiento de curado acelerado B, por lo que en este Sub-capítulo solo se limitará a mostrar los resultados finales de este procedimiento.

6.2.1.1. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.70*

- Fecha de elaboración: 05 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 06 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (4/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	D	20.500	20.500	9.700	10.200	11.5950	149.12	
	2	20.700	20.700	9.700	10.200	9.9200	127.58	
	3	20.500	20.500	9.800	10.200	10.6240	135.27	
	4	20.600	20.600	9.700	10.300	10.0810	128.36	
	5	20.400	20.400	9.800	10.300	10.4350	131.54	
						\bar{X} :	130.69	
					σ :	3.50	CV:	2.681

- Fecha de elaboración: 06 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 07 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (5/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	1	20.600	20.600	9.800	10.400	10.1350	126.50	
	2	20.600	20.600	9.700	10.100	9.9180	128.84	
	3	20.600	20.600	9.600	10.200	10.3030	133.85	
	4	20.500	20.500	9.800	10.100	10.1900	131.05	
	5	20.700	20.700	9.800	10.100	10.2530	131.86	
						\bar{X} :	130.42	
					σ :	2.83	CV:	2.171

- Fecha de elaboración: 07 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 08 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (6/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	1	20.400	20.400	9.700	10.100	11.2700	146.41	
	2	20.500	20.500	9.700	10.200	11.8790	152.77	
	D	20.600	20.600	9.700	10.300	12.2640	156.15	
	4	20.700	20.700	9.700	10.200	11.6720	150.11	
	5	20.500	20.500	9.600	10.100	11.8980	156.14	
						\bar{X} :	151.36	
					σ :	4.12	CV:	2.722

6.2.1.2. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.65*

- Fecha de elaboración: 13 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 14 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (1/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.400	20.400	10.300	9.700	12.0100	152.92
	2	20.600	20.600	10.100	9.600	11.7400	154.07
	3	20.300	20.300	10.300	9.800	12.8080	161.46
	4	20.400	20.400	10.200	9.700	12.0430	154.88
	5	20.400	20.400	10.300	9.700	12.1090	154.18
						\bar{X} :	155.50
σ :					3.40	CV:	2.189

- Fecha de elaboración: 14 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 15 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (2/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.400	20.400	9.700	10.100	13.3840	173.87
	2	20.700	20.700	9.800	10.100	12.8400	165.13
	3	20.500	20.500	9.700	10.200	13.1550	169.18
	4	20.600	20.600	9.800	10.300	13.9220	175.50
	5	20.200	20.200	9.800	10.200	13.4010	170.63
						\bar{X} :	170.86
σ :					4.07	CV:	2.383

- Fecha de elaboración: 15 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 16 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (3/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.800	20.800	9.700	10.100	12.3530	160.48
	2	20.700	20.700	9.800	10.200	13.0720	166.44
	3	20.600	20.600	9.700	10.200	12.4680	160.35
	4	20.600	20.600	9.700	10.300	12.3970	157.84
	5	20.400	20.400	9.700	10.200	11.9940	154.25
						\bar{X} :	159.87
σ :					4.46	CV:	2.787

6.2.1.3. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.60

- Fecha de elaboración: 26 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 27 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.700	10.300	14.2420	181.33
	2	20.400	20.400	9.600	10.200	14.0480	182.50
	3	20.400	20.400	9.800	10.300	13.5700	171.06
	4	20.500	20.500	9.900	10.200	13.6410	171.96
	5	20.600	20.600	9.700	10.100	13.7440	178.55
						\bar{X} :	177.08
σ :					5.29	CV:	2.988

- Fecha de elaboración: 27 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 28 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	10.200	9.600	16.2210	210.73
	2	20.900	20.900	10.100	9.700	16.8590	219.01
	D	20.400	20.400	10.000	9.700	14.7160	193.12
	4	20.400	20.400	10.200	9.700	16.4440	211.48
	5	20.700	20.700	10.100	9.700	16.1590	209.92
						\bar{X} :	212.79
σ :					4.20	CV:	1.974

- Fecha de elaboración: 29 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 30 de Noviembre del 2018

Curado Proceso B (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	10.200	10.200	15.6020	190.94
	2	20.700	20.700	10.200	10.200	14.9090	182.46
	3	20.600	20.600	10.100	10.100	15.4410	192.73
	4	20.600	20.600	10.100	10.100	14.7970	184.69
	5	20.400	20.400	10.300	10.300	15.6660	188.02
						\bar{X} :	187.76
σ :					4.25	CV:	2.266

6.2.1.4. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.55*

- Fecha de elaboración: 03 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 04 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.200	18.7140	238.27
	D	20.600	20.600	9.800	10.300	16.4880	207.85
	3	20.500	20.500	9.700	10.200	18.2583	234.81
	4	20.600	20.600	9.700	10.200	18.9161	243.27
	5	20.500	20.500	9.700	10.100	18.3410	238.27
						\bar{X} :	238.66
σ :					3.48	CV:	1.459

- Fecha de elaboración: 04 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 05 de diciembre del 2018

Curado Proceso B (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	10.000	10.100	18.7000	235.73
	2	20.500	20.500	9.900	10.200	18.1560	228.87
	3	20.600	20.600	9.800	10.300	19.5370	246.28
	4	20.700	20.700	9.800	10.200	18.8090	239.48
	5	20.600	20.600	9.700	10.400	18.9670	239.10
						\bar{X} :	237.89
σ :					6.33	CV:	2.662

- Fecha de elaboración: 05 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 06 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.200	20.200	9.700	10.100	15.2720	198.40
	2	20.700	20.700	9.700	10.400	16.2840	205.28
	3	20.500	20.500	9.600	10.000	15.1840	201.30
	4	20.600	20.600	9.500	10.200	16.0190	210.22
	5	20.500	20.500	9.800	10.200	15.8030	201.21
						\bar{X} :	203.28
σ :					4.59	CV:	2.257

6.2.1.5. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.50

- Fecha de elaboración: 10 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 11 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.300	18.9440	238.81
	2	20.600	20.600	9.800	10.100	19.2210	247.20
	3	20.800	20.800	9.700	10.200	19.2430	247.48
	4	20.700	20.700	9.800	10.100	18.8390	242.28
	5	20.500	20.500	9.800	10.200	19.8690	252.98
						\bar{X} :	245.75
σ :					5.42	CV:	2.206

- Fecha de elaboración: 11 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 12 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.900	10.200	19.4150	244.75
	2	20.400	20.400	9.700	10.200	19.9470	256.53
	3	20.600	20.600	9.800	10.300	20.7790	261.94
	4	20.500	20.500	9.800	10.300	19.8670	250.44
	5	20.800	20.800	9.700	10.300	19.4160	247.21
						\bar{X} :	252.17
σ :					7.02	CV:	2.784

- Fecha de elaboración: 12 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 13 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.300	20.5220	258.70
	D	20.500	20.500	9.900	10.200	17.6830	222.94
	3	20.500	20.500	9.700	10.200	19.9950	257.15
	4	20.500	20.500	9.800	10.100	20.6780	265.93
	5	20.500	20.500	9.800	10.200	19.8040	252.15
						\bar{X} :	258.48
σ :					5.70	CV:	2.204

6.2.1.6. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.45*

- Fecha de elaboración: 17 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 18 de Diciembre de 2018

Curado Proceso B (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	19.3060	245.81
	2	20.500	20.500	9.800	10.200	20.4850	260.82
	3	20.600	20.600	9.800	10.300	20.2360	255.10
	4	20.700	20.700	9.800	10.200	20.0810	255.68
	5	20.600	20.600	9.900	10.200	19.9150	251.05
						\bar{X} :	253.69
		σ :	5.61	CV:	2.211		

- Fecha de elaboración: 18 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 19 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.300	23.1710	292.09
	D	20.500	20.500	9.800	10.200	21.4420	273.01
	3	20.600	20.600	9.800	10.100	22.8760	294.20
	D	20.800	20.800	9.800	10.200	24.7410	315.01
	5	20.600	20.600	9.800	10.300	24.1920	304.96
						\bar{X} :	297.09
		σ :	6.90	CV:	2.324		

- Fecha de elaboración: 19 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 20 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.700	10.300	22.6790	288.76
	2	20.600	20.600	9.700	10.200	22.7380	292.43
	3	20.800	20.800	9.800	10.200	23.0980	294.09
	4	20.600	20.600	9.800	10.100	23.7650	305.63
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	23.4180	298.17
						\bar{X} :	295.82
		σ :	6.45	CV:	2.179		

6.2.1.7. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.40*

- Fecha de elaboración: 26 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 27 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.700	10.200	22.5890	290.51
	2	20.600	20.600	9.700	10.200	21.6750	278.76
	3	20.600	20.600	9.800	10.300	22.9640	289.48
	4	20.600	20.600	9.800	10.200	22.9850	292.65
	D	20.600	20.600	9.800	10.300	21.6410	272.81
						\bar{X} :	287.85
σ :					6.21	CV:	2.156

- Fecha de elaboración: 27 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 28 de Diciembre del 2018

Curado Proceso B (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.400	20.400	9.900	10.400	24.0590	297.34
	D	20.600	20.600	9.800	10.300	22.6180	285.42
	3	20.700	20.700	9.800	10.300	24.6180	310.34
	4	20.600	20.600	9.700	10.100	24.5010	318.29
	5	20.500	20.500	9.800	10.300	24.3980	307.56
						\bar{X} :	308.38
σ :					8.65	CV:	2.806

- Fecha de elaboración: 29 de Enero del 2019
- Fecha de ensayo: 26 de Febrero del 2019

Curado Proceso B (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.100	24.2851	312.32
	2	20.700	20.700	9.800	10.200	25.4157	323.60
	3	20.500	20.500	9.800	9.800	24.8067	328.87
	4	20.600	20.600	9.800	10.200	25.8100	328.62
	5	20.800	20.800	9.800	10.200	25.0862	319.41
						\bar{X} :	322.57
σ :					6.94	CV:	2.150

6.2.1.8. *Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado B; a/c: 0.35*

- Fecha de elaboración: 05 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 05 de Marzo del 2019

Curado Proceso B (1/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.400	22.8210	284.84
	2	20.800	20.800	10.000	10.200	22.9570	286.54
	D	20.400	20.400	9.800	10.300	24.4790	308.58
	4	20.700	20.700	9.900	10.300	22.4678	280.43
	5	20.600	20.600	10.000	10.300	23.1904	286.61
						\bar{X} :	284.60
σ :					2.90	CV:	1.019

- Fecha de elaboración: 06 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 07 de Febrero del 2019

Curado Proceso B (2/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	10.400	9.900	28.9720	358.06
	2	20.500	20.500	10.300	9.900	28.7310	358.61
	3	20.600	20.600	10.300	9.900	28.2590	352.72
	4	20.700	20.700	10.200	9.900	28.4840	359.07
	5	20.600	20.600	10.200	9.900	29.1080	366.94
						\bar{X} :	359.08
σ :					5.09	CV:	1.417

- Fecha de elaboración: 07 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 08 de Febrero del 2019

Curado Proceso B (3/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.800	20.800	9.900	10.300	24.0324	299.96
	D	20.700	20.700	10.000	10.500	22.5041	272.72
	3	20.800	20.800	9.900	10.300	24.4509	305.18
	4	20.800	20.800	9.800	10.300	22.8191	287.66
	5	20.800	20.800	9.900	10.300	23.8688	297.92
						\bar{X} :	297.68
σ :					7.35	CV:	2.469

6.2.1. Resultados de la resistencia del concreto endurecido a través del procedimiento de curado acelerado D (Presión y Alta Temperatura)

Los especímenes de concreto están expuestos a condiciones de curado acelerado que les permiten desarrollar una porción significativa de su resistencia última dentro de un periodo de tiempo en el rango de 5 horas. El procedimiento D desarrolla una aplicación simultánea de elevada presión mediante un pistón hidráulico y alta temperatura que es suministrada mediante una resistencia amoldada a un contenedor especial que contendrá al espécimen de concreto. Finalmente las probetas sometidas serán sometidas a ensayo de compresión axial según (NTP 339.034, 2008).

En la página 65 se mostró los pasos a seguir para el desarrollo paso a paso del procedimiento de curado acelerado D, por lo que en este Sub-capítulo solo se limitará a mostrar los resultados finales de este procedimiento.

6.2.1.1. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.70

- Fecha de elaboración y ensayo: 05 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (4/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	7.0930	160.55
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	6.8820	155.78
		0.000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.00
						\bar{X} :	158.16
						σ :	3.38
						CV:	2.135

- Fecha de elaboración y ensayo: 07 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (6/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	6.3140	142.92
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	6.5430	148.10
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	6.7180	152.06
						\bar{X} :	145.51
						σ :	3.67
						CV:	2.519

- Fecha de elaboración y ensayo: 08 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (7/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	6.4230	145.39
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	6.8300	154.60
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	6.6060	149.53
						\bar{X} :	147.46
		σ :	2.93	CV:			1.986

6.2.1.2. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.65

- Fecha de elaboración y ensayo: 13 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (1/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.0100	181.31
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.2910	187.67
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	8.9030	201.52
						\bar{X} :	184.49
		σ :	4.50	CV:			2.438

- Fecha de elaboración y ensayo: 14 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (2/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.3830	189.75
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.4590	191.47
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	8.7920	199.04
						\bar{X} :	190.61
		σ :	1.22	CV:			0.638

- Fecha de elaboración y ensayo: 15 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (3/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.1580	184.66
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.1220	183.84
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	7.6490	173.14
						\bar{X} :	184.25
σ :		0.58		CV:		0.313	

6.2.1.3. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.60

- Fecha de elaboración y ensayo: 26 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.9803	203.27
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.7430	197.90
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	8.8780	200.96
						\bar{X} :	200.59
σ :		3.80		CV:		1.894	

- Fecha de elaboración y ensayo: 27 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.9920	203.54
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.6330	195.41
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	8.3180	188.28
						\bar{X} :	199.47
σ :		5.75		CV:		2.881	

- Fecha de elaboración y ensayo: 28 de Noviembre del 2018

Curado Proceso D (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	8.2050	185.72
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	8.3080	188.05
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	7.9970	181.02
						\bar{X} :	186.89
		σ :	1.65	CV:			0.882

6.2.1.4. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.55

- Fecha de elaboración y ensayo: 03 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	9.9080	224.27
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	10.0160	226.72
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	9.8480	222.91
						\bar{X} :	224.63
		σ :	1.93	CV:			0.858

- Fecha de elaboración y ensayo: 05 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	9.9690	225.65
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	9.7180	219.97
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	9.1310	206.68
						\bar{X} :	222.81
		σ :	4.02	CV:			1.803

- Fecha de elaboración y ensayo: 06 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	9.7570	220.85
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	9.8250	222.39
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	9.8570	223.12
						\bar{X} :	221.62
σ :		1.09		CV:		0.491	

6.2.1.5. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.50

- Fecha de elaboración y ensayo: 11 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	10.9550	247.97
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	11.3260	256.37
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	7.6510	173.18
						\bar{X} :	252.17
σ :		5.94		CV:		2.355	

- Fecha de elaboración y ensayo: 12 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	11.0670	250.51
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	11.5400	261.21
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	0.00	0.00
						\bar{X} :	255.86
σ :		7.57		CV:		2.959	

- Fecha de elaboración y ensayo: 13 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	10.6610	241.32
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	10.8910	246.52
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	13.7650	311.58
						\bar{X} :	243.92
		σ :	3.68	CV:			1.509

6.2.1.6. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.45

- Fecha de elaboración y ensayo: 17 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	12.3630	279.84
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	12.1310	274.59
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	0.0000	0.00
						\bar{X} :	277.22
		σ :	3.71	CV:			1.340

- Fecha de elaboración y ensayo: 18 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	12.1400	274.79
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	12.4210	281.15
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	0.0000	0.00
						\bar{X} :	277.97
		σ :	4.50	CV:			1.618

- Fecha de elaboración y ensayo: 19 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	12.8220	290.23
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	12.0860	273.57
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	12.4670	282.20
						\bar{X} :	282.00
		σ :	8.33	CV:	2.954		

6.2.1.7. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.40

- Fecha de elaboración y ensayo: 26 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	D	15.000	15.000	7.500	7.500	4.9050	111.03
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	13.5960	307.75
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	13.0500	295.39
						\bar{X} :	301.57
		σ :	8.74	CV:	2.898		

- Fecha de elaboración y ensayo: 27 de Diciembre del 2018

Curado Proceso D (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	14.7200	333.19
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	14.7500	333.87
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	14.1000	319.16
						\bar{X} :	328.74
		σ :	8.31	CV:	2.526		

- Fecha de elaboración y ensayo: 30 de Enero del 2019

Curado Proceso D (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	13.0280	294.89
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	13.7500	311.24
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	13.4500	304.45
						\bar{X} :	303.53
		σ :	8.21	CV:			2.705

6.2.1.8. Resultados de la Resistencia del concreto con el procedimiento de curado acelerado D; a/c: 0.35

- Fecha de elaboración y ensayo: 05 de Febrero del 2019

Curado Proceso D (1/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	14.9600	338.63
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	15.4500	349.72
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	14.8200	335.46
						\bar{X} :	341.27
		σ :	7.49	CV:			2.194

- Fecha de elaboración y ensayo: 06 de Febrero del 2019

Curado Proceso D (2/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	15.4640	350.03
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	15.5290	351.50
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	15.8450	358.66
						\bar{X} :	353.40
		σ :	4.61	CV:			1.305

- Fecha de elaboración y ensayo: 07 de Febrero del 2019

Curado Proceso D (3/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	14.7410	333.67
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	14.2100	321.65
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	14.3800	325.50
						\bar{X} :	326.94
		σ :	6.14	CV:			1.877

RESULTADOS MECANICOS DEL CONCRETO ENDURECIDO MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ESTÁNDAR.

Para este sub-capitulo se mostrará los resultados finales del curado (NTP 339.033, 2009) y el ensayo de compresión axial (NTP 339.034, 2008) del concreto de cada relación a/c que se ha desarrollado en este proyecto. Los resultados que a continuación se van a presentar fueron ensayados en el Laboratorio N°1 de Ensayos de Materiales en la Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los ensayos han sido supervisados por el encargado del área y el proceso ha estado bajo los reglamentos anteriormente presentados.

6.3.1. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.70

- Fecha de elaboración: 05 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo. 03 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (4/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.300	20.300	10.200	9.700	20.62	265.23
	2	20.700	20.700	10.200	9.800	20.28	258.17
	3	20.500	20.500	10.200	9.800	20.05	255.26
	4	20.300	20.300	10.200	9.800	20.62	262.50
	5	20.300	20.500	10.300	9.800	21.07	265.62
						\bar{X} :	261.36
		σ :	4.52	CV:			1.730

- Fecha de elaboración: 06 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 04 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (5/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.300	21.341	269.03
	D	20.400	20.400	9.800	10.200	19.524	248.59
	3	20.300	20.300	9.800	10.100	20.520	263.90
	4	20.500	20.500	9.700	10.300	19.822	252.38
	5	20.400	20.400	9.600	10.200	20.074	260.78
						\bar{X} :	261.52
σ :		6.98		CV:		2.668	

- Fecha de elaboración: 07 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 05 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (6/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.5000	9.800	10.200	21.8935	267.93
	2	20.500	20.5000	9.700	10.200	22.3712	273.78
	3	20.600	20.6000	9.800	10.200	22.0861	270.29
	D	20.500	20.5000	9.800	10.300	20.9545	251.49
	5	20.500	20.5000	9.800	10.300	21.7124	260.58
						\bar{X} :	268.15
σ :		5.59		CV:		2.083	

- Fecha de elaboración: 08 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 06 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (7/8)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.300	20.3000	9.600	10.300	20.9840	269.87
	2	20.700	20.7000	9.800	10.100	20.4590	263.12
	3	20.500	20.5000	9.700	10.100	20.4555	265.74
	4	20.600	20.6000	9.800	10.100	20.4590	263.12
	5	20.500	20.5000	9.900	10.300	21.3412	266.37
						\bar{X} :	265.64
σ :		2.79		CV:		1.051	

6.3.2. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.65

- Fecha de elaboración: 13 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 11 de Noviembre del 2018

Curado Estándar (1/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f" (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.400	22.0940	275.77
	2	20.500	20.500	9.700	10.200	21.5900	277.66
	3	20.400	20.400	9.700	10.300	21.9570	279.57
	4	20.300	20.300	9.700	10.200	21.3150	274.13
	5	20.400	20.400	9.800	10.400	22.4180	279.81
						\bar{X} :	277.39
σ :					2.45	CV:	0.882

- Fecha de elaboración: 14 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 12 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (2/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.300	23.7780	299.75
	2	20.500	20.500	9.200	10.200	22.3550	302.51
	3	20.500	20.500	9.800	10.200	23.2650	296.22
	4	20.400	20.400	9.500	10.100	23.2640	308.42
	D	20.500	20.500	9.700	10.200	21.9820	282.70
						\bar{X} :	301.72
σ :					5.15	CV:	1.708

- Fecha de elaboración: 15 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 13 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (3/5)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.100	23.6500	304.16
	D	20.800	20.800	9.700	10.300	25.5670	325.53
	3	20.500	20.500	9.800	10.200	22.8800	291.32
	4	20.600	20.600	9.700	10.100	23.5810	306.34
	5	20.600	20.600	9.800	10.200	23.6450	301.06
						\bar{X} :	300.72
σ :					6.63	CV:	2.205

6.3.3. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.60

- Fecha de elaboración: 26 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 24 de diciembre del 2018

Curado Estándar (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)	
	1	20.700	20.700	9.900	10.300	23.3540	291.49	
	2	20.600	20.600	9.700	10.300	23.4440	298.50	
	D	20.600	20.600	10.000	10.300	20.4320	252.52	
	4	20.700	20.700	9.800	10.400	23.4410	292.58	
	D	20.200	20.200	9.800	10.200	26.1310	332.71	
						\bar{X} :	294.19	
σ :						3.77	CV:	1.282

- Fecha de elaboración: 27 de Noviembre del 2018
- Fecha de elaboración: 26 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)	
	1	20.600	20.600	9.800	10.400	23.3500	291.44	
	2	20.300	20.300	9.800	10.500	23.1130	285.65	
	D	20.500	20.500	9.700	10.100	20.2190	262.66	
	4	20.600	20.600	9.900	10.400	24.5990	304.02	
	5	20.600	20.600	9.800	10.200	23.6740	301.43	
						\bar{X} :	295.63	
σ :						8.58	CV:	2.904

- Fecha de elaboración: 29 de Noviembre del 2018
- Fecha de ensayo: 27 de Diciembre del 2018

Curado Estándar (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)	
	1	20.500	20.500	9.700	10.200	22.5790	290.38	
	2	20.600	20.600	9.700	10.100	23.6240	306.90	
	3	20.500	20.500	9.900	10.200	23.7390	299.25	
	4	20.500	20.500	9.700	10.300	22.6990	289.01	
	D	20.500	20.500	9.700	10.200	24.3240	312.82	
						\bar{X} :	296.39	
σ :						8.35	CV:	2.817

6.3.4. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.55

- Fecha de elaboración: 03 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 02 de Enero del 2019

Curado Estándar (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'' (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	28.6020	364.17
	2	20.500	20.500	9.700	10.200	29.6060	380.75
	3	20.400	20.400	9.700	10.100	29.9370	388.91
	4	20.600	20.600	9.700	10.200	28.8306	370.78
	5	20.500	20.500	9.800	10.200	29.2800	372.80
						\bar{X} :	375.48
σ :					9.56	CV:	2.545

- Fecha de elaboración: 04 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 02 de Enero del 2019

Curado Estándar (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	9.700	10.300	30.9740	394.37
	D	20.700	20.700	9.800	10.300	28.7000	361.79
	3	20.500	20.500	9.800	10.200	30.2860	385.61
	4	20.500	20.500	9.800	10.100	30.4130	391.13
	5	20.500	20.500	9.700	10.200	30.2450	388.97
						\bar{X} :	390.02
σ :					3.68	CV:	0.944

- Fecha de elaboración: 05 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 02 de Enero del 2019

Curado Estándar (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	D	20.500	20.500	10.100	9.700	29.3970	381.89
	D	20.500	20.500	10.200	9.700	26.2217	337.23
	3	20.500	20.500	10.300	9.800	28.1460	354.81
	4	20.500	20.500	10.200	9.800	28.7190	365.66
	5	20.100	20.100	10.200	9.800	29.1620	371.30
						\bar{X} :	363.92
σ :					8.38	CV:	2.303

- Fecha de elaboración: 06 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 03 de Enero del 2019

Curado Estándar (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.100	26.5878	341.94
	D	20.500	20.500	9.700	10.100	28.8310	374.54
	D	20.700	20.700	9.700	10.300	21.1520	269.32
	4	20.300	20.300	9.800	10.200	26.8680	342.09
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	26.6540	339.37
						\bar{X} :	341.13
σ :		1.53		CV:		0.448	

6.3.5. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.50

- Fecha de elaboración: 10 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 07 de Enero del 2019

Curado Estándar (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	D	20.600	20.600	9.800	10.300	32.3715	408.08
	2	20.500	20.500	9.800	10.100	31.3972	403.79
	3	20.700	20.700	9.800	10.200	29.9260	381.03
	4	20.600	20.600	9.800	10.200	30.8920	393.33
	5	20.600	20.600	9.800	10.200	29.9722	381.62
						\bar{X} :	389.94
σ :		10.83		CV:		2.778	

- Fecha de elaboración: 11 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 08 de Enero del 2019

Curado Estándar (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.400	31.4778	392.89
	2	20.800	20.800	9.700	10.300	30.3460	386.38
	3	20.500	20.500	9.800	10.200	30.6910	390.77
	4	20.700	20.700	9.800	10.600	31.0570	380.07
	5	20.700	20.700	9.800	10.100	29.1983	375.51
						\bar{X} :	385.12
σ :		7.27		CV:		1.889	

- Fecha de elaboración: 12 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 09 de enero del 2019

Curado Estándar (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.300	29.6440	373.69
	2	20.700	20.700	9.800	10.300	29.2080	368.20
	3	20.700	20.700	9.800	10.300	30.9663	390.36
	4	20.600	20.600	9.800	10.300	30.9413	390.05
	5	20.500	20.500	9.800	10.100	30.5555	392.96
						\bar{X} :	383.05
σ :					11.28	CV:	2.945

- Fecha de elaboración: 13 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 10 de Enero del 2019

Curado Estándar (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	30.4300	387.45
	2	20.700	20.700	9.800	10.200	31.4735	400.73
	3	20.400	20.400	9.800	10.200	29.8668	380.28
	4	20.500	20.500	9.800	10.200	31.2250	397.57
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	30.0287	382.34
						\bar{X} :	389.67
σ :					9.11	CV:	2.337

6.3.6. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.45

- Fecha de elaboración: 17 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 14 de Enero del 2019

Curado Estándar (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.800	20.800	9.800	10.200	30.4130	387.23
	2	20.500	20.500	9.800	10.200	30.6708	390.51
	3	20.500	20.500	9.900	10.300	31.8627	397.69
	4	20.800	20.800	9.800	10.200	29.8511	380.08
	5	20.600	20.600	9.900	10.400	30.4726	376.61
						\bar{X} :	386.42
σ :					8.38	CV:	2.169

- Fecha de elaboración: 18 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 15 de Enero del 2019

Curado Estándar (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.200	33.3698	424.88
	2	20.700	20.700	9.900	10.200	33.0829	417.04
	3	20.700	20.700	9.800	10.300	32.8699	414.36
	4	20.500	20.500	9.800	10.200	32.2473	410.59
	5	20.500	20.500	9.800	10.300	34.2151	431.32
						\bar{X} :	419.64
						σ :	8.37
						CV:	1.995

- Fecha de elaboración: 19 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 16 de Enero del 2019

Curado Estándar (3/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	31.9775	407.15
	2	20.600	20.600	9.800	10.200	31.8299	405.27
	3	20.800	20.800	9.800	10.100	33.2200	427.23
	4	20.600	20.600	9.800	10.200	32.6118	415.23
	D	20.800	20.800	9.800	10.400	31.0382	387.40
						\bar{X} :	413.72
						σ :	9.99
						CV:	2.415

6.3.7. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.40

- Fecha de elaboración: 26 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 23 de Enero del 2019

Curado Estándar (1/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)
	1	20.600	20.600	9.800	10.200	34.6530	441.22
	2	20.600	20.600	9.800	10.300	35.3060	445.07
	3	20.600	20.600	9.800	10.200	34.8340	443.52
	4	20.600	20.600	9.800	10.200	34.8100	443.21
	5	20.800	20.800	9.800	10.300	33.9740	428.28
						\bar{X} :	440.26
						σ :	6.84
						CV:	1.553

- Fecha de elaboración: 27 de Diciembre del 2018
- Fecha de ensayo: 24 de Enero del 2019

Curado Estándar (2/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	32.7210	416.62	
	2	20.600	20.600	9.900	10.400	34.2850	423.72	
	3	20.800	20.800	9.900	10.200	33.6520	424.22	
	D	20.700	20.700	9.900	10.200	35.5140	447.69	
	D	20.700	20.700	9.900	10.200	28.9240	364.62	
						\bar{X} :	421.52	
					σ :	4.25	CV:	1.009

- Fecha de elaboración: 30 de Enero del 2019
- Fecha de ensayo: 27 de Febrero del 2019

Curado Estándar (4/4)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	1	20.800	20.800	10.300	9.800	34.7210	437.69	
	2	20.600	20.600	10.300	9.800	34.0800	429.61	
	3	20.700	20.700	10.300	9.800	33.5140	422.48	
	4	20.800	20.800	10.300	9.800	33.6060	423.64	
	5	20.500	20.500	10.300	9.800	33.5210	422.57	
						\bar{X} :	427.20	
					σ :	6.56	CV:	1.537

6.3.8. Resultados de la Resistencia del Concreto con el Procedimiento Estándar; a/c: 0.35

- Fecha de elaboración: 05 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 05 de Marzo del 2019

Curado Estándar (1/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f _c (B)	
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	33.1539	422.13	
	2	20.700	20.700	9.800	10.300	33.0709	416.89	
	D	20.900	20.900	9.800	10.200	34.7884	442.94	
	4	20.800	20.800	9.800	10.400	33.5840	419.18	
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	33.9906	432.78	
						\bar{X} :	422.75	
					σ :	7.03	CV:	1.662

- Fecha de elaboración: 06 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 06 de Marzo del 2019

Curado Estándar (2/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.600	10.400	9.900	28.9720	358.06
	2	20.500	20.500	10.300	9.900	28.7310	358.61
	3	20.600	20.600	10.300	9.900	28.2590	352.72
	4	20.700	20.700	10.200	9.900	28.4840	359.07
	5	20.600	20.600	10.200	9.900	29.1080	366.94
						\bar{X} :	359.08
		σ :	5.09			CV:	1.417

- Fecha de elaboración: 07 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo: 07 de Marzo del 2019

Curado Estándar (3/3)	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.700	20.700	9.800	10.400	33.5035	418.17
	2	20.900	20.900	9.800	10.400	34.5516	431.26
	3	20.600	20.600	9.800	10.400	33.9089	423.23
	4	20.800	20.800	9.800	10.200	34.1725	435.10
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	34.2627	436.25
						\bar{X} :	428.80
		σ :	7.83			CV:	1.825

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL

Siguiendo con el desarrollo del proyecto, ahora se desarrollará el procedimiento para obtener una ecuación de regresión lineal con la finalidad de obtener las ecuaciones de proyección para la culminación final del proyecto.

Aquí se detallará los pasos para el desarrollo del proceso de cálculo de la ecuación de regresión lineal para valores de resistencia a edades mayores y los pasos para el desarrollo de cada procedimiento de curado acelerado.

Según la norma (NTP 339.213, 2015) que se está aplicando en este trabajo, en unos de sus anexos nos brinda teoría para el cálculo de estimación de resistencia a edades mayores, que a continuación se mostrará.

Los valores para el desarrollo de este capítulo serán obtenidos del Capítulo VIII (página 82). Además, los siguientes procedimientos están basados en trabajos desarrollados por (WILL, 1975) y (CARINO, 1994), además corroborados con el procedimiento del ejemplo adjunto en la (NTP 339.213, 2015).

7.1. ECUACION DE REGRESION

Si se desea estimar el potencial de resistencia a edades mayores de una medición de resistencia acelerada a edades tempranas, la zona en donde se va a implementar o el laboratorio deberá primero conducir adecuadamente los ensayos para establecer la relación entre los dos tipos de resistencia. Esto usualmente requeriría la preparación de una serie de seis a diez mezclas con relaciones agua-cemento que varían sobre un máximo rango con credibilidad que pueda ser encontrado en las edificaciones actuales. Estas mezclas deberán incluir materiales similares a los usados en la construcción. Ordinariamente será usado el análisis de regresión por mínimos cuadrados para obtener la ecuación de la línea que representa la relación entre las resistencias por curado estándar y un proceso de curado acelerado (NATRELLA, 1963). También se puede representar la ecuación de manera exponencial o logarítmica, pero eso depende de la relación de ambas mezclas, debido a que se puede presentar situaciones en donde la relación obtenida resulta ser no lineal.

Por otro lado, esta relación es aplicada solamente a los materiales específicos y al procedimiento de ensayo acelerado que va a ser usado en este trabajo. El

conteo para la incertidumbre en el resultado de la línea de regresión, la banda de confianza para la línea está establecida. Entonces, para una nueva resistencia acelerada, el intervalo de confianza para el promedio de resistencia a edades mayores puede ser estimado.

7.1.1. Propósito de una ecuación de regresión.

Un análisis de regresión se hace con los siguientes propósitos:

- Encontrar una ecuación que exprese la relación entre dos variables. Esta ecuación relaciona los cambios en una variable con cambios en la otra variable.
- Estimar el valor de la variable aleatoria (dependiente - de respuesta) a partir de que se conoce el valor de una variable asociada (independiente - de predicción)

Y puede ser aplicado en casos en los que se desee:

- Predecir el desempeño en áreas en donde no son deseables o no es posible lograr experimentos controlados.
- Pronosticar o predecir el valor futuro de una variable
- Ahorrar tiempo y dinero, evitando estudios muy largos y tediosos.

Por otro lado, para realizar este tipo de análisis se requiere partir de los mismos supuestos que en el caso de la correlación y también que los valores observados de la variable dependiente son independientes entre sí. (UAEM, 2010)

En esta discusión, se tomará que la relación entre la resistencia con curado estándar (Y) y la resistencia acelerada (X) pueden ser representadas por una línea recta con la siguiente ecuación.

$$Y = a + b X \dots (1)$$

Como ya se mencionó anteriormente, para algunas mezclas de concreto, la relación entre estos dos tipos de resistencia puede ser lineal o no ser lineal y para estas situaciones, los valores de resistencias medidas serán transformados para tomarlos como una línea recta. La línea recta de las resistencias será usado para obtener los valores promedio de X y Y usados en cálculos subsiguientes.

Asumir que n pares de valores (X_i, Y_i) son obtenidos de los ensayos en laboratorio, donde X_i e Y_i son el promedio de resistencias de especímenes de curado estándar y acelerado. El intercepto a y la pendiente b de la línea recta son determinados usando el proceso ordinario de mínimo cuadrados.

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} \dots (2)$$

$$a = \hat{Y} - b X \dots (3)$$

Donde:

$$S_{xy} = \sum (X_i - X)(Y_i - \hat{Y}) \dots (4)$$

$$S_{xx} = \sum (X_i - X)^2 \dots (5)$$

$$X = \frac{\sum X_i}{n} \dots (6)$$

$$\hat{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \dots (7)$$

La desviación residual estándar, S_e , de la mejor línea está dada por la siguiente:

$$S_e = \sqrt{\frac{1}{n-2} \left(S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} \right)} \dots (8)$$

Donde: $S_{yy} = \sum (Y_i - \hat{Y})^2 \dots (9)$

7.1.2. Banda de confianza por regresión lineal.

Debido a las incertidumbres en las estimaciones de la pendiente y el intercepto de la línea, es que será incierta cuando la línea es usada para estimar el promedio de resistencia con curado estándar de una medida de resistencia acelerada. Estas incertidumbres pueden ser expresadas por construcción con 90% de confianza de la banda para la línea. Esta banda es obtenida por el cálculo de Y_i para valores seleccionados de X_i usando la ecuación de la línea y planteando $Y_i \pm W_i$ versus X_i . El término W_i el ancho medio de la banda de confianza a X_i y está dado por la siguiente ecuación:

$$W_i = S_e \sqrt{2F} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(X_i - X)^2}{S_{xx}}} \dots (10)$$

Donde:

- S_e : Desviación residual estándar para la mejor línea (8)
- F : Valor de distribución F para 2 y $n - 2$ grados de libertad y nivel de significancia de 0.10
- n : Número de puntos data usados para establecer la regresión de la línea.
- X_i : Valor seleccionado de la resistencia acelerada, Y
- X : Gran valor promedio de resistencia acelerada para todos los datos usados para establecer la línea de regresión.

7.1.3. Estimación de Resistencia a edades ultimas

Asumiendo que tenemos el valor de la resistencia de un espécimen de prueba ensayado a edades tempranas, realizando lo mencionado en los anteriores subcapítulos, tendríamos también la estimación de la resistencia a los 28 días de curado estándar. Si la resistencia acelerada fue conocida sin error el 90% del intervalo de confianza para el promedio de resistencia a los 28 días será simplemente la resta y la suma de este valor estimado de la resistencia a los 28 días con el valor de la banda de confianza de la regresión lineal W_i . Sin embargo, la resistencia acelerada tiene una incertidumbre que esta descrita por la desviación estándar de la tanda, que puede ser estimada de las diferencia de la cantidad de cilindros de resistencia aceleradas. El intervalo de confianza del 90% para el promedio de resistencia acelerada de n cilindros es como sigue:

$$= X_i \mp Z_{0.05} \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \dots (11)$$

Donde $Z_{0.05}$ es el valor de la distribución normal correspondiente al 5% del área bajo la curva.

Cuando la ecuación de regresión empieza a ser usada sobre el proyecto, los grupos de cilindros serán preparados a lo largo de los cilindros para ensayo acelerado. Los cilindros compañeros estarán sujetos al curado estándar y ensayados por resistencia a la compresión a la edad designada. La medida de resistencia con curado estándar será comparada con el intervalo de confianza para la estimación de resistencias basadas en las resistencias aceleradas de compañía. Si las mediciones de resistencias consistentemente fallan o caen fuera de los intervalos de confianza, la confiabilidad de la línea de regresión y su estadística asociada es cuestionable.

El nuevo conjunto de resultados será añadido a la data de los ensayos de correlación del laboratorio para calcular una nueva línea de regresión y sus correspondientes valores estadísticos. Esta nueva línea será usada para subsiguientes estimaciones de resistencias potenciales a edades mayores. La toma de pares de muestras de cilindros de curado estándar y acelerado será continuada mientras las mediciones de resistencia sean consistentes o caigan en el correspondiente intervalo de confianza calculado. Una vez que la confiabilidad del procedimiento ha sido demostrada, los grupos de cilindros serán hechos a intervalos al azar para reafirmar que el procedimiento continúa siendo confiable.

7.2 ECUACION DE REGRESION LINEAL PARA EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ACELERADO "B"

7.2.2. Datos iniciales

Como antes ya se mencionó se asumirá que: La resistencia con curado estándar (Y); La resistencia con curado acelerado B (X). Estas variables serán usadas para la representación de la ecuación de proyección.

a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 días Yi, Kg/cm2
0.35	284.60	422.75
	359.08	498.15
	297.68	428.80
0.40	287.85	440.26
	308.38	421.52
	322.57	427.20
0.45	253.69	386.42
	297.09	419.64
	295.82	413.72
0.50	245.75	389.94
	252.17	385.12
	258.48	383.05

a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 días Yi, Kg/cm2
0.55	238.66	375.48
	237.89	390.02
	203.28	363.92
0.60	177.08	294.19
	186.67	300.09
	187.76	296.39
0.65	155.50	277.39
	170.86	301.72
	159.87	300.72
0.70	130.69	261.36
	130.42	261.52
	151.36	268.15

Entonces de los datos de compresión que ya se han obtenidos se puede avanzar con las ecuaciones (6) y (7) que se desarrolla en el Capítulo IV:

- *Tamaño de la muestra (n): 24*
- *Promedio (X): 233.05*
- *Promedio (Y): 362.81*

Ahora vamos a calcular las variables: S_{xy} , S_{xy} y S_{xx} ; ahora se presentará los cálculos ya procesados, se tiene que entender que los procesos están descrito en el Capítulo IV de este proyecto.

De la ecuación (4), (5) y (9) desarrolladas en el capítulo IV se obtienen lo siguiente:

- *Sumatoria S_{xy}* : 100858.92
- *Sumatoria S_{xx}* : 100246.32
- *Sumatoria S_{yy}* : 106232.76

Finalmente usando las ecuaciones (2) y (3), se obtiene:

- *Pendiente (b)*: 1.01
- *Intercepto (a)*: 128.34

A continuación, con los datos anteriormente calculados, se obtienen la ecuación (8) que es la desviación residual estándar:

- *Desv. Resid. Stndr. (S_e)* : 14.71

7.2.3. Banda de Confidencia por regresión lineal

Como antes ya se mencionó en el Subcapítulo 7.3.2 (Página 124), esta banda de confidencia nos permitirá calcular un rango de confianza en el cual los valores que estén dentro de este, serán los valores que el valor proyectado va a estar si se compara con un valor que este realizado con el método tradicional de desarrollo.

Para seguir con el procedimiento usaremos la Tabla de Fisher, esta tabla nos permite fundamentalmente contrastar la igual de las varianzas de dos conjunto de valores normales y también en el uso del análisis de la varianza, esto permite detectar la existencia o inexistencia de diferentes diferencias significativas entre muestras diferentes; en otras palabras, muestra la diferencia entre todo aquellos casos en los que se requiere investigar la relevancia de un factor en el desarrollo y naturaleza de una característica. Entonces mostrando a continuación los siguientes parámetros y usando la tabla Fisher adjunta en Anexos, se obtiene:

$$\bullet \left. \begin{array}{l} \text{num: } 2 \\ * \\ n - 2: 22 \\ * \\ \text{Sgnf: } 90\% \end{array} \right\} \text{ entonces } F(0.9) = 2.56$$

Entonces, siguiendo con el desarrollo, usando la ecuación (10) de capítulo IV y los valores de intercepto (a) y Pendiente (b) se ha desarrollado el siguiente cuadro.

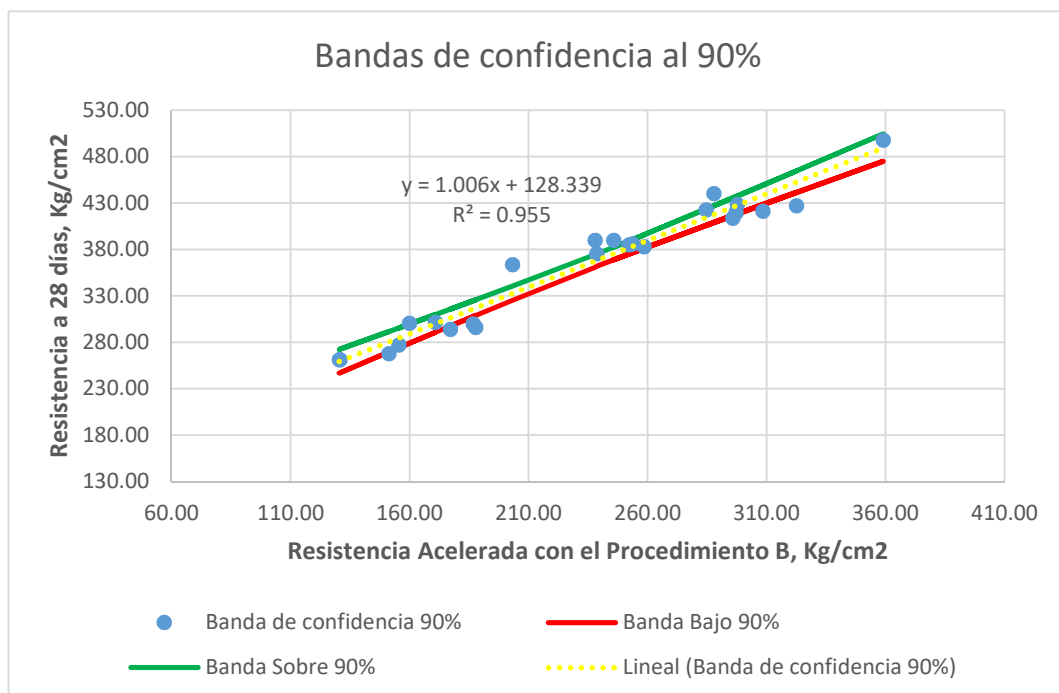
a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 d Yi, Kg/cm2	Resist Estim Y, Kg/cm2	Wi, Kg/cm2	Lim Inf Conf, Kg/cm2	Lim Sup Conf, Kg/cm2
0.35	284.60	422.75	418.45	10.16	408.29	428.62
	359.08	498.15	497.06	17.52	479.54	514.59
	297.68	428.80	432.26	11.25	421.01	443.51
0.40	287.85	440.26	421.88	10.42	411.46	432.30
	308.38	421.52	443.55	12.23	431.32	455.78
	316.16	476.98	451.76	12.98	438.78	464.75
0.45	253.69	386.42	385.83	8.32	377.50	394.15
	297.09	419.64	431.63	11.20	420.43	442.83
	295.82	413.72	430.29	11.09	419.20	441.37
0.50	245.75	389.94	377.44	8.08	369.36	385.53
	252.17	385.12	384.22	8.27	375.95	392.49
	258.48	383.05	390.88	8.52	382.36	399.40
0.55	238.66	375.48	369.96	7.97	361.99	377.93
	237.89	390.02	369.15	7.96	361.19	377.11
	203.28	363.92	332.62	8.81	323.80	341.43

0.60	177.08	294.19	304.96	10.64	294.32	315.60
	212.79	295.63	342.65	8.37	334.28	351.02
	186.67	300.09	315.08	9.89	305.20	324.97
0.65	155.50	277.39	282.18	12.59	269.59	294.77
	170.86	301.72	298.40	11.17	287.23	309.57
	159.87	300.72	286.80	12.17	274.62	298.97
0.70	130.69	261.36	255.99	15.12	240.87	271.11
	130.42	261.52	255.71	15.15	240.56	270.85
	151.36	268.15	277.81	13.00	264.81	290.80

7.2.4. Gráfico para la estimación de resistencia a edades mayores (procedimiento B).

Al terminar con el desarrollo del cuadro, se culminó con el gráfico correspondiente.

Tabla N° 14. Banda de Confidencia al 90% - Procedimiento de Curado Acelerado B.



En donde la Línea Verde o Limite Superior y la Línea Roja o Límite Inferior son los límites de la banda de confianza para establecer todos los valores posibles al momento de proyectar un valor de compresión axial, usando el procedimiento de curado acelerado B, que va a hacer uso de la ecuación lineal obtenido en el grafico anterior.

La calidad de la ecuación anteriormente mostrará tiene un desarrollo de sus componentes de un $R^2 = 0.96$, demostrándose así que la ecuación tiene propiedades de proyección muy altas y que también puede ser utilizada en el campo laboral.

7.3 ECUACIÓN DE REGRESIÓN LINEAL PARA EL PROCEDIMIENTO DE CURADO ACELERADO "D"

7.3.1. Datos iniciales

Como antes ya se mencionó se asumirá que: La resistencia con curado estándar (Y); La resistencia con curado acelerado D (X). Estas variables serán usadas para la representación de la ecuación de proyección.

a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 días Yi, Kg/cm2
0.35	341.27	422.75
	353.40	498.15
	326.94	428.80
0.40	301.57	440.26
	328.74	421.52
	303.53	427.20
0.45	277.22	386.42
	277.97	419.64
	282.00	413.72
0.50	252.17	385.12
	255.86	383.05
	243.92	389.67

a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 días Yi, Kg/cm2
0.55	224.63	375.48
	222.81	363.92
	221.62	341.13
0.60	200.59	294.19
	199.47	295.63
	186.89	300.09
0.65	184.49	277.39
	190.61	301.72
	184.25	300.72
0.70	158.16	261.36
	145.51	268.15
	147.46	265.64

Entonces de los datos de compresión que ya se han obtenidos se puede avanzar con las ecuaciones (6) y (7) que se desarrolla en el Capítulo IV:

- *Tamaño de la muestra (n): 24*
- *Promedio (X): 242.13*
- *Promedio (Y): 360.91*

Ahora vamos a calcular las variables: S_{xy} , S_{xy} y S_{xx} ; ahora se presentará los cálculos ya procesados, se tiene que entender que los procesos están descrito en el Capítulo IV de este proyecto.

De la ecuación (4), (5) y (9) desarrolladas en el capítulo IV se obtienen lo siguiente:

- *Sumatoria S_{xy}* : 93595.14
- *Sumatoria S_{xx}* : 90974.05
- *Sumatoria S_{yy}* : 105143.48

Finalmente usando las ecuaciones (2) y (3), se obtiene:

- *Pendiente (b)*: 1.03
- *Intercepto (a)*: 111.8

A continuación, con los datos anteriormente calculados, se obtienen la ecuación (8) que es la desviación residual estándar:

- *Desv. Resid. Stndr. (S_e)* : 20.06

7.3.2. Banda de Confidencia por regresión lineal

Como antes ya se mencionó en el Subcapítulo 7.3.2 (Página 124), esta banda de confidencia nos permitirá calcular un rango de confianza en el cual los valores que estén dentro de este, serán los valores que el valor proyectado va a estar si se compara con un valor que este realizado con el método tradicional de desarrollo.

Para seguir con el procedimiento usaremos la Tabla de Fisher, esta tabla nos permite fundamentalmente contrastar la igualdad de las varianzas de dos conjunto de valores normales y también en el uso del análisis de la varianza, esto permite detectar la existencia o inexistencia de diferentes diferencias significativas entre muestras diferentes; en otras palabras, muestra la diferencia entre todo aquellos casos en los que se requiere investigar la relevancia de un factor en el desarrollo y naturaleza de una característica. Entonces, mostrando a continuación los siguientes parámetros y usando la tabla Fisher adjunta en Anexos, se obtiene:

$$\bullet \left. \begin{array}{l} \text{num: } 2 \\ * \\ n - 2: 22 \\ * \\ \text{Sgnf: } 90\% \end{array} \right\} \text{ entonces } F(0.9) = 2.56$$

Entonces, siguiendo con el desarrollo, usando la ecuación (10) de capítulo IV y los valores de intercepto (a) y Pendiente (b) se ha desarrollado el siguiente cuadro.

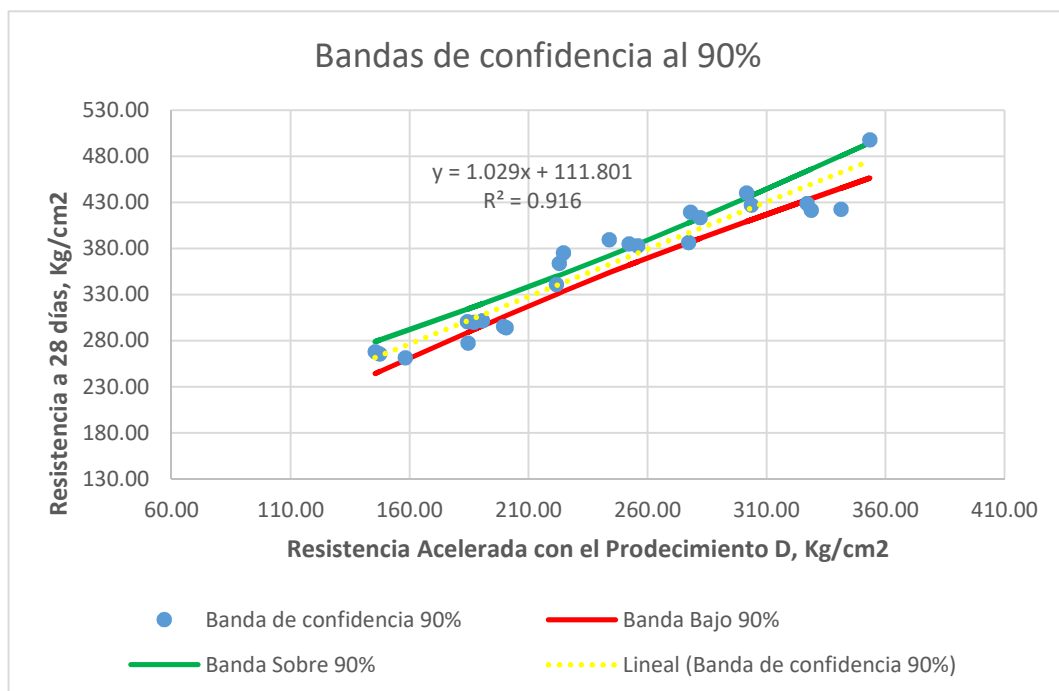
a/c	Resist Acel. Xi, Kg/cm2	Resist 28 d Yi, Kg/cm2	Resist Estim Y, Kg/cm2	Wi, Kg/cm2	Lim Inf Conf, Kg/cm2	Lim Sup Conf, Kg/cm2
0.35	341.27	422.75	462.90	17.57	445.33	480.46
	353.40	498.15	475.38	19.14	456.24	494.52
	326.94	428.80	448.16	15.77	432.38	463.93
0.40	301.57	440.26	422.06	12.88	409.18	434.94
	328.74	421.52	450.01	15.99	434.02	466.01
	303.53	427.20	424.07	13.09	410.98	437.16
0.45	277.22	386.42	397.00	10.67	386.34	407.67
	277.97	419.64	397.78	10.72	387.06	408.51
	282.00	413.72	401.92	11.04	390.88	412.97
0.50	252.17	385.12	371.24	9.39	361.85	380.63
	255.86	383.05	375.03	9.49	365.54	384.53
	243.92	389.67	362.75	9.27	353.48	372.02
0.55	224.63	375.48	342.91	9.63	333.27	352.54
	222.81	363.92	341.03	9.71	331.32	350.74
	221.62	341.13	339.81	9.77	330.04	349.58

0.60	200.59	294.19	318.17	11.18	306.99	329.35
	199.47	295.63	317.02	11.27	305.75	328.30
	186.89	300.09	304.07	12.45	291.62	316.52
0.65	184.49	277.39	301.61	12.69	288.91	314.30
	190.61	301.72	307.91	12.08	295.82	319.99
	184.25	300.72	301.36	12.72	288.64	314.08
0.70	158.16	261.36	274.52	15.67	258.85	290.19
	145.51	268.15	261.50	17.24	244.26	278.75
	147.46	265.64	263.51	17.00	246.51	280.51

7.3.3. Gráfico para la estimación de resistencia a edades mayores (procedimiento D).

Al terminar con el desarrollo del cuadro, se culminó con el grafico correspondiente.

Tabla N° 15. Banda de Confidencia al 90% - Procedimiento de Curado Acelerado D.



En donde la Línea Verde o Limite Superior y la Línea Roja o Límite Inferior son los límites de la banda de confianza para establecer todos los valores posibles al momento de proyectar un valor de compresión axial, usando el procedimiento de curado acelerado D, que va a hacer uso de la ecuación lineal obtenido en el grafico anterior.

La calidad de la ecuación anteriormente mostrará tiene una calidad de desarrollo de sus componentes de un $R^2 = 0.92$, demostrándose así que la ecuación ya puede ser utilizada en el campo laboral.

CAPÍTULO VIII: VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA LOS MÉTODOS DE CURADO ACELERADO

Finalmente para concluir con el desarrollo de este proyecto se va a proceder con la ejecución de pruebas que justifiquen la calidad de los datos obtenidos y con la elaboración matemática-estadística procedentes del Capítulo VIII (Página 82) y Capítulo IX (Página 113) y así justificar las conclusiones y recomendaciones de este proyecto.

8.1. Verificación de la Ecuación de Regresión Lineal del Procedimiento de Curado Acelerado B

- Fecha de elaboración del concreto: 11 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo de compresión estándar: 11 de Marzo del 2019

Curado Estándar a/c: 0.58	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.600	20.550	9.800	10.200	26.5780	338.40
	2	20.650	20.600	9.800	10.250	26.3210	333.46
	3	20.700	20.650	9.800	10.250	25.9650	328.95
	4	20.800	20.850	9.800	10.300	26.5900	335.19
	5	20.650	20.600	9.800	10.250	26.4500	335.09
						\bar{X} :	334.22
						σ :	3.45
						CV:	1.032

- Fecha de ensayo del procedimiento B: 12 de Febrero del 2019

Curado Proceso B	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.450	9.800	10.400	16.2550	202.89
	2	20.750	20.750	9.900	10.300	16.0235	200.00
	3	20.350	20.400	9.800	10.200	16.4520	209.47
	4	20.650	20.700	9.900	10.300	16.3210	203.71
	5	20.650	20.600	10.000	10.200	15.8500	197.83
						\bar{X} :	202.78
						σ :	4.41
						CV:	2.176



Imagen N° 38. Probetas de comprobación de procedimiento de curado B.
Elaboración Propia.

Ya teniendo los datos de compresión axial de las probetas curadas por el curado estándar y por el curado acelerado procedimiento B, ahora nos toca analizar los valores obtenidos de las probetas de concreto que han sido curadas por el método de curado acelerado procedimiento B.

- *Coef. Variación del Curado Acelerado B: 2.176%*

Luego:

- $CV(\%) * \bar{X} = 4.41 \text{ Kg/cm}^2$

Ahora debemos obtener el valor de la distribución normal correspondiente al 5% del área bajo la curva:

- *Distribución Normal ($Z_{0.05}$) = 1.645*

Y con la ecuación (11) que esta descrita en el sub-capítulo 7.3.3 (Página 126) ya se puede considerar un resultado del ensayo de compresión de axial de las probetas con curado acelerado procedimiento B con su respectivo margen de error, el cual el resultado es:

$$f'_{c(B)} = 202.78 \pm 5.13 \text{ Kg/cm}^2$$

Ahora, con el resultado de ensayo de compresión axial del procedimiento de curado acelerado procedimiento B se entiende que los valores de resistencia acelerada promedio es de 197.65 Kg/cm^2 a 207.91 Kg/cm^2 .

Proyectando los límites con la ecuación de regresión lineal del procedimiento de curado acelerado del procedimiento B y al mismo tiempo aplicaremos la Banda de Confidencia por Regresión Lineal debido a las incertidumbres que las estimaciones de la ecuación lineal conllevan. Entonces aplicando lo anteriormente dicho se obtiene:

Para el menor valor se le va a restar la Banda de Confidencia debido a que de esta manera se obtendrá el menor valor de su Banda de Confidencia.

$$\bullet \quad f'_{c1(28 \text{ días})} = 1.01 * \left(197.65 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) + 128.34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 327.19 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

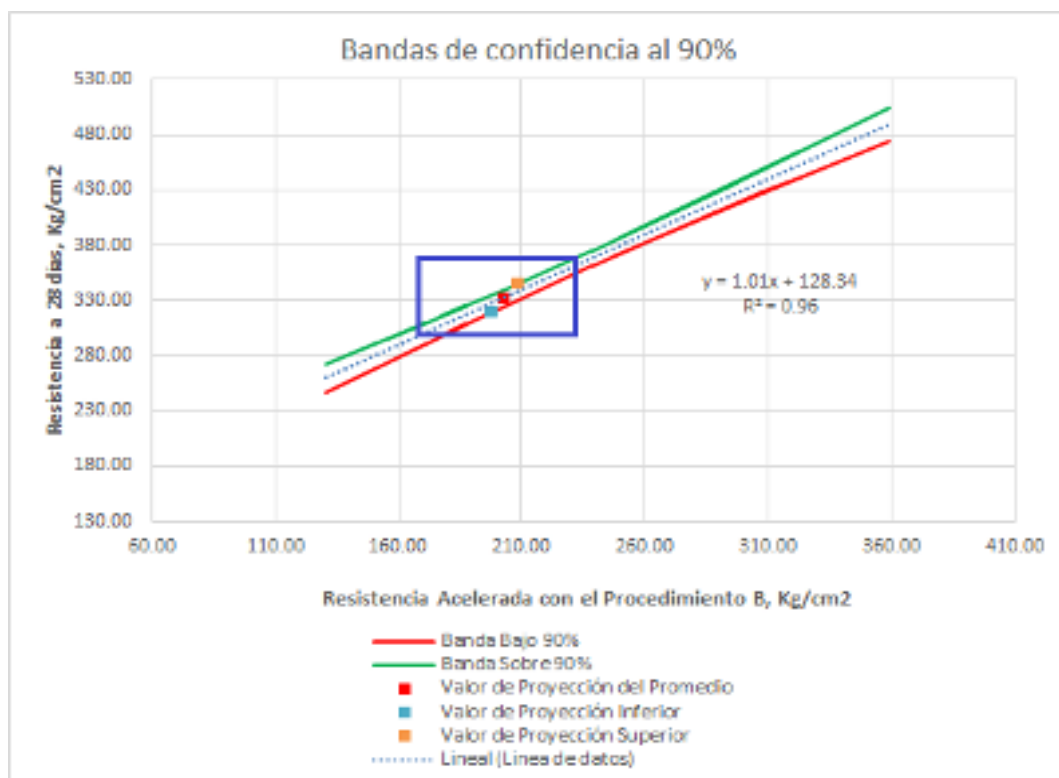
$$f'_{c1(28 \text{ días})} - W_1(\text{Procedimiento B}) = 327.19 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} - 7.75 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 319.45 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Para el mayor valor se le va a sumar la Banda de Confidencia debido a que de esta manera se obtendrá el mayor valor de su Banda de Confidencia.

$$\bullet \quad f'_{c2(28 \text{ días})} = 1.01 * \left(207.91 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) + 128.34 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 337.52 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_{c2(28 \text{ días})} + W_2(\text{Procedimiento B}) = 337.52 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 7.29 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 344.81 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla N° 16. Ubicación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado B.



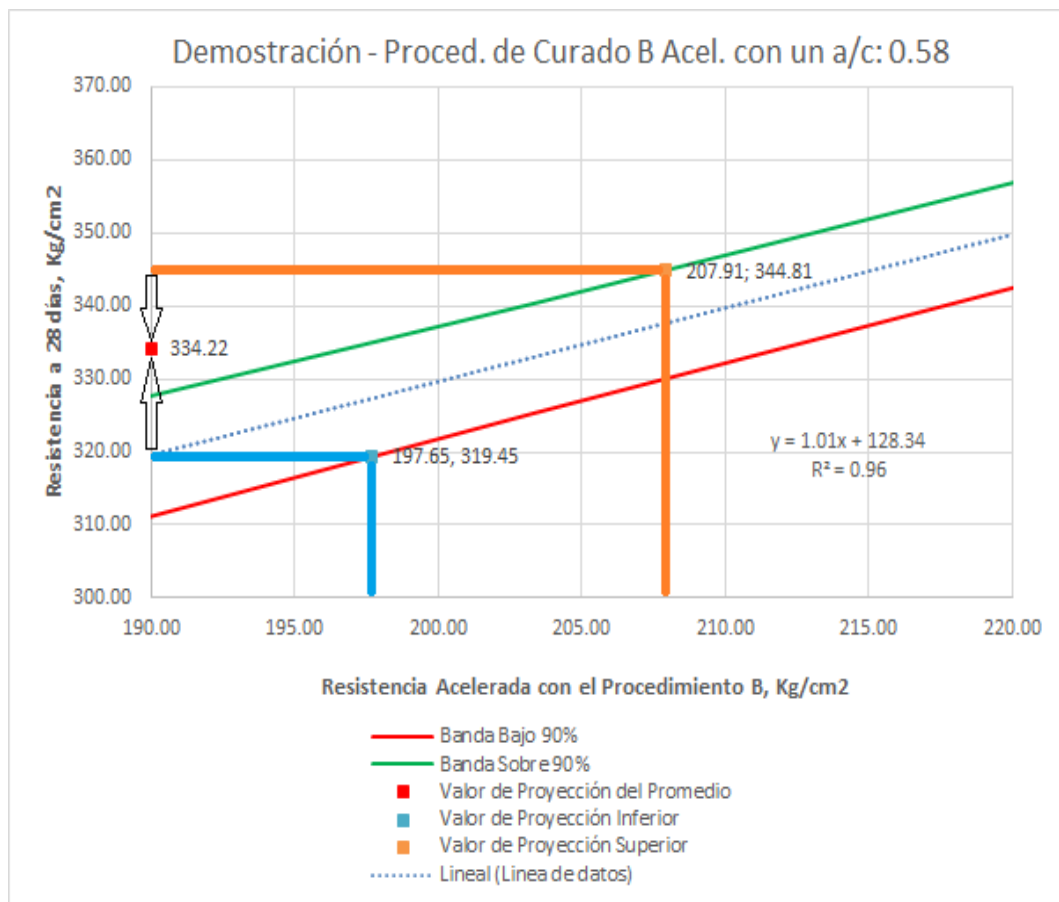
Finalmente para el aproximado de 90% de intervalo de confianza del promedio de resistencia con curado estándar a los 28 días se obtiene un resultado que será de $319.45 \frac{Kg}{cm^2}$ a $344.81 \frac{Kg}{cm^2}$. Para terminar con la corroboración del procedimiento de Curado Acelerado B y con el Procedimiento de Curado Estándar se puede resumir en:

$$f'_{c(28 \text{ días})} \in f'_{c(\text{procedimiento B})}$$

$$334.22 \frac{Kg}{cm^2} \in \left\{ 319.45 \frac{Kg}{cm^2}; 344.81 \frac{Kg}{cm^2} \right\}$$

Cumple, se corrobora la ecuación lineal ya que cumple con las expectativas requeridas, debido a que el valor obtenido del Curado Estándar está dentro del rango calculado por los valores obtenidos del Curado Acelerado Procedimiento B.

Tabla N° 17. Ampliación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado B.



8.2 Verificación de la Ecuación de Regresión Lineal del Procedimiento de Curado Acelerado D

- Fecha de elaboración del concreto: 13 de Febrero del 2019
- Fecha de ensayo de compresión estándar: 13 de Marzo del 2019

Curado Estándar a/c: 0.42	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	20.500	20.500	9.800	10.200	34.0500	433.54
	2	20.700	20.700	9.800	10.300	33.9850	428.42
	3	20.900	20.900	9.800	10.200	34.1250	434.49
	4	20.800	20.800	9.800	10.300	33.9150	427.53
	5	20.700	20.700	9.800	10.200	33.8800	431.37
						\bar{X} :	431.07
						σ :	3.06
						CV:	0.710

- Fecha de ensayo del procedimiento D: 13 de Febrero del 2019

Curado Proceso D	#	L1	L2	D1	D2	Ton	f'c (B)
	1	15.000	15.000	7.500	7.500	13.4550	304.56
	2	15.000	15.000	7.500	7.500	12.8950	291.88
	3	15.000	15.000	7.500	7.500	13.1150	296.86
						\bar{X} :	297.77
						σ :	6.39
						CV:	2.145



*Imagen N° 39. Probetas de comprobación de
procedimiento de curado D.
Elaboración Propia.*

Ya teniendo los datos de compresión axial de las probetas curadas por el curado estándar y por el curado acelerado procedimiento D, ahora nos toca analizar los valores obtenidos de las probetas de concreto que han sido curadas por el método de curado acelerado procedimiento D.

- *Coef. Variación del Curado Acelerado D: 2.145%*

Luego:

- $CV(\%) * \bar{X} = 2.81 \text{ Kg/cm}^2$

Ahora debemos obtener el valor de la distribución normal correspondiente al 5% del área bajo la curva:

- *Distribución Normal ($Z_{0.05}$) = 1.645*

Y con la ecuación (11) que esta descrita en el sub-capítulo 7.3.3 (Página 126) ya se puede considerar un resultado del ensayo de compresión de axial de las probetas con curado acelerado procedimiento D con su respectivo margen de error, el cual el resultado es:

$$f'_{c(B)} = 297.77 \pm 3.27 \text{ Kg/cm}^2$$

Ahora, con el resultado de ensayo de compresión axial del procedimiento de curado acelerado procedimiento D se entiende que los valores de resistencia acelerada promedio es de 294.50 Kg/cm^2 a 301.04 Kg/cm^2 .

Proyectando los límites con la ecuación de regresión lineal del procedimiento de curado acelerado del procedimiento D y al mismo tiempo aplicaremos la Banda de Confidencia por Regresión Lineal debido a las incertidumbres que las estimaciones de la ecuación lineal conllevan. Entonces aplicando lo anteriormente dicho se obtiene:

Para el menor valor se le va a restar la Banda de Confidencia debido a que de esta manera se obtendrá el menor valor de su Banda de Confidencia.

$$\bullet \quad f'_{c1(28 \text{ días})} = 1.03 * \left(294.50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) + 111.80 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 414.79 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_{c1(28 \text{ días})} - W_1(\text{Procedimiento D}) = 414.79 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} - 12.17 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 402.62 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Para el mayor valor se le va a sumar la Banda de Confidencia debido a que de esta manera se obtendrá el mayor valor de su Banda de Confidencia.

$$\bullet \quad f'_{c2(28 \text{ días})} = 1.03 * \left(301.04 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) + 111.80 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 421.51 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_{c2(28 \text{ días})} + W_2(\text{Procedimiento D}) = 421.51 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 13.81 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} = 435.32 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla N° 18. Ubicación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado D.



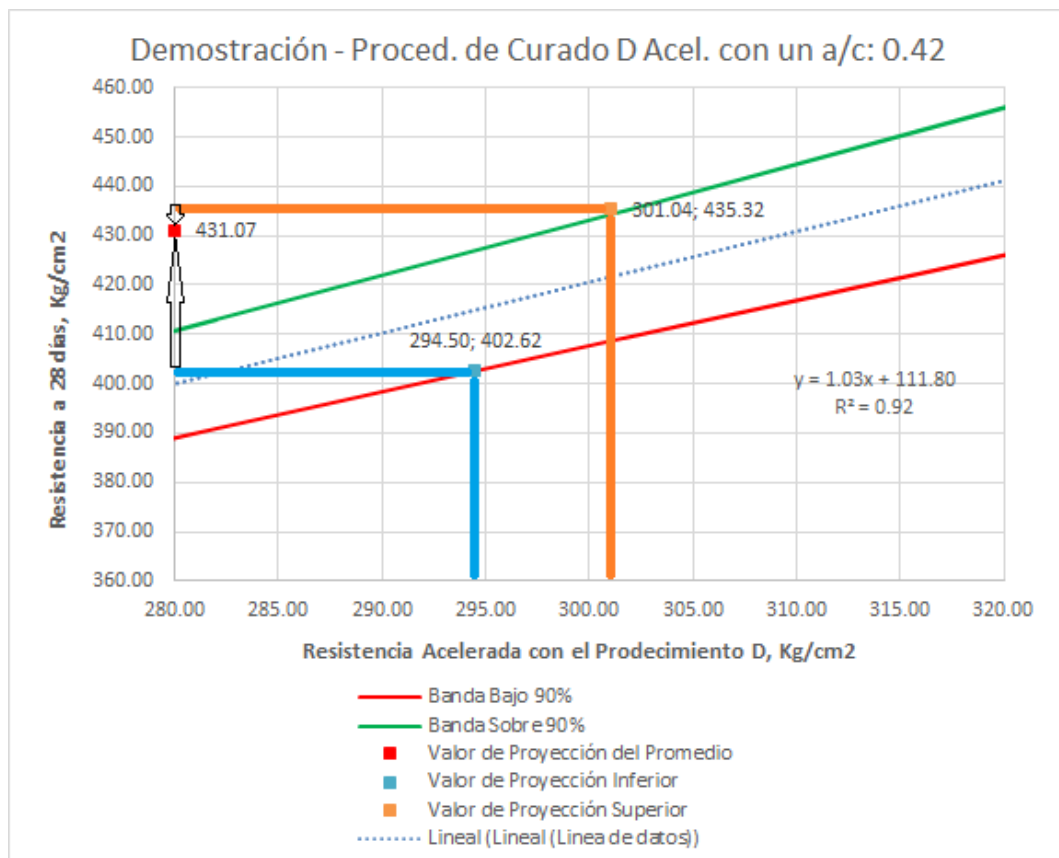
Finalmente para el aproximado de 90% de intervalo de confianza del promedio de resistencia con curado estándar a los 28 días se obtiene un resultado que será de $402.62 \frac{Kg}{cm^2}$ a $435.32 \frac{Kg}{cm^2}$. Para terminar con la corroboración del procedimiento de Curado Acelerado D y con el Procedimiento de Curado Estándar se puede resumir en:

$$f'_{c(28 \text{ días})} \in f'_{c(\text{procedimiento D})}$$

$$431.07 \frac{Kg}{cm^2} \in \left\{ 402.62 \frac{Kg}{cm^2}; 435.32 \frac{Kg}{cm^2} \right\}$$

Cumple, se corrobora la ecuación lineal ya que cumple con las expectativas requeridas, debido a que el valor obtenido del Curado Estándar está dentro del rango calculado por los valores obtenidos del Curado Acelerado Procedimiento D.

Tabla 19. Ampliación de los Resultados en la Banda de Confidencia - Procedimiento de Curado Acelerado D.



CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo principal de estudiar las comparaciones de los procedimientos de curado acelerado B y D, usando los agregados de las canteras Romaña y Torreblanca, con equipos propiamente creados, y con todo esto se pudo predecir la resistencia a la compresión axial de las probetas de concreto en 5 horas y 28 horas para cada tipo de procedimiento de curado acelerado respectivamente.

Adicionalmente, Se han realizado 416 probetas de concreto entre los 3 procedimientos de curado de probetas de concreto, este gran número de probetas ha generado un espacio muestral tan grande que se puede considerar que los resultados serán confiables para ser aplicados en campo y con esto se ha demostrado la hipótesis.

- La Ecuación de Regresión Lineal obtenido en el Procedimiento B de curado acelerado con una confiabilidad del 90%, según la NTP339.213, es: $R_{CS} = 1.01 * R_{CA-B} + 128.34 \frac{Kg}{cm^2}$. Donde R_{CA-B} es el valor obtenido del promedio del ensayo de compresión axial del curado acelerado respectivo en Kg/cm^2 & R_{CS} es el valor obtenido si hubiese sido curado con el procedimiento estándar (28 días), en Kg/cm^2 .
- La Ecuación de Regresión Lineal obtenido en el Procedimiento D de curado acelerado con una confiabilidad del 90%, según la NTP339.213, es: $R_{CS} = 1.03 * R_{CA-D} + 111.80 \frac{Kg}{cm^2}$. . Donde R_{CA-D} es el valor obtenido del promedio del ensayo de compresión axial del curado acelerado respectivo en Kg/cm^2 & R_{CS} es el valor obtenido si hubiese sido curado con el procedimiento estándar (28 días), en Kg/cm^2 .
- Para las condiciones dadas en este proyecto de tesis, la ecuación de correlación lineal con el procedimiento de curado acelerado B ($R^2_{CA-B} = 0.96$) ha resultado con una mejor calidad en su procedimiento estadístico si lo comparamos con el procedimiento de curado acelerado D ($R^2_{CA-D} = 0.92$); esto demostraría el procedimiento de curado acelerado B es el mejor método de curado acelerado para la combinación de agregados de las canteras Romaña y Torreblanca a pesar que ambas han resultados con un

alto grado de confiabilidad y han cumplido con los objetivos iniciales y con los estándares de la NTP 339.213.

- Se cumplió con la verificación de los ensayos respectivos para cada uno de los procedimientos de curado acelerado y ambos han tenido resultados satisfactorios. En primer lugar, con el procedimiento de curado acelerado B, la prueba de ensayo mostro que su rango de valores de proyección de la Resistencia del Concreto es $\left\{319.45 \frac{Kg}{cm^2}; 344.81 \frac{Kg}{cm^2}\right\}$, conteniendo a su vez al respectivo valor de $334.22 \frac{Kg}{cm^2}$ en su rango de valores que ha sido curado y ensayado con el procedimiento estándar. Por otra parte, el procedimiento de curado acelerado D, también en su respectiva prueba de ensayo mostro que su rango de valores de proyección es $\left\{402.62 \frac{Kg}{cm^2}; 435.32 \frac{Kg}{cm^2}\right\}$ conteniendo a su vez al respectivo valor de $431.07 \frac{Kg}{cm^2}$ en su rango de valores que ha sido curado y ensayado con el procedimiento estándar.
- Se cumplió con la elaboración de los equipos para los procedimientos de curado acelerado. Concluyéndose que los costos de construcción de los equipos son de S/. 1850 Soles para el Equipo de Procedimiento B y de S/. 3510 Soles para el Equipo del Procedimiento D. ambos accesibles para proyectos tanto académicos como laborales; además, que los materiales e instrumentos son accesible a todo usuario interesado.
- Se demostró, mediante el desarrollo de este proyecto de tesis y los resultados obtenidos, que los aparatos de curado acelerado en el Laboratorio de Ensayo de Materiales – UNI, tanto del procedimiento de curado B y D, están en condiciones de desarrollar investigación y que se puede aumentar o crear un gran número de combinaciones de agregados de canteras, con el objetivo de aumentar más combinaciones de Ecuaciones de Regresión. Además, también va a reducir el tiempo para el desarrollo de diseños de mezcla de concreto si está dentro de las combinaciones de agregados de canteras investigados con estos procedimientos de curado acelerado.

RECOMENDACIONES

- Investigar sobre la elaboración de nueva Ecuaciones de Regresión Lineal para nuevas combinaciones de agregados de canteras; ya que con esta investigación se puede implementar un tipo de curado acelerado para una respectiva combinación de agregados de cantera, debido a que, la investigación concluye que cada combinación tiene un procedimiento de curado acelerado adecuado y que se ajusta a sus características tanto físicas (Por ejemplo: Características de los agregados, tamaño del agregado, etc.) como químicas (Por ejemplo: Reacciones químicas internas del cemento con los agregados, Calor de hidratación, etc.).
- Implementar los procedimientos de curado restantes de la NTP 339.213, Procedimiento de Curado Acelerado A (Agua Caliente) y C (Autoclave), con el objetivo de tener más alternativas de estudios y procedimientos para todas las combinaciones posibles de agregados de cantera que pueden haber en la industria de la construcción de Lima Metropolitana y en la Provincia Constitucional del Callao.
- Mejorar las herramientas de las máquinas ya existentes para la mejora de los resultados de los procedimientos de curado acelerado para que sea más barato, reutilizable y seguro. Los altos costos para reiterados ensayos y la posibilidad de fallar en el proceso y causar la pérdida de las muestras de ensayo; pueden afectar en el interés de implementar este tipo de procedimiento de curado acelerado.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ACI 211.2. (2004). *Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete*. U.S.A.: ACI.
- ACI 214.R. (2011). *Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. U.S.A.: ACI.
- AL-RAWI, R. (1978). Effects of Ratio and Mix Proportions in Accelerated testing of Concrete. *Cem. Concr. Res.* 8(3), 343-350.
- ALVA C., R. (2013, noviembre). Experiencia de Implementación en Laboratorio de la Norma NTP339.213 para el Curado Acelerado de Probetas de Concreto Mediante Uso de Agua Hirviendo. *Tesis de Pre-grado*. Piura, Perú: Repositorio Institucional PIRHUA - Universidad de Piura.
- ASOCRETO. (2010). *Tecnología del concreto Tomo I, 3° Edición*. Colombia.
- ASTM C177. (2013). *Método de Ensayo Normalizado para Mediciones de flujo de Calor en Estado Estático y Propiedades de Trasmisión mediante el aparato de Placa Caliente Protegida*. PA 19428-2959, USA: ASTM Internacional.
- ASTM C186. (1998). *Standard Test Method for Heat of Hydration of Hydraulic Cement*. PA19428 2959, USA: ASTM Internacional.
- ASTM C192. (2002). *Making And Curing Concrete Test Specimens In The Laboratory*. PA 19428-2959, USA: ASTM Internacional.
- ASTM C33. (2003). *Standard Specification For concrete Aggregates*. PA 19428-2959, USA: ASTM International.
- ASTM C330. (2004). *Standard Specification For Lightweight Aggregates For Structural Concrete*. PA 19428-2959, USA : ASTM International.
- ASTM C567. (2000). *Standard Test Method For Determining Density Of Structural Lightweight Concrete*. PA 19428-2959, USA: ASTM International.
- ASTM C684. (1999). *Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens*. PA 19428-2959, USA: ASTM.
- ASTM D1129. (2013). *Standard Terminology Relating To Water*. PA 19428-2959, USA: ASTM International.
- ASTM D3665. (2012). *Práctica Normalizada para Muestreo Aleatorio de Materiales de Construcción*. PA 19428-2959, USA: ASTM Internacional.
- ASTM E105. (2010). *Práctica normalizada para Muestreo aleatorio de materiales de construcción*. PA 19428-2959, USA: ASTM internacional.
- CARINO, N. (1994). Prediction of Potential Strength at Later Ages, Chapter 15, ASTM STP 169. *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Materials*, 140-152. Paul Klieger and Joseph F. Lamond, eds.

- DEL CARPIO T., O. M. (2016, Diciembre). Implementacion del Sistema de Curado Acelerado para la Optimización de Diseños de Mezclas de Concreto, Estimando Resistencia a Edades Mayores, en la Ciudad de Arequipa . *Tesis de Pre-grado*. Arequipa, Perú: Repositorio de Tesis UCSM - Universidad Católica de Santa María.
- FAN, L., ZHANG, Z., YU, Y., LI, P., & CROSGROVE, T. (2017). Effect of Elevated Curing Temperature on Ceramsite Concrete Performance. *Construction andm Building Materials* 153, 423-429.
- HULUSI OZKUL, M. (2001). Efficiency of Accelerated Curing in Concrete. *Cem. Concr. Res.* 31(9), 1351-1357.
- IS 9013-1978. (1998). *Method of Making, Curing and Determining Compressive Strength of Accelerated-Cured Concrete Test Specimens (Fourth Reprint)*. New Delhi: Indian Standard.
- KING, J. W. (1957). Further Notes on the Accelerated Test for Concrete. *Chartered Civil Engineer*, 15-19. London.
- NASSER, K. W. (1975). *Canada Patent No. 604,878*.
- NATRELLA, M. (1963, Agosto). Experimental Statistics. *NBS Handbook 91*. Washington D.C.: National Bureau of Standars.
- NEVILLE, A. M. (2011). Testing of Hardened Concrete: Accelerated-Curing Test. *Properties of Concrete*, 2013-2024. New York: Pearson.
- NTP 334.001. (2001). *CEMENTOS. Definiciones y Nomenclatura. 2° Edición*. Lima: INACAL.
- NTP 334.009. (2005). *CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos, 3° Edición*. Lima: INACAL.
- NTP 339.033. (2009). *HORMIGON (CONCRETO), Practica normalizada para la elaboración y curado de especimenes de concreto en campo. 3° Edicion*. Lima: INACAL.
- NTP 339.034. (2008). *HORMIGON (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3° Edición* . Lima: INACAL.
- NTP 339.036. (1999). *HORMIGON (CONCRETO). Practica normalizada para el muestreo de mezclas de concreto fresco, 2° Edición*. Lima: INACAL.
- NTP 339.047. (2016). *HORMIGON (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados. 2° Edición*. LIMA: INACAL.
- NTP 339.064. (2009). *Metodo de Ensayo para la Determinacion del Calor de Hidratación del Cemento Portland. Metodo por Disolucion* . Lima: INACAL.
- NTP 339.088. (2016). *HORMIGON (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2°Edición*. Lima: INACAL.

- NTP 339.183. (2015). *HORMIGON (CONCRETO). Práctica Normalizada para la Elaboración y curado de Especímenes de Hormigón (Concreto) en el Laboratorio (1° Edición)*. Lima: INACAL.
- NTP 339.213. (2015). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto (1° Edición)*. LIMA: INACAL.
- NTP 400.011. (2012). *AGREGADOS. Definición y Clasificación de agregados para uso de morteros y hormigones (concretos). 3°Edición*. LIMA: INACAL.
- NTP 400.012. (2013). *AGREGADOS. Analisis granulometrico del agregado fino, grueso y global. 3°Edición*. LIMA: INACAL.
- PCA. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto, 1° Edición*. (S. KOSMATKA, B. KERKHOFF, W. PANARESE, & J. TANESI, Eds.) ILLINOIS.
- RICHARD, P., & CHEYREZY, M. (1995). Composition of Reactive Powder Concretes. *Cem. Concr. Res.* 25(7), 1501-1511.
- SADREKARIMI, A. (2004). Development of a light Weight Reactive Powder. *Journal of Advanced Concrete Technology* 2(3), 409-417.
- TOKYAY, M. (1999). Strength Prediction of Fly Ash Concretes by Accelerated Testing. *Cem. Concr. Res.* 29(11), 1737-1741.
- TUMIDAJSKI, P., GONG, B., & BAKER, D. (2003). Correlation Between 28-Day and 6-Hour Compressive Strengths. *Cement and Concrete Research* 33, 1491-1493.
- VARGAS H., C. (2018). Estudio Comparativo de Métodos Normalizados de Curado Acelerado - Procedimiento B y D de la NTP339.213 : 2017. *Tesis de Pre-grado*. Lima, Perú: Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ingeniería.
- WILL, M. (1975). Early Assessment of Concrete Quality by Accelerating Compressive Strength Development with Heat (Results of ASTM Cooperative Test Program). *Journal of Testing and Evaluation* 3(4), 251-262.

ANEXOS

Tabla N° 20. Necesidad aproximada de mezcla de agua y contenido de aire para diferentes valores de asentamientos y Máximo Tamaños Nominales de agregados.

Asentamiento	Tamaño Máximo del Agregado Grueso							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	Concreto Sin Aire Incorporado							
1" - 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" - 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" - 7"	243	228	216	202	190	178	160	
	Concreto Con Aire Incorporado							
1" - 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" - 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" - 7"	216	205	197	184	174	166	154	

Fuente: Tabla 3.2.2.2 - ACI211.2_5.

Tabla N° 21. Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado.

TMN Agregado Grueso	Aire Atrapado (%)
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: Tabla 3.2.2.2 - ACI211.2_5.

Tabla N° 22. Relaciones entre el agua-cemento y la resistencia a la compresión del concreto.

f _c (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento en peso	
	Sin Aire Incorporado	Con Aire Incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

Fuente: Tabla 3.2.2.3(a) - ACI211.2_5.

Tabla N° 23. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

TMN A.G.	Módulo de fineza del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.0
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Tabla 3.2.2.4 - ACI211.2_5.

Tabla N° 24. Valores F de la Distribución F de Fisher al 90% (1° Parte).

$1 - \alpha = 0.10$
 $1 - \alpha = P(F > F_{\alpha, n_1, n_2})$

n_1 = grados de libertad del numerador
 n_2 = grados de libertad del denominador

$n_2 \backslash n_1$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	10.000	40.000	30.000	25.000	22.000	20.000	19.000	18.500	18.200	18.000	17.800	17.700	17.600	17.500	17.400	17.300	17.200	17.100	17.000	16.900
2	5.000	9.000	6.500	5.500	5.000	4.700	4.500	4.400	4.300	4.200	4.100	4.000	3.900	3.800	3.700	3.600	3.500	3.400	3.300	3.200
3	3.000	5.000	3.500	3.000	2.700	2.500	2.400	2.300	2.200	2.100	2.000	1.900	1.800	1.700	1.600	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100
4	2.500	4.000	2.800	2.400	2.100	1.900	1.800	1.700	1.600	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500
5	2.000	3.500	2.500	2.100	1.800	1.600	1.500	1.400	1.300	1.200	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200
6	1.700	3.000	2.200	1.800	1.500	1.300	1.200	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100
7	1.500	2.700	2.000	1.600	1.300	1.100	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
8	1.400	2.500	1.800	1.400	1.200	1.000	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
9	1.300	2.300	1.700	1.300	1.100	0.900	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
10	1.200	2.100	1.600	1.200	1.000	0.800	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
11	1.100	2.000	1.500	1.100	0.900	0.700	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
12	1.000	1.900	1.400	1.000	0.800	0.600	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
13	0.900	1.800	1.300	0.900	0.700	0.500	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
14	0.800	1.700	1.200	0.800	0.600	0.400	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
15	0.700	1.600	1.100	0.700	0.500	0.300	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
16	0.600	1.500	1.000	0.600	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
17	0.500	1.400	0.900	0.500	0.300	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
18	0.400	1.300	0.800	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
19	0.300	1.200	0.700	0.300	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
20	0.200	1.100	0.600	0.200	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
21	0.150	1.000	0.500	0.150	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
22	0.100	0.900	0.400	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
23	0.050	0.800	0.300	0.050	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
24	0.020	0.700	0.200	0.020	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
25	0.010	0.600	0.100	0.010	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
26	0.005	0.500	0.050	0.005	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
27	0.002	0.400	0.020	0.002	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
28	0.001	0.300	0.010	0.001	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
29	0.000	0.200	0.005	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
30	0.000	0.100	0.002	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
40	0.000	0.050	0.001	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
50	0.000	0.020	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
60	0.000	0.010	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
70	0.000	0.005	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
80	0.000	0.002	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
90	0.000	0.001	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
300	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
1000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

